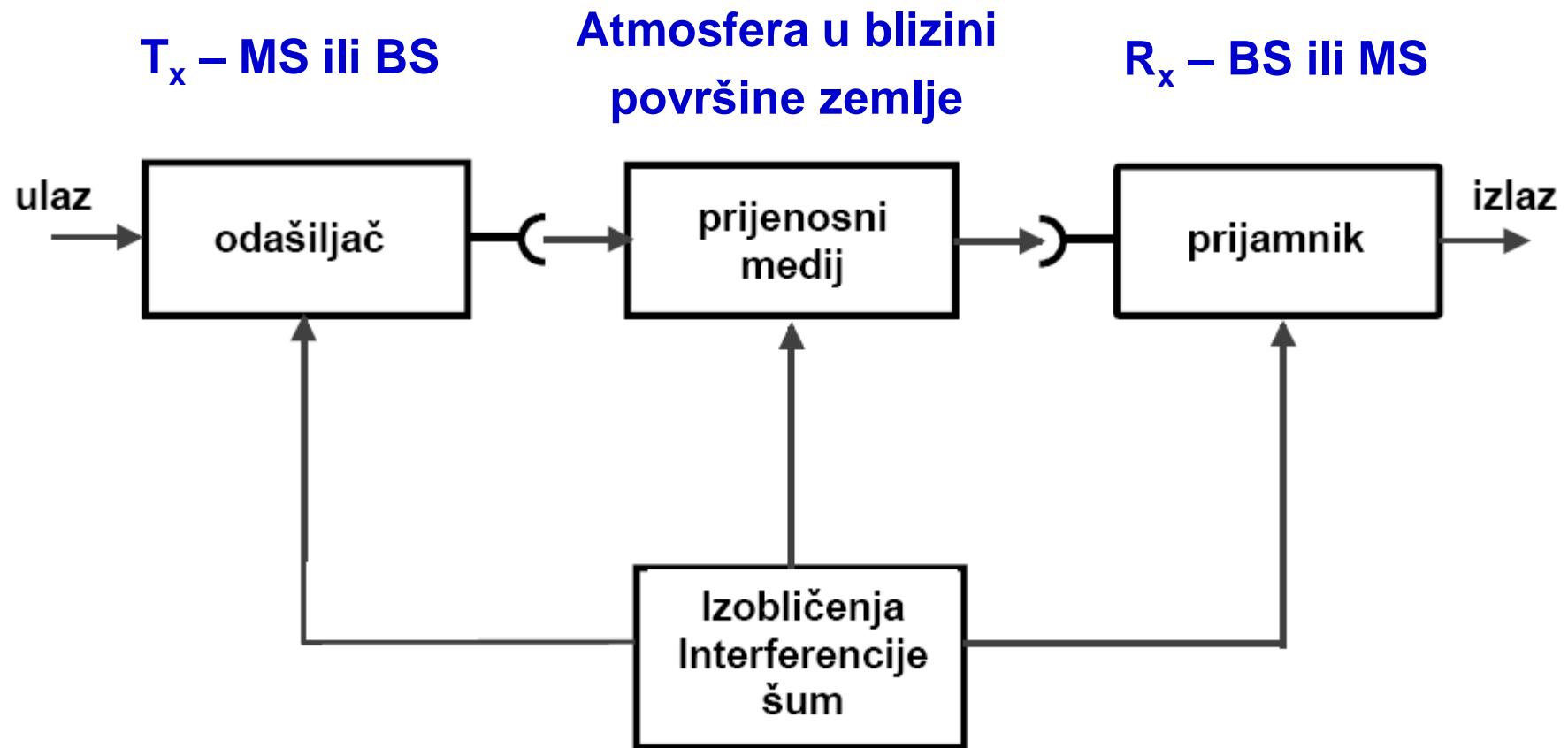


Kako radi zračno sučelje u LTE sustavima?



Shematski prikaz RK sustava:

Za mobilne sustave:



Mobilni sustav:

PRIJENOSNI MEDIJ:

atmosfera u blizini površine zemlje, direktni val +
refleksija od tla i okolnih objekata (zgrada) + difrakcija (ogib) +
penetracija u zatvorene prostore +
širenje vala u tunelima

IZOBLIČENJA:

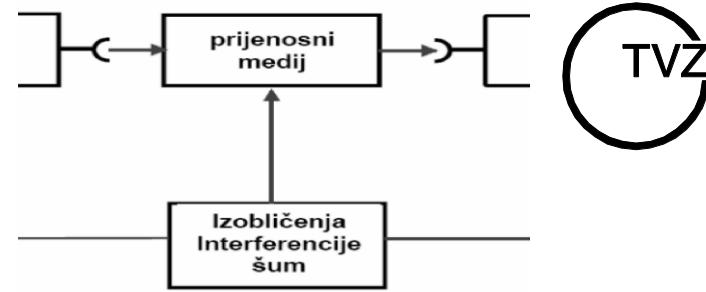
odstupanje valnog oblika izlaznog signala u odnosu na ulazni

INTERFERENCIJA:

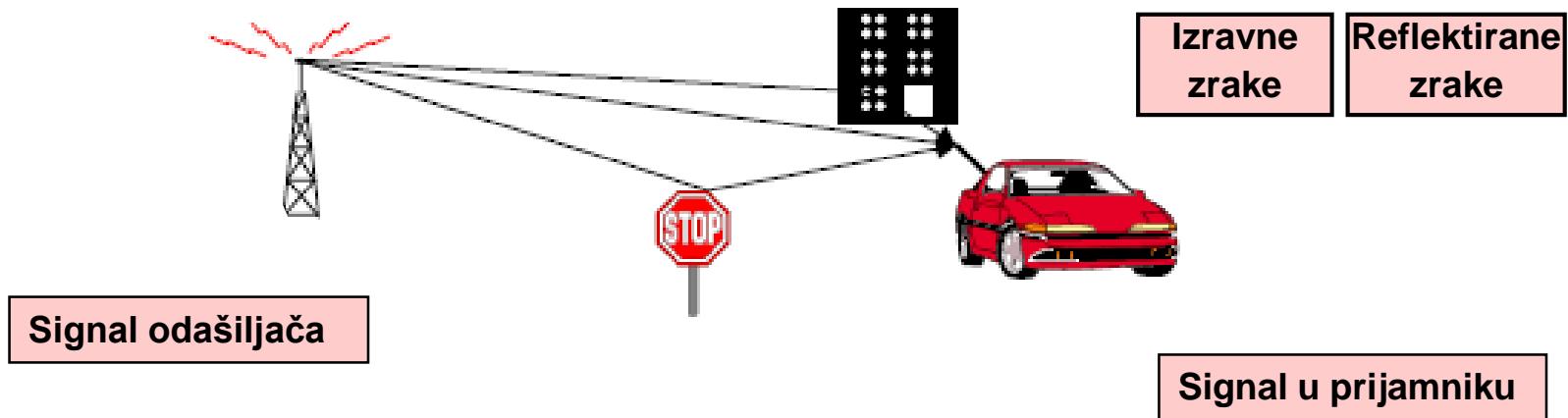
djelovanje drugih sustava na valni oblik izlaznog signala

ŠUM:

neželjeni signal nepravilna oblika uzrokovani nejednolikim
gibanjem e⁻ bez kojih se ne može prenositi el.signal



PRIJENOSNI MEDIJ



Zrake elektromagnetskog vala imaju različite puteve rasprostiranja
(jedna izravna zraka i dvije jednostrukе refleksije) pa su posljedice:

- Izobličenje na razini RF-signala, reflektirani signali imaju različite faze i različite amplitude u odnosu na izravnu zraku
- Izobličenje na razini modulacijskog signala, vremenska disperzija (rasap) uzrokuje miješanje sa susjednim simbolima tj. međuznakovna interferencija (ISI = Inter Symbol Interference)



PRIJENOSNI MEDIJ – ZRAČNO SUČELJE



Otvoreni prostor

- homogeni idealni dielektrički medij kojeg možemo smatrati beskonačnim u svim smjerovima
- slučaj najmanjih gubitaka između predajnika i prijemnika

Realni medij

- višestruko ograničen (diskontinuiteti zemlja – zrak, građevine – zrak, zemlja – svemir...)

Načela geometrijske optike

- Koristimo ih za objašnjavanje određenih mehanizama širenja elektromagnetskih valova:
 - **Refleksija**
 - **refrakcija**



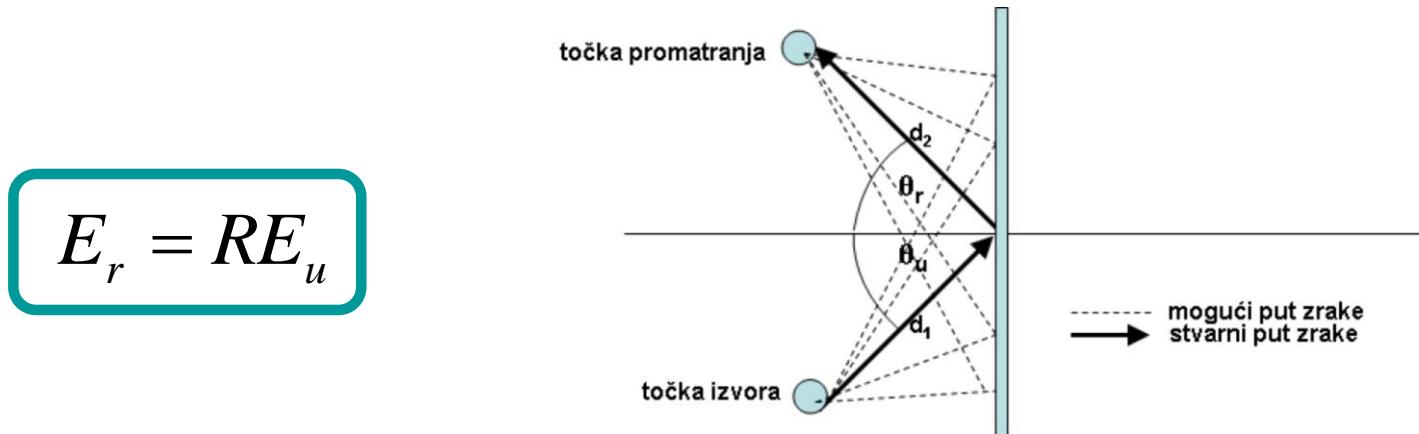
Refleksija



- Elektromagnetski val pri nailasku na prepreku može biti reflektiran
- Amplituda reflektiranog vala ovisi o frekvenciji i kutu upadnog vala te električkim karakteristikama same prepreke
- **Snellov zakon refleksije** daje odnos kuta upadne i reflektirane zrake:

$$\Theta_u = \Theta_r$$

- Amplitude reflektiranog vala dane su relativno prema amplitudi upadnog vala **Fresnelovim koeficijentima refleksije R**. Koeficijenti su različiti za slučaj kada je električno polje paralelno (indeks p) i okomito (indeks o) na ravninu raspršenja:



$$E_r = RE_u$$

Slika 1.18 Refleksija elektromagnetskog vala



- **Snellov zakon refrakcije (loma):**

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \sqrt{\frac{\epsilon_2 \mu_2}{\epsilon_1 \mu_1}} = \frac{n_2}{n_1}$$

- Gornja jednadžba potvrđuje opažanja kako je fazna brzina vala u mediju veće **permitivnosti i permeabilnosti** (gušći medij) smanjena, uzrokujući tako zakretanje prenesene zrake od površine prepreke.
- Promjenu u brzini možemo izraziti u obliku indeksa loma n koji predstavlja omjer fazne brzine u vakuumu i mediju:
$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\mu \epsilon}}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$
- frekvencija reflektiranog i prenesenog vala ostaje jednaka frekvenciji upadnog vala, tj. omjer valne brzine i valne duljine ostaje konstantan. Tako će val u gušćem mediju imati manju faznu brzinu i manju valnu duljinu nego u vakuumu.
- amplituda prenesenog vala dobiju se slično kao i jednadžbe reflektiranog vala, relativno prema amplitudi upadnog vala, **Fresnelovim koeficijentima transmisije**:

$$E_t = TE_u$$



Permeabilnost

- Magnetska (propustljivost) permeabilnost (μ) je konstanta proporcionalnosti između magnetske indukcije i intenziteta magnetskog polja, a možemo reći da je to sposobnost medija da koncentrira magnetski tok
- Relativna magnetna permeabilnost (μ_r), je omjer permeabilnosti nekog medija i permeabilnosti vakuma

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left(N/A^2 \right)$$

Materijal	$\mu/(H\ m^{-1})$	μ_r	Primjena
Ferit U 60	1.00E-05	8	UHF jezgre
Ferit M33	9.42E-04	750	Jezgre među-frekvencijskih transformatora u radio prijemnicima
Nikal (čistoća 99%)	7.54E-04	600	-
Ferit N41	3.77E-03	3000	Sklopovi mrežnog napajanja
Željezo (čistoća 99.8%)	6.28E-03	5000	-
Ferit T38	1.26E-02	10000	Širokopojasni transformatori
Silikatno GO Željezo	5.03E-02	40000	Dinama, mrežni transformatori
Superalloy	1.26	1000000	Glave za snimanje

Permitivnost

- Dielektrik = grčki dia (kroz) + elektrik; dielektrik je materijal kroz koji prolazi električno polje, ali sam ne provodi električne naboje
- Relativna dielektrična konstanta ϵ_r je broj koji govori koliko puta neki dielektrik smanjuje jakost električnog polja (elektrostatske sile) između dva nabijena tijela u odnosu na vakuum

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

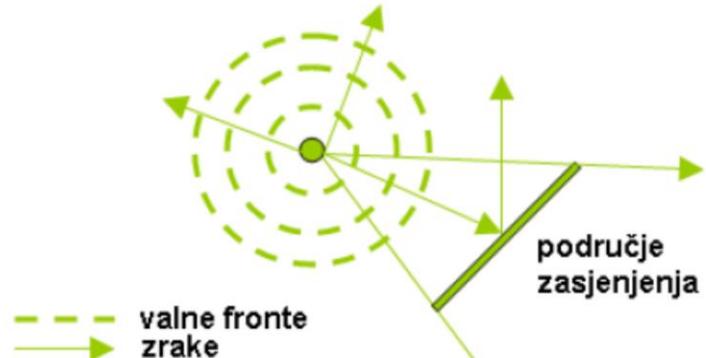
$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = 8.854 \times 10^{-12} \left(As/Vm \right)$$

Relative dielektrična konstanta nekih tvari pri sobnoj temperaturi i frekvenciji električnog polja 1 kHz (ako nije drugačije napomenuto)[1]

Tvar	ϵ_r
aluminij (1 kHz)	$-1300+/-1,3 \cdot 10^{14}$ [2]
srebro (1 kHz)	$-85+/-8 \cdot 10^{12}$ [2]
vakuum	1 (po definiciji)
zrak	$1.00058986 \pm 0.00000050$ (pri standardnom tlaku i temperaturi, za 0.9 MHz)
teflon	2.1
polietilen	2.25
polistiren	2.4-2.7
uglični disulfid	2.6
papir	3.5
elektroaktivni polimeri	2-12
silicij dioksid	3.9 [4]
beton	4.5
pyrex (staklo)	4.7 (3.7-10)
guma	7

Difrakcija

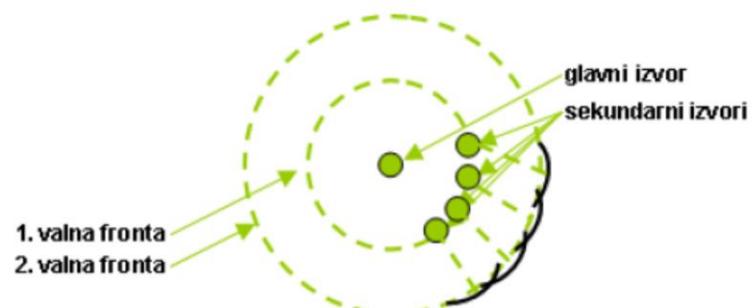
- načela geometrijske optike daju potpuno pogrešne rezultate predikcije kada se promatra polje iza prepreke, u tzv. zasjenjenom području, s obzirom da prema tim načelima ono ne postoji
- U praksi su mnoga mjerena pokazala da ne postoji oštro razgraničenje i da se dio energije vala prenosi unutar zasjenjenog područja.



Slika 1.19 Difrakcija elektromagnetskog vala

Huygensova načela

- Difrakcija se može opisati koristeći Huygensova načela:
 1. Svaki se element kružne valne fronte vala može u određenom vremenskom trenutku promatrati kao sekundarni izvori vala.
 2. Položaj valne fronte u svakom trenutku predstavlja omotnicu međudjelovanja svih sekundarnih izvora



Slika 1.20 Definicija Huygensova načela

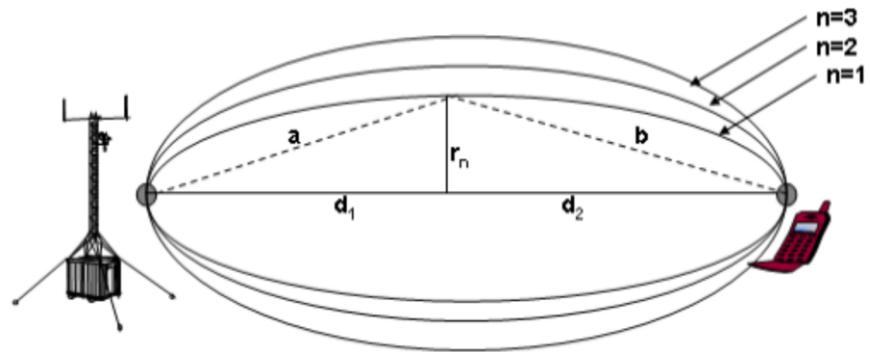


Fresnelove zone

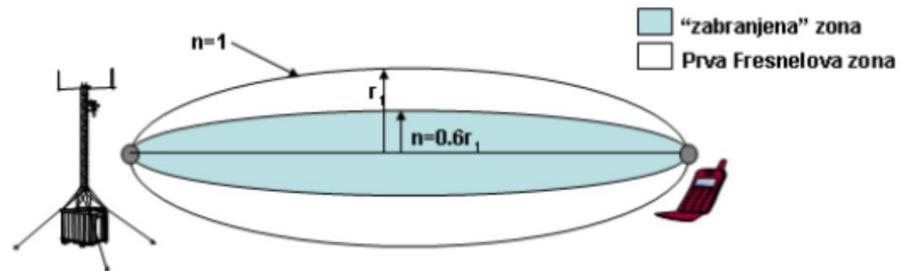
- Definicija:** N-ta Fresnelova zona je područje unutar elipsoida definirano skupinom točaka za koje vrijedi da je $(a+b)$ veći od direktnog puta za n polovica valne duljine $a+b = d_1+d_2+n\lambda/2$
- Fresnelovu zonu možemo smatrati prostorom koji sadrži energiju propagacije vala. Doprinosi unutar prve zone su u fazi i zato svaka apsorbirajuća prepreka koja ne ulazi u prvu zonu ima zanemariv utjecaj na prijemni signal
- Prohodnost Fresnelove zone (h/r_n) može se prikazati pomoću faktora difrakcije:

$$\nu \approx h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \frac{h}{r_n} \sqrt{2n}$$

- prostor umnoška 0.6 x prva Fresnelova zona (r_1) bez prepreka, tada je v parametar aproksimativno – 0.8, a prema grafikonu (prethodni slide) su gubici uzrokovani opstrukcijom 0 dB.**



Slika 1.24 Fresnelove zone



Slika 1.25 Zabranjena Fresnelova zona

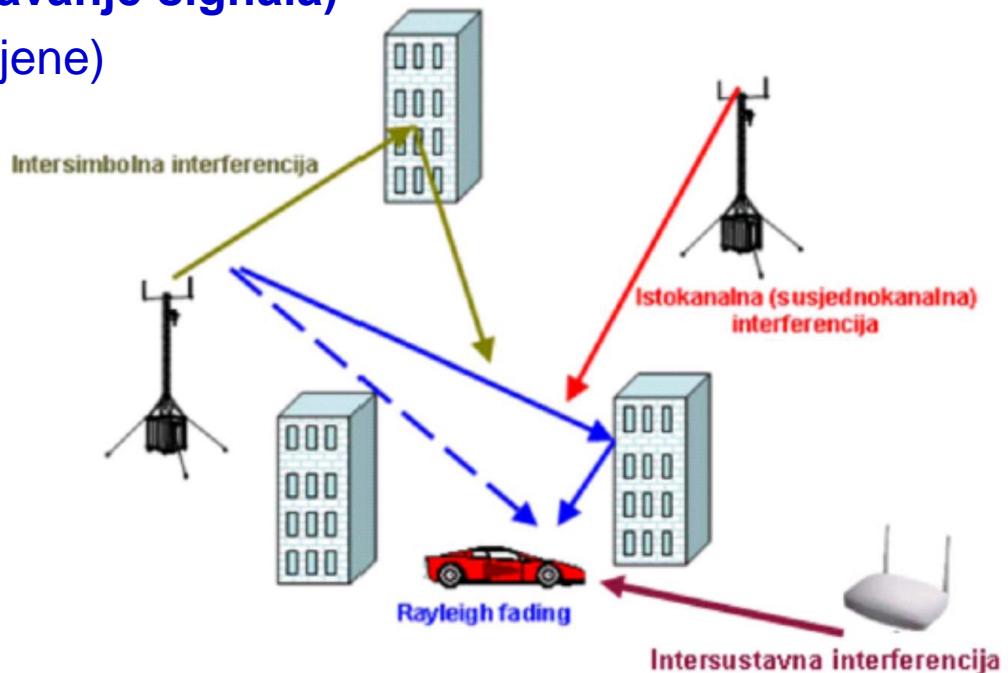


Posljedice nesavršenosti prijenosnog medija



Efekti koji narušavaju kvalitetu prijenosa signala na zračnom sučelju

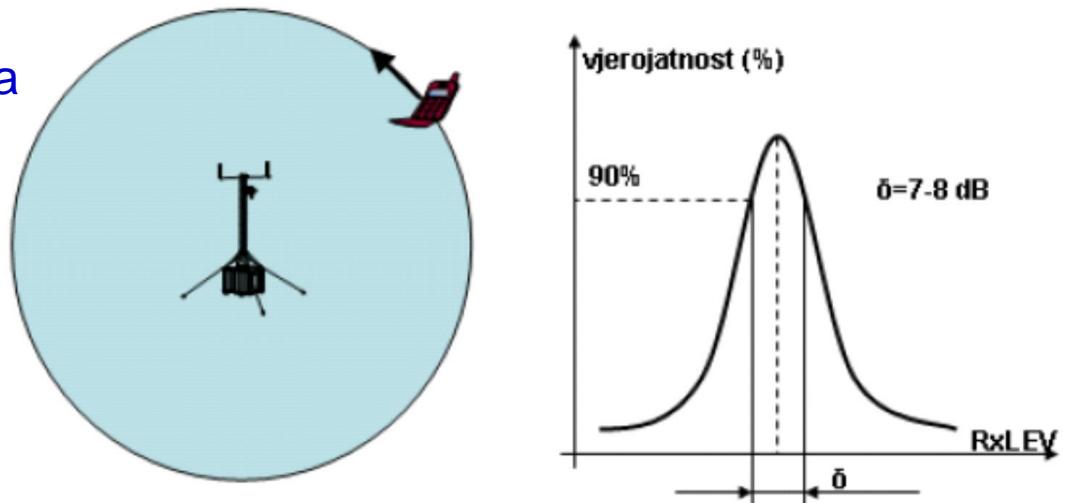
- Kapacitet i performanse bežičnih komunikacijskih sustava ograničavaju:
 - feding (engl. fading- iščezavanje signala)
 - log normal fading (zasjenjene)
 - Rayleigh fading
 - Interferencija
 - istokanalna
 - susjednokanalna
 - intersimbolna
 - intersustavna



Slika 1.30 Uzroci degradacije kvalitete signala na zračnom sučelju

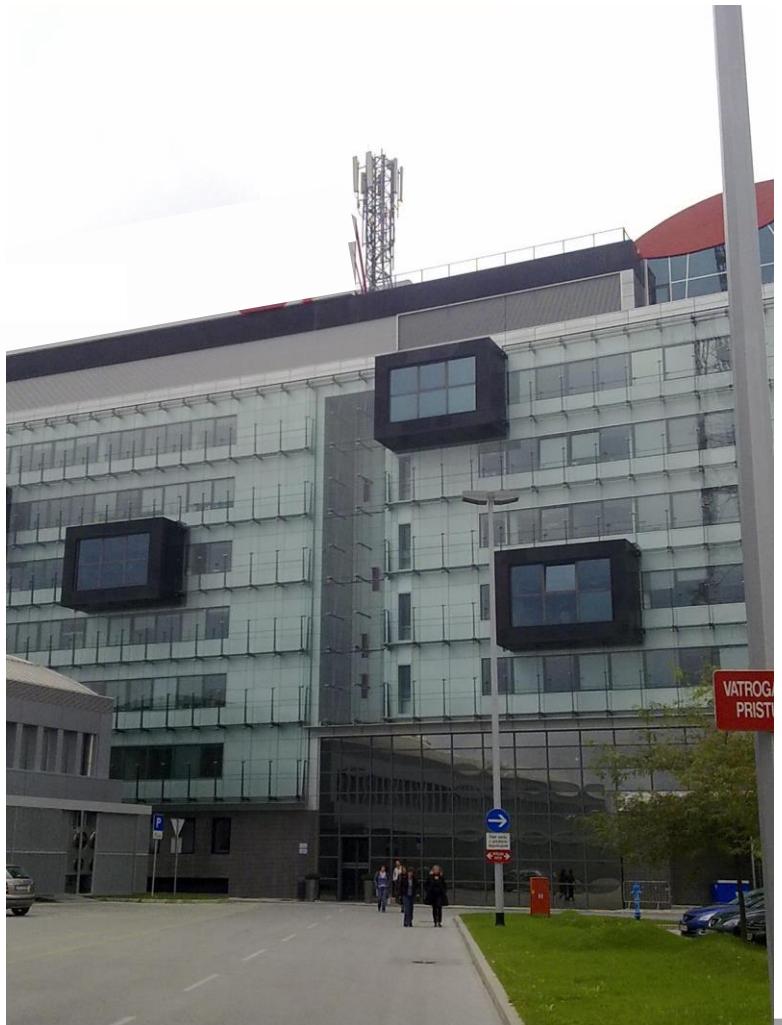
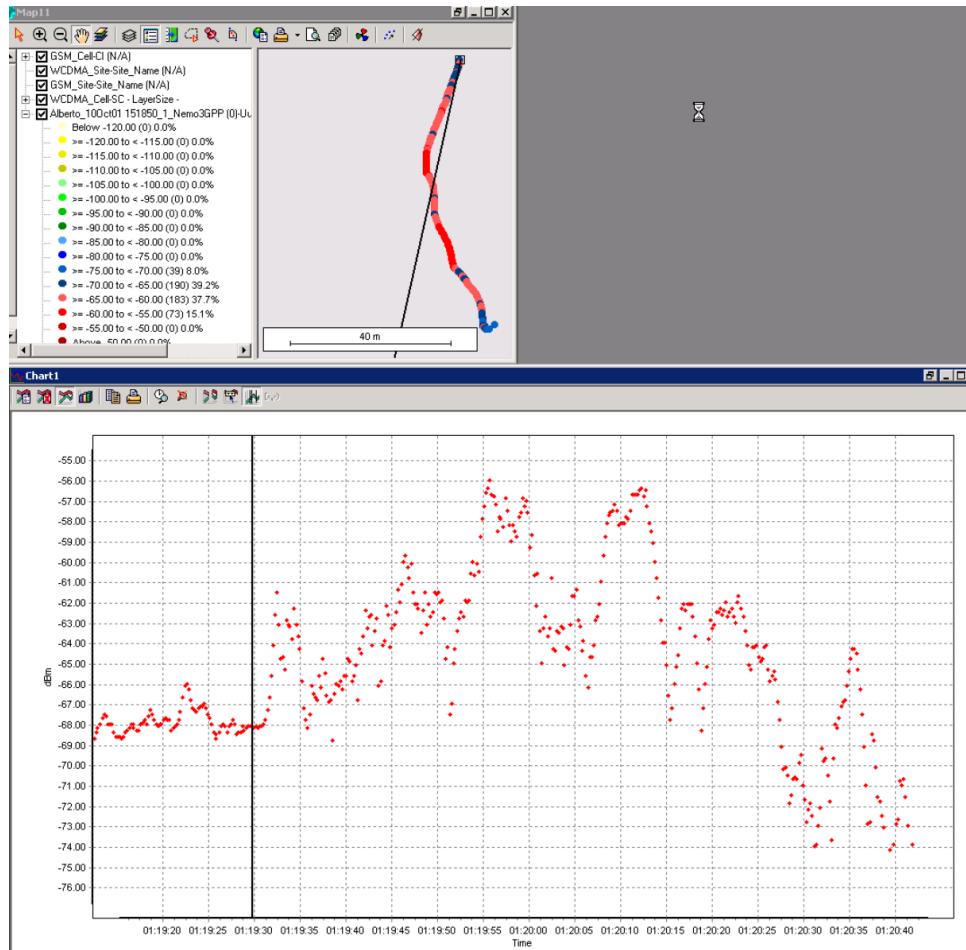
Log normal feding (zasjenjenje)

- Posljedica difrakcije signala
- Nastaje postoji optička vidljivost između odašiljača i prijamnika no nije slobodna 1. Fresnelova zona (u 1.Fresnelovoj zoni su veće prepreke)
- Prijemna snaga uslijed fedinga značajnije oscilira, nego kada ne postoje prepreke između odašiljača i prijemnika
- Minimumi na krivulji- ponori signala
(engl. fading dips)
- Udaljenost između 2 minimuma tipično 10- 20 metara

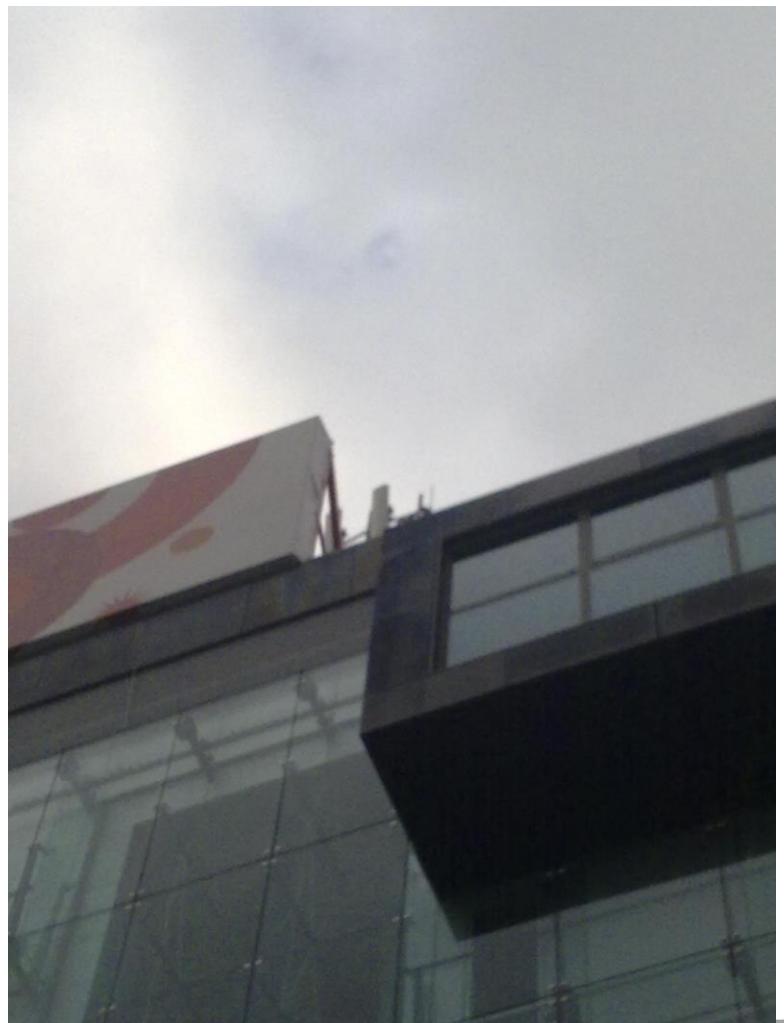
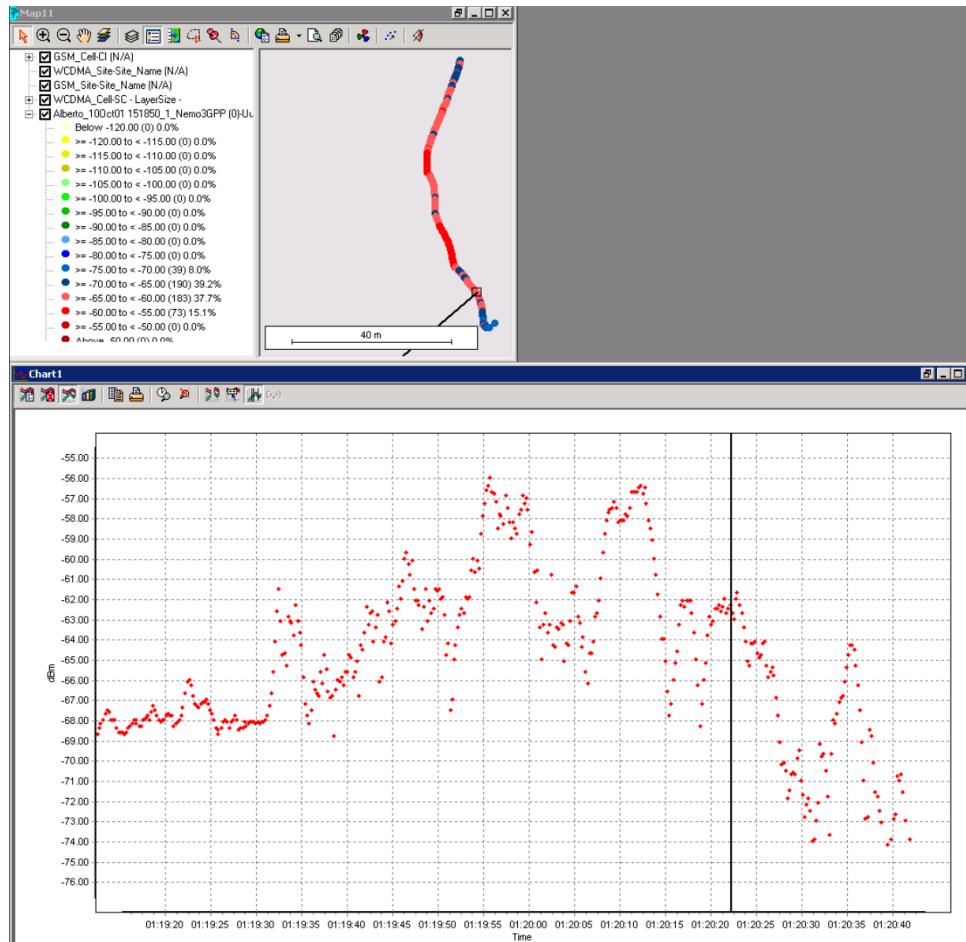


Slika 1.31 Log normal feding

Log normal feeding (zasjenjenje)

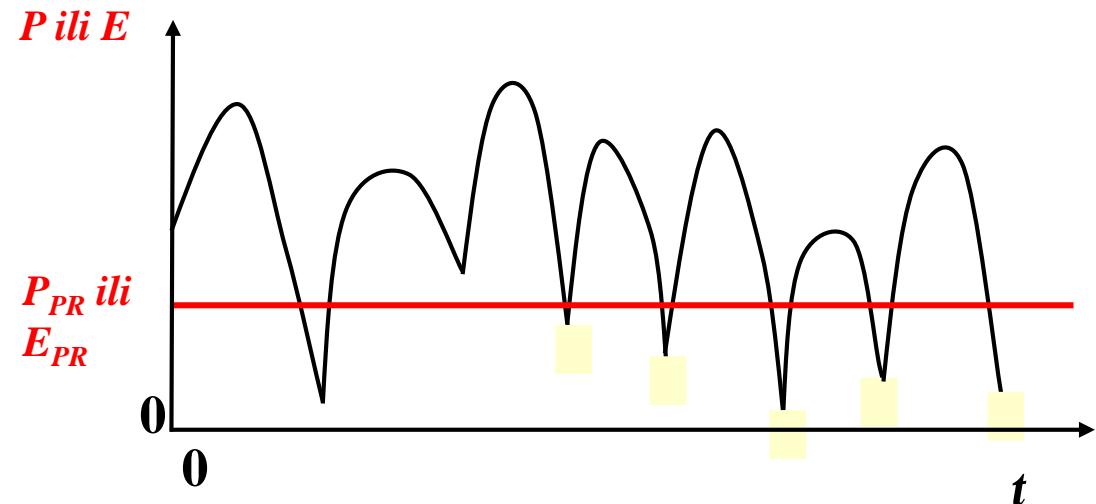
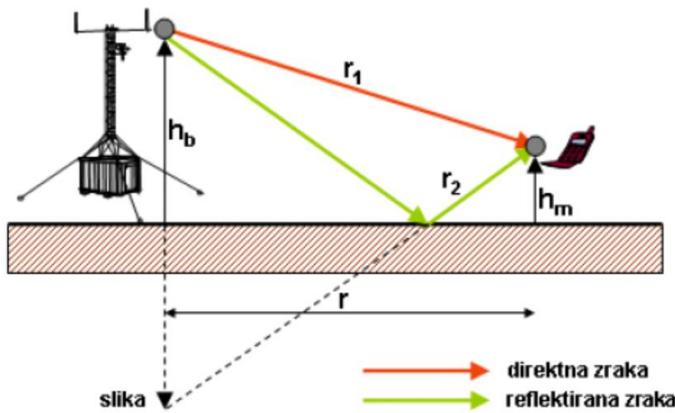


Log normal feeding (zasjenjenje)



Rayleigh-ev feding (višestazni feding)

- Periodičko zasjenjenje (duboki feding) kao posljedica višestaznog širenja signala
- Ovisno o faznom kašnjenju među putanjama- konstruktivno ili destruktivno međudjelovanje
- Za razmak između 2 minimuma (ponora signala) se uzima $\lambda/2$ (za 900 MHz je razmak 17cm)
- Može se u prvoj aproksimaciji opisati jednostavnim primjerom gušenja površine zemlje (1 direktna+ 1 reflektirana zraka)



Slika 1.32 Reyleigjev feding na primjeru direktne i reflektirane zrake

Realan izgled signala javnih mobilnih mreža sa 8 ili više reflektiranih zraka i bez direktne

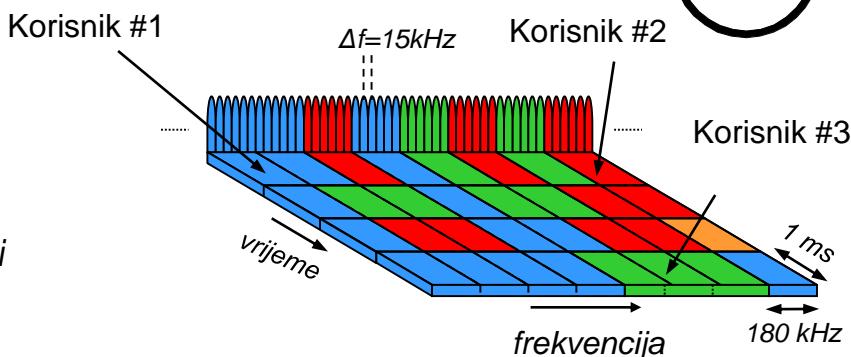


LTE fizički sloj



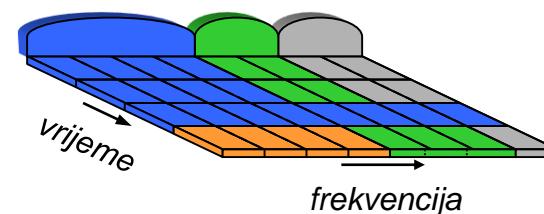
> Silazna veza: adaptivni OFDMA

- > Raspoređivanje ovisno o kanalima i adaptaciji veze u vremenskoj i frekvenčijskoj domeni



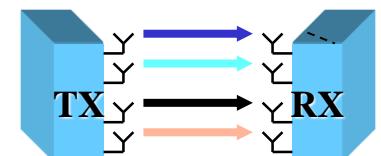
> Uzlazna veza: SC-FDMA uz dinamičnu širinu pojasa

- > Nizak PAPR (Peak to Average Ratio) ➔ Veća efikasnost korištenja snage/napajanja (2 do 3 puta duže trajanje baterije)
- > Smanjena UL interferencija ➔ Veće brzine prijenosa podataka na UL i poboljšano pokrivanje na rubovima ćelija



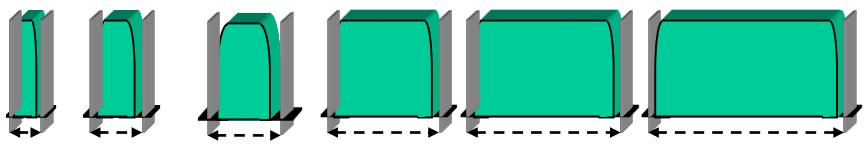
> Više antene, na strani eNodeB i na strani UE

- > MIMO, beamforming, TX i RX diversiti, smanjenje interferencije (IR)
- > Visoke brzine prijenosa podataka i veći kapacitet sustava



• Fleksibilna širina frekvenčijskog pojasa

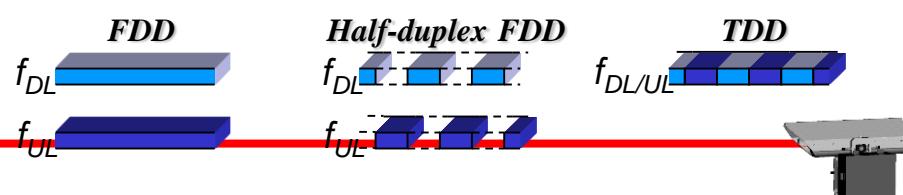
- Mogućnost implementacije u 6 različitim širinama frekvenčijskog pojasa (do 20 MHz)



> Usklađeni FDD i TDD koncept

- > Mnogostrukе sličnosti između implementacije FDD i TDD

> Minimalni zahtjevi na UE: BW = 20 MHz



Ključne karakteristike LTE radio pristupne mreže



- **LTE radio sučelje**

- Silazna veza: OFDMA (Orthogonal Frequency Devision Multiple Access)
- Uzlazna veza: SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)

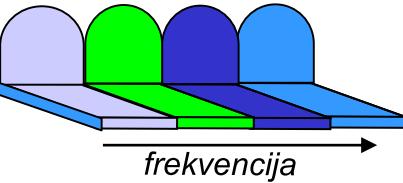
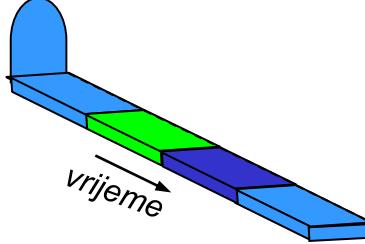
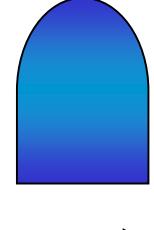
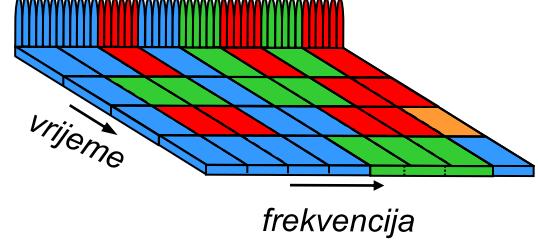
OFDMA



SC-FDMA



Metode višestrukog pristupa (Multiple Access)

Frequency Division Multiple Access	Time Division Multiple Access	Spread Spectrum Multiple Access	Code Division Multiple Access	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
 <p>frekvencija</p>	 <p>vrijeme</p>	 <p>frekvencija</p>		 <p>vrijeme</p> <p>frekvencija</p>
<p>Svakom korisniku se dodjeljuje posebna frekvencija</p> <p>(1 govorni kanal po korisniku)</p> <p>Svi korisnici odašilju u isto vrijeme</p> <p>AMPS, NMT, TACS</p>	<p>Svakom korisniku se dodjeljuje poseban vremenski odsječak (time slot)</p> <p>Svaki podatkovni kanal se mapira unutar time slot-a</p> <p>Nekoliko korisnika dijeli istu frekvenciju</p> <p>IS-136, GSM, PDC</p>	<p>Svaki primopredajnik ima poseban Scrambling Code</p> <p>Svaki podatkovni kanal ima poseban Channelization code</p> <p>Više korisnika dijeli istu frekvenciju i u isto vrijeme</p> <p>IS-95, cdma2000, WCDMA</p>		<p>Svaki korisnik i svaki kanal ima poseban vremensko-frekvencijski blok</p> <p>Više korisnika je razdvojeno u vremenu i po frekvenciji</p> <p>LTE, Wimax (WLAN 802.11a,g, DAB radio)</p>



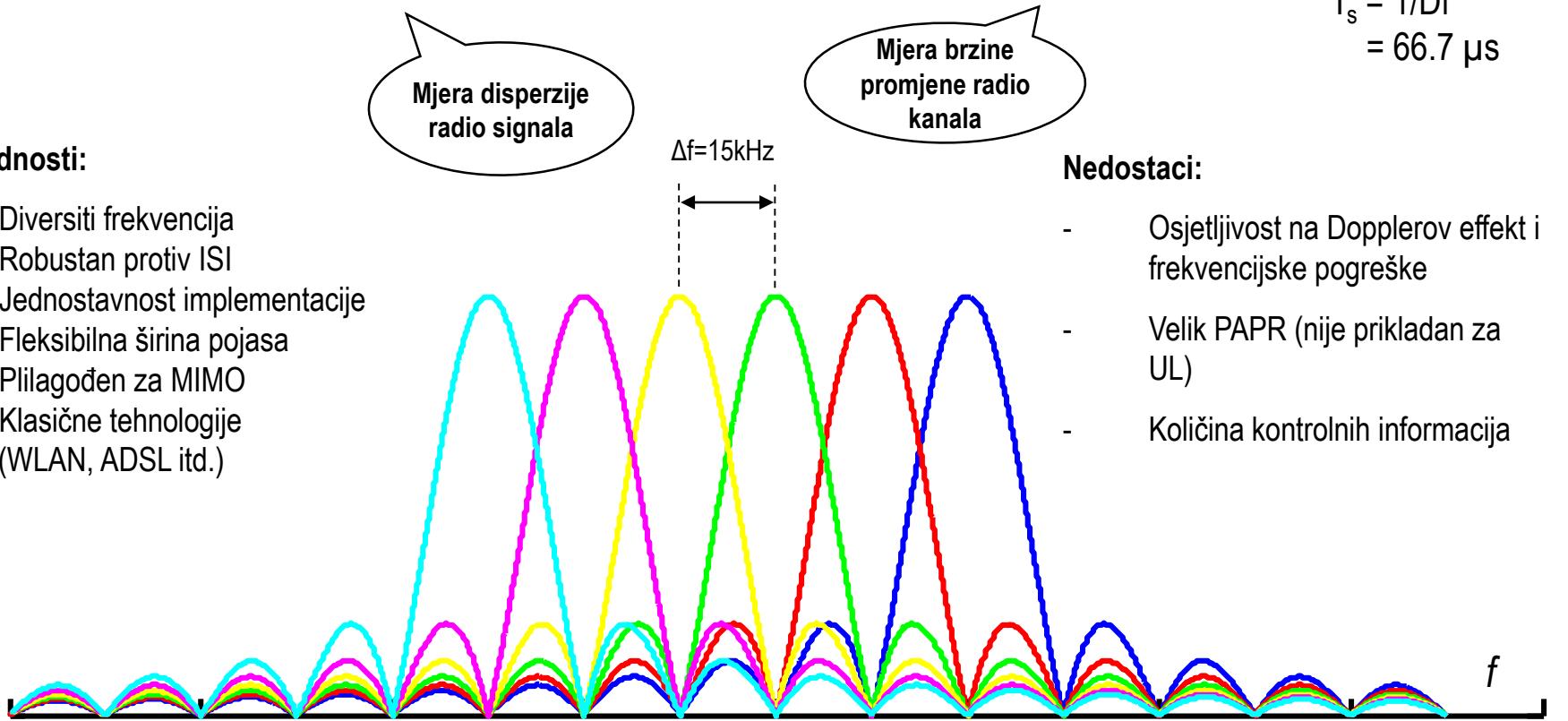
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

- Ortogonalnost: svi drugi pod-nosioci ukupno se poništavaju
- Razmak pod-nosioca iznosi 15 kHz
- Kašnjenje signala << Trajanje simbola < Vrijeme koherencije

$$T_s = 1/Df \\ = 66.7 \mu\text{s}$$

Prednosti:

- + Diversiti frekvencija
- + Robustan protiv ISI
- + Jednostavnost implementacije
- + Fleksibilna širina pojasa
- + Plilagoden za MIMO
- + Klasične tehnologije (WLAN, ADSL itd.)



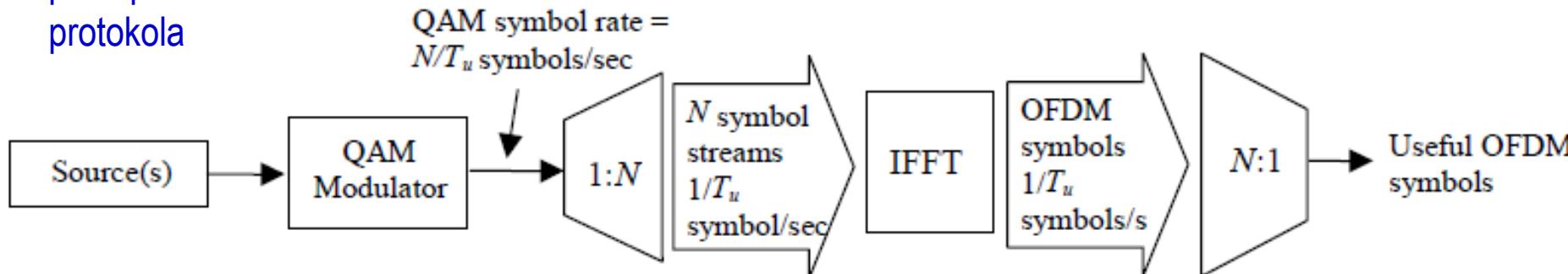
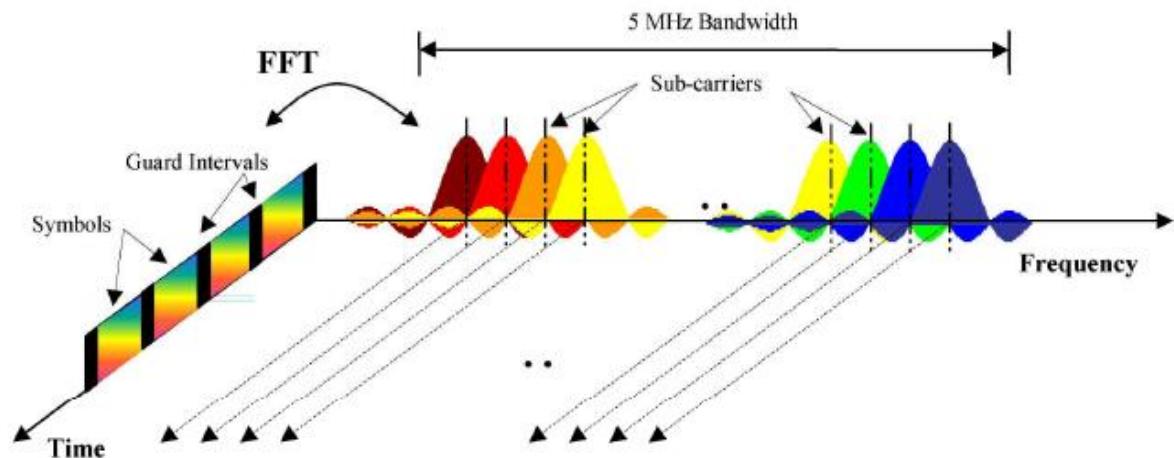
Nedostaci:

- Osjetljivost na Dopplerov effekt i frekvencijske pogreške
- Velik PAPR (nije prikladan za UL)
- Količina kontrolnih informacija



OFDMA omogućuje:

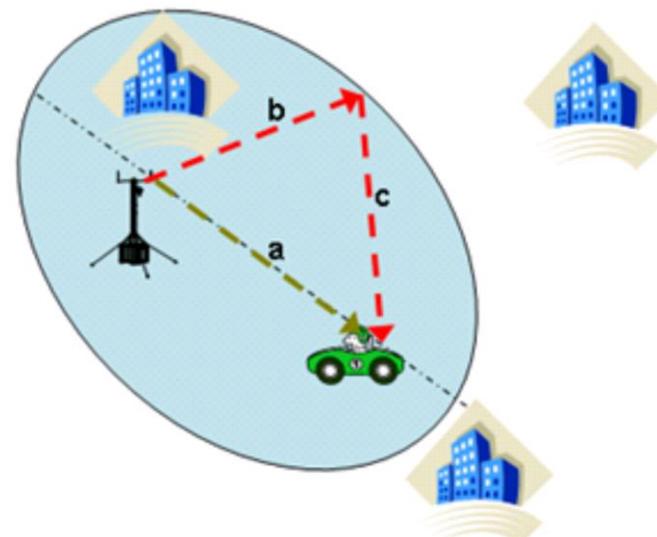
- Velike brzine prijenosa podataka
- Zaštitu od interferencije (zahvaljujući uskim pojasima signala)
- Efikasno korištenje frekvencijskih pojasa (nema potrebe za "guard bands" zahvaljujući ortogonalnosti signala)
- Jednostavnija metoda višestrukog pristupa i same strukture protokola



Intersimbolna interferencija



- Smetnja unutar ćelije uzrokovana vremenskim kašnjenjem pojedinih (reflektiranih) komponenti signala na prijemu
 - Prisutna na zračnom sučelju u mnogim sustavima
 - Uzrokuje je višestazno prostiranje signala
-
- Različiti sklopolovi u prijemniku rješavaju problem:
 - GSM– Viterby equilizer (16 μ s elipsa)
 - UMTS- RAKE receiver

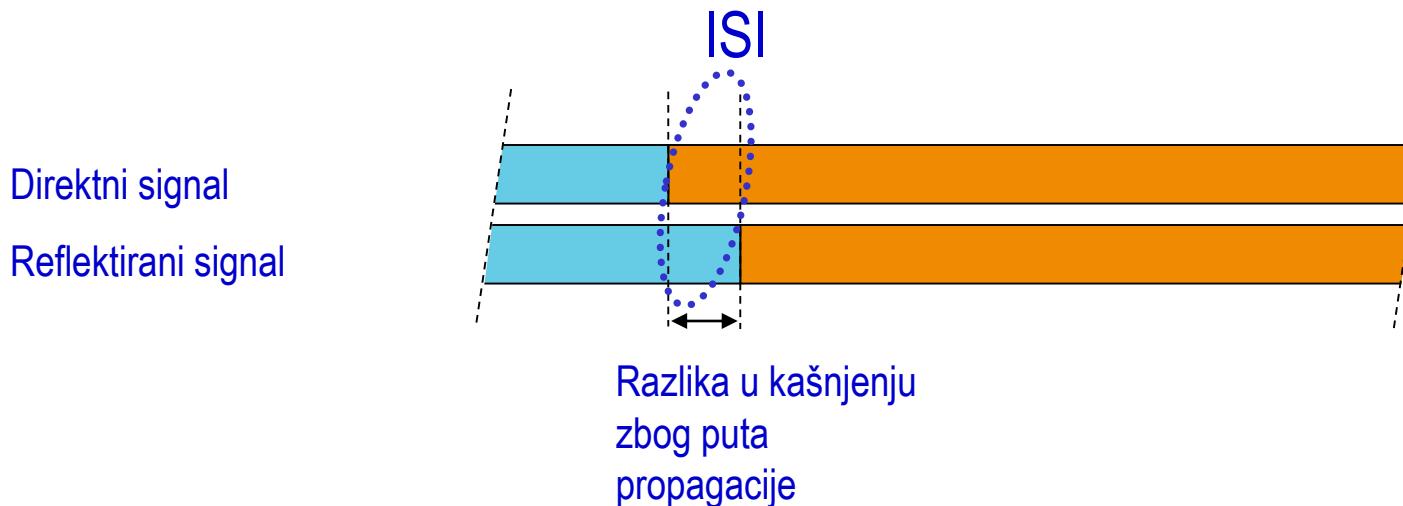


Slika 1.36 Intersimbolna interferencija u GSM sustavu

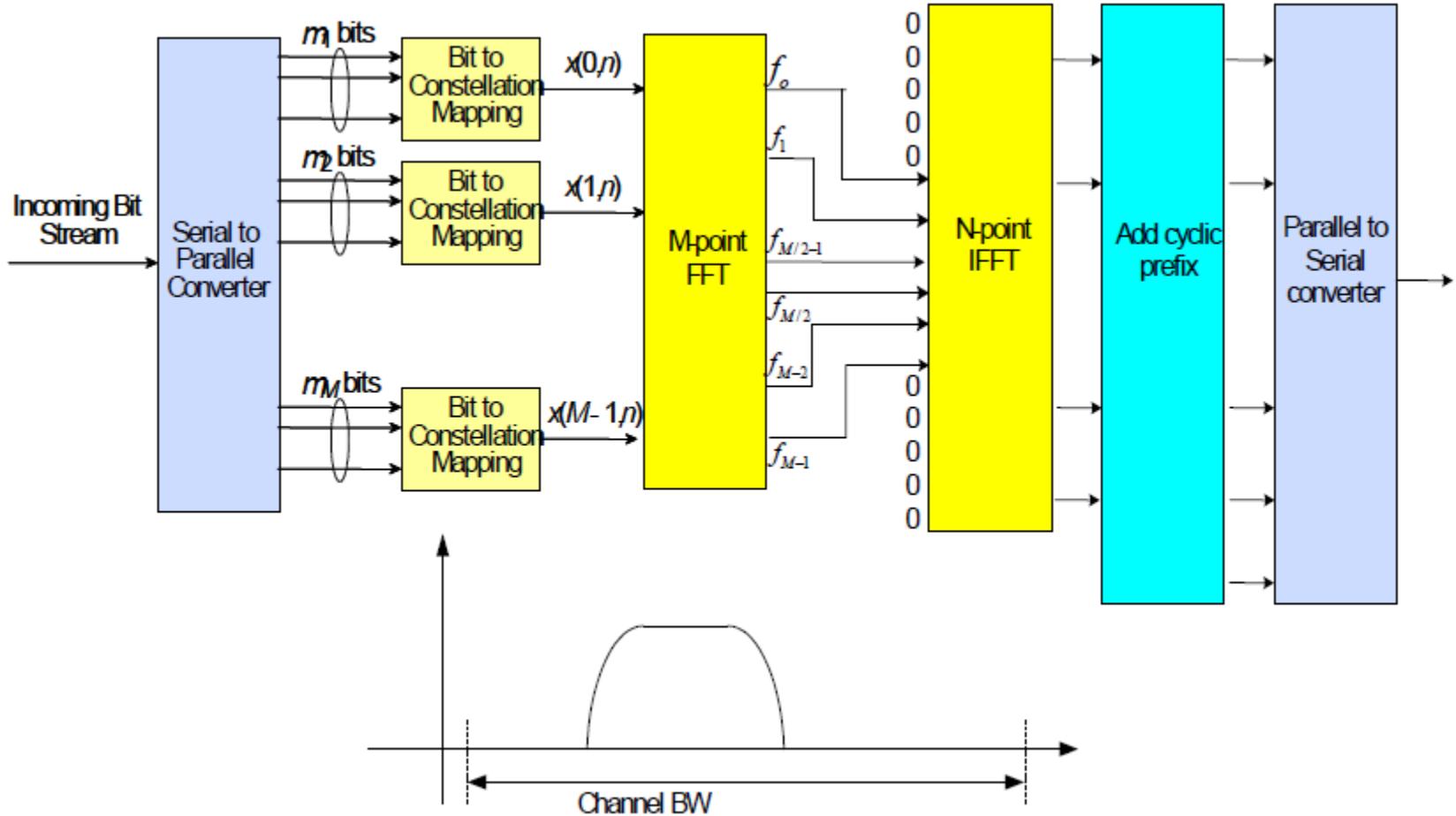


Inter Symbol Interference (ISI)

- Prijašnji simbol dolazi u isto vrijeme sa trenutnim simbolom zbog različitih kašnjenja na putu propagacije
- Kada količina ISI premaši određenu vrijednost (~10%), pojavljuju se greške u prenesenim bitovima (BER)
- ISI se može smanjiti korištenjem ispravljačkih filtera, Rake prijamnika ili korištenjem OFDMA

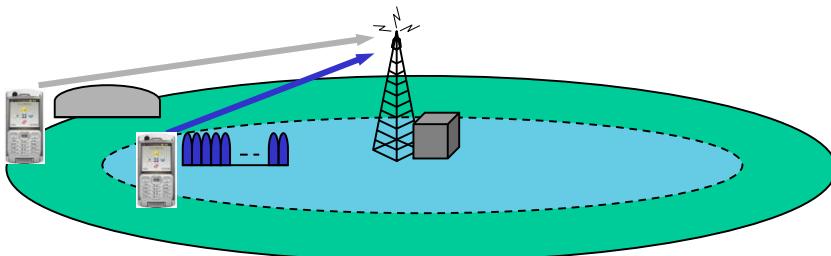


SC-OFDMA Single Carrier OFDM



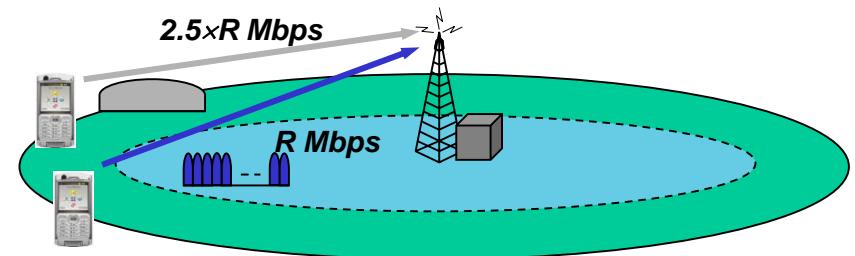
Usporedba SC-FDMA i OFDM

- Single-carrier transmisija u UL omogućuje niži omjer vršne i prosječne vrijednosti snage (PAPR) što rezultira više od 4 dB boljom karakteristikom veze i smanjuje potrošnju snage

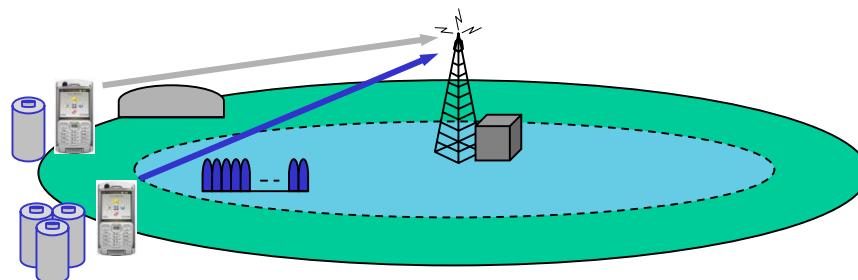


ILI

Poboljšano pokrivanje
($> 60\% \text{ bolje}$)



Veće brzine prijenosa podataka
($> 2.5 \text{ puta}$)

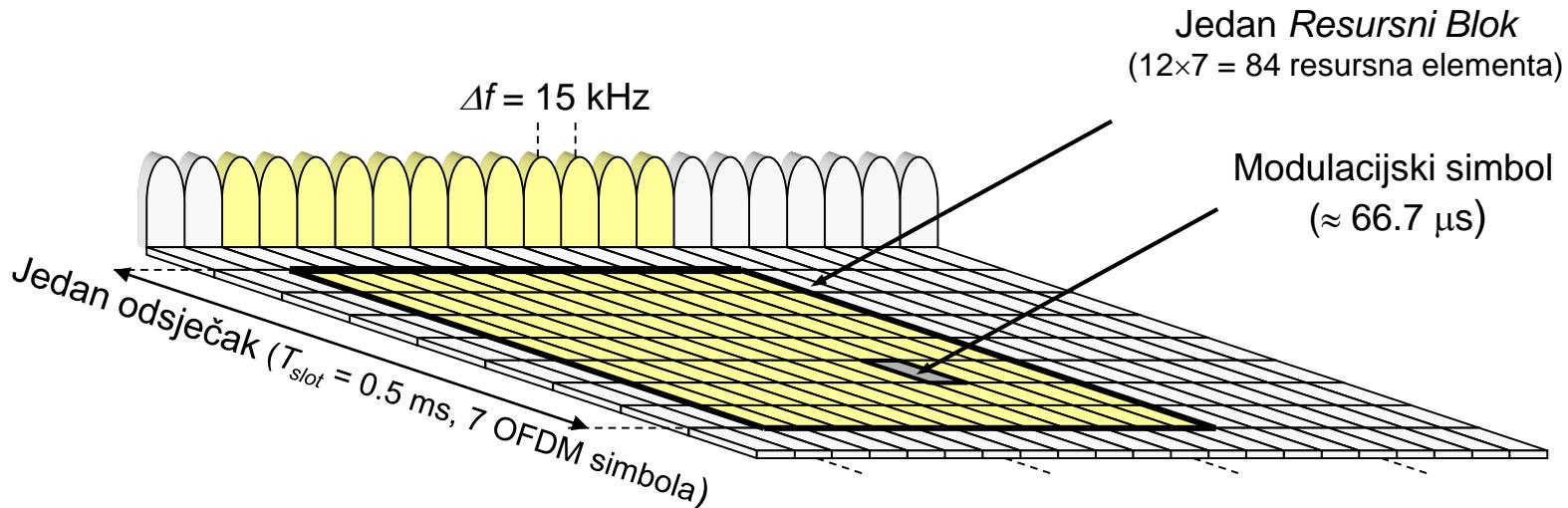


Smanjena potrošnja baterije
(2-3 puta duže trajanje)

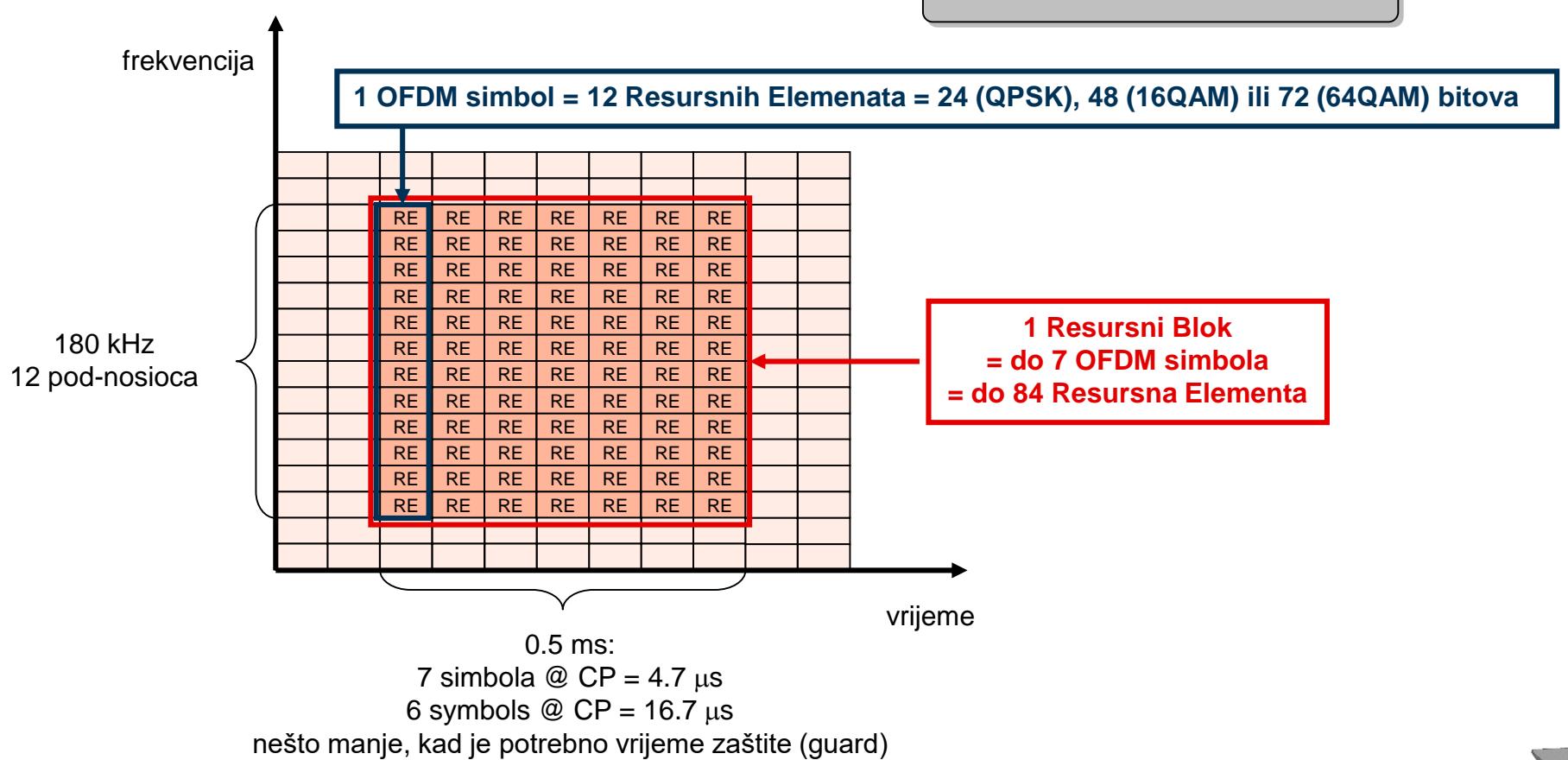


LTE DL - fizički resursi

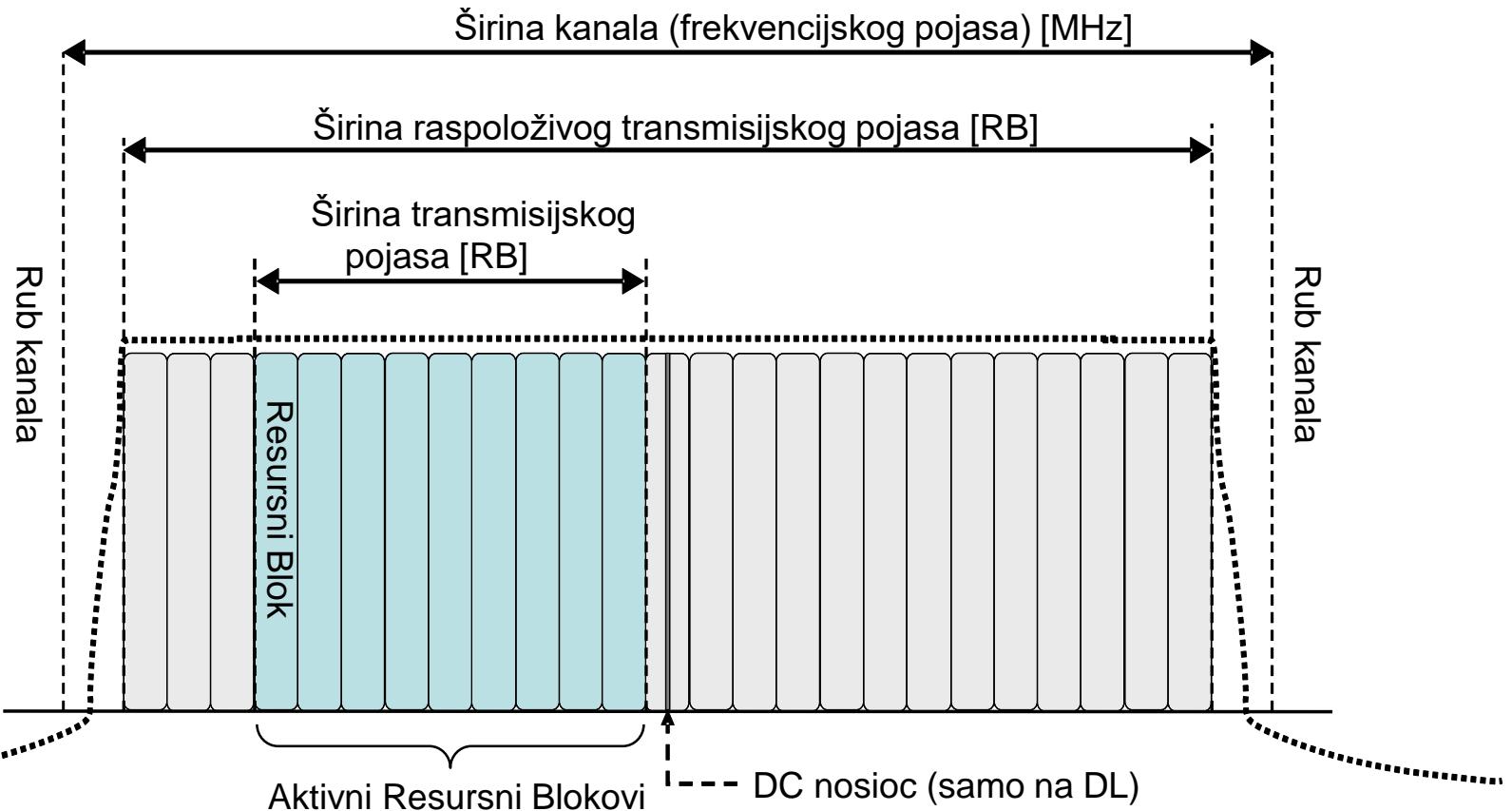
- Jedan Resursni Blok (Resource Block - RB) čine 12 frekvencijskih pod-nosioca u trajanju od jednog odsječka (0.5 ms)
 - Jedan frekvencijski pod-nosioc zauzima 15 kHz
- Osnovni TTI (Transmission Time Interval) za DL-SCH je 1 ms
 - Dva resursna bloka po TTI se šalju na fizičkom sloju



Resursni Blok – osnovna informacijska jedinica



Broj Resursnih Blokova (n_{RB})

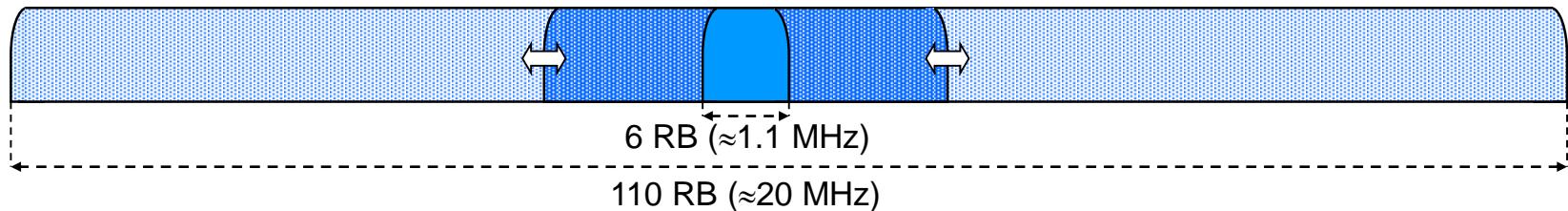


Širina kanala $BW_{Channel}$ [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Broj Resursnih Blokova (n_{RB})	6	15	25	50	75	100



Fleksibilnost frekvencijskog pojasa

- Specifikacija LTE fizičkog sloja prihvata bilo koju širinu frekvencijskog pojasa u granicama od 6 RB do 110 RB u koracima od jednog RB (180 kHz)



- > Radio zahtjevi trenutno definirani samo za ograničeni broj širina frekvencijskog pojasa (od 1.4 MHz do 20 MHz)
 - > može biti različito za različite frekvencijske opsege
- > Jednostavno proširenje na dodatni frekvencijski pojas
 - > napr. na nove frekvencijske opsege
- > Svi UE moraju podržavati maksimalnu širinu frekvencijskog pojasa za svaki LTE frekvencijski opseg
- > Maksimalno može biti pridjeljeno 100 RB



Ključne karakteristike LTE radio pristupne mreže



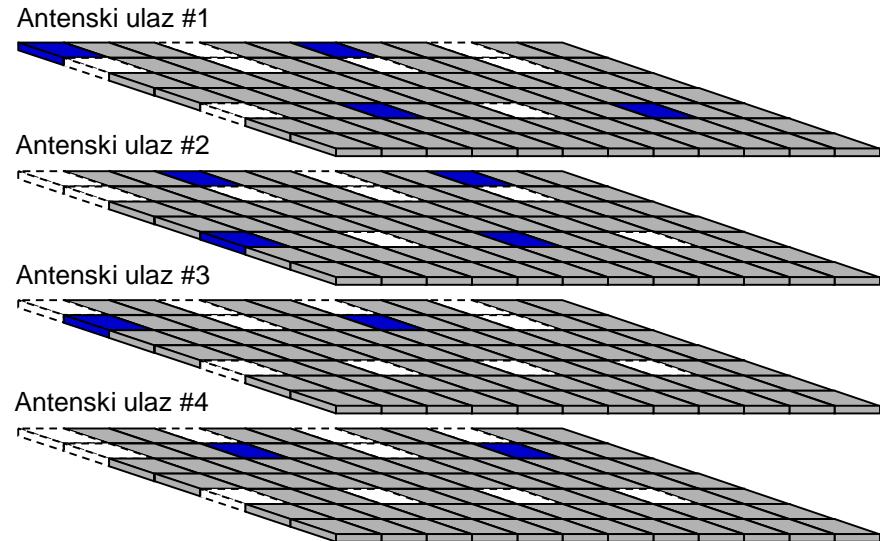
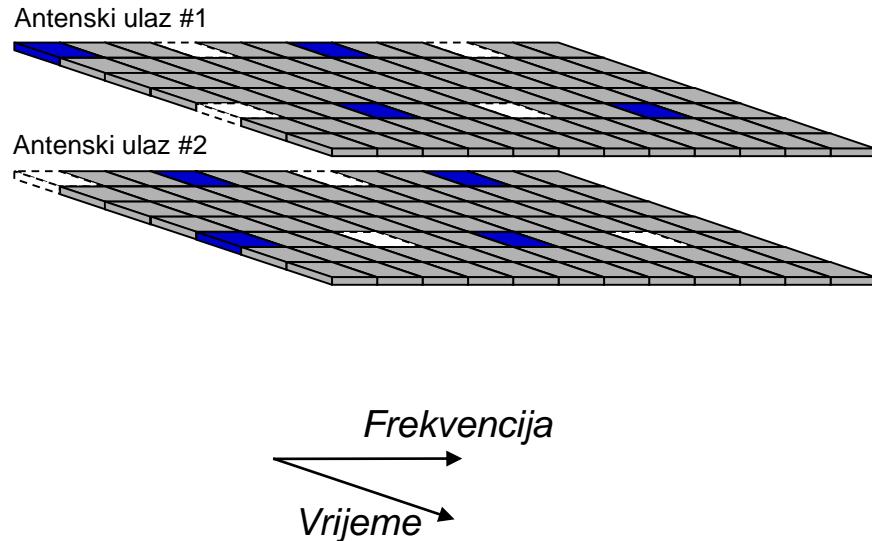
- **LTE radio sučelje**
 - Silazna veza: OFDMA (Orthogonal Frequency Devision Multiple Access)
 - Uzlazna veza: SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
-

- Napredna rješenja antenskog sustava
 - Diverziti antenskog sustava
 - Transmisija u više slojeva (MIMO)
 - Usmjeravanje antenskog zračenja (Beam-forming)
-



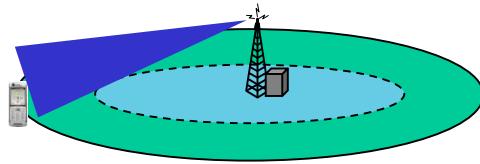
Referentni signali, specifični za svaku ćeliju

- Jedan referentni signal po antenskom ulazu (1, 2, ili 4 antenska ulaza podržana)
- Koristi se za:
 - koheretnu demodulaciju u UE
 - mjerjenje kvalitete kanala
 - mjerena za mobilnost
- Različiti vremensko-frekvencijski resursi se koriste za različite antenske ulaze
 - ništa se ne odašilje na drugim antenama dok se referentni simbol odašilje na jednoj anteni

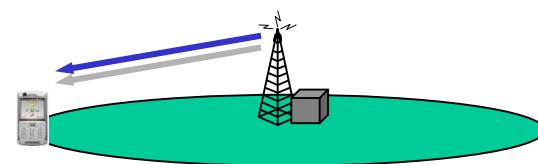


Napredna rješenja antenskog sustava

- Omogućuju visoke performanse LTE sustava u smislu vršnih brzina prijenosa podataka, područja pokrivanja i kapaciteta
- Različita rješenja antenskog sustava imaju svoju primjenu za različite potrebe:
 - Visoke vršne brzine prijenosa podataka = Transmisija u više slojeva (MIMO)
 - Veće područje pokrivanja signalom = Usmjeravanje antenskog zračenja (Beam-forming)
 - Povećanje kapaciteta LTE sustava = Beam forming (i MIMO)



Beam Forming



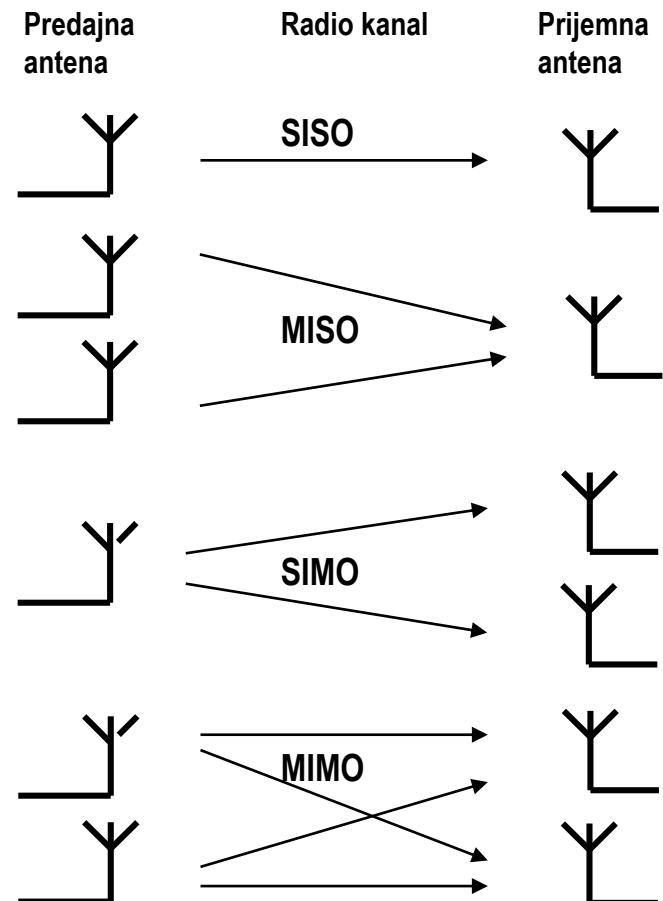
MIMO

- Osnovni koncept rješenja LTE antenskog sustava ima svoju primjenu u velikom broju različitih scenarija (velike ili male ćelije, visoke vršne brzine prijenosa podataka ili veće područje pokrivanja, i sl.)
- Korisnički uređaji za LTE moraju obavezno imati ugrađen veći broj antena



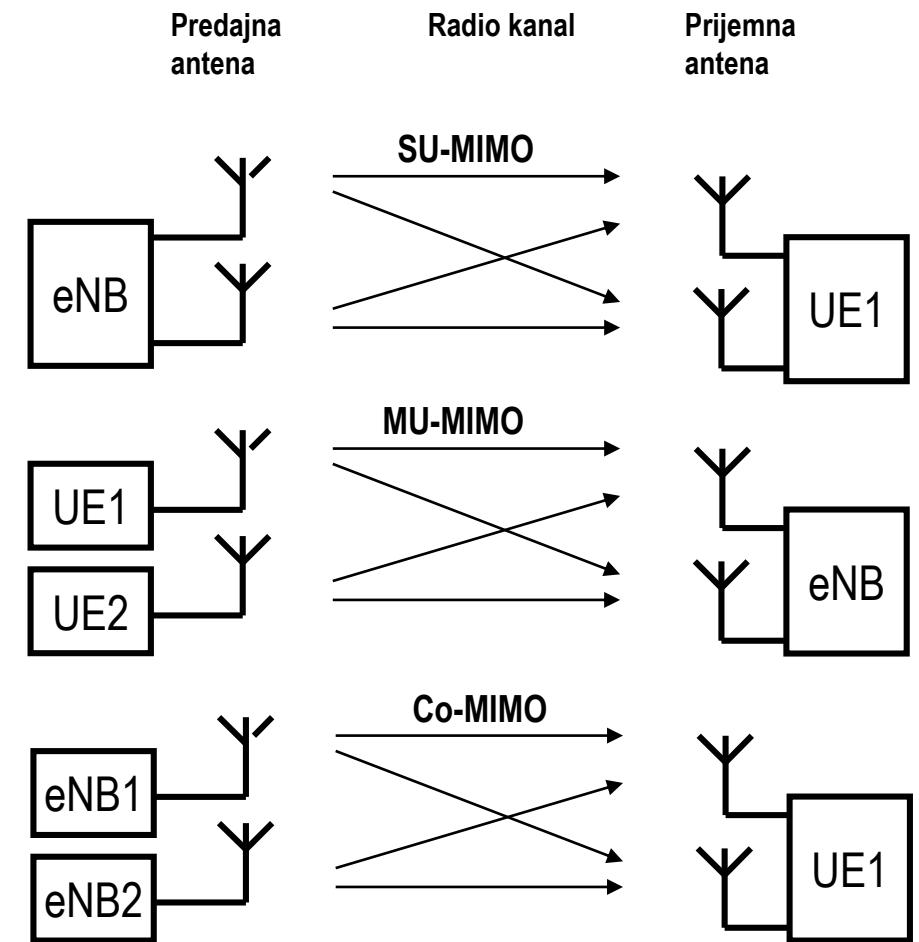
Tehnike korištenja više antena

- Single-Input, Single-Output (SISO)
- Multiple Input, Single-Output (MISO), Tx diversiti
- Single-Input, Multiple Output (SIMO), Rx diversiti
- SIMO i MISO nisu isto što i MIMO
- Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO), Tx i Rx diversiti

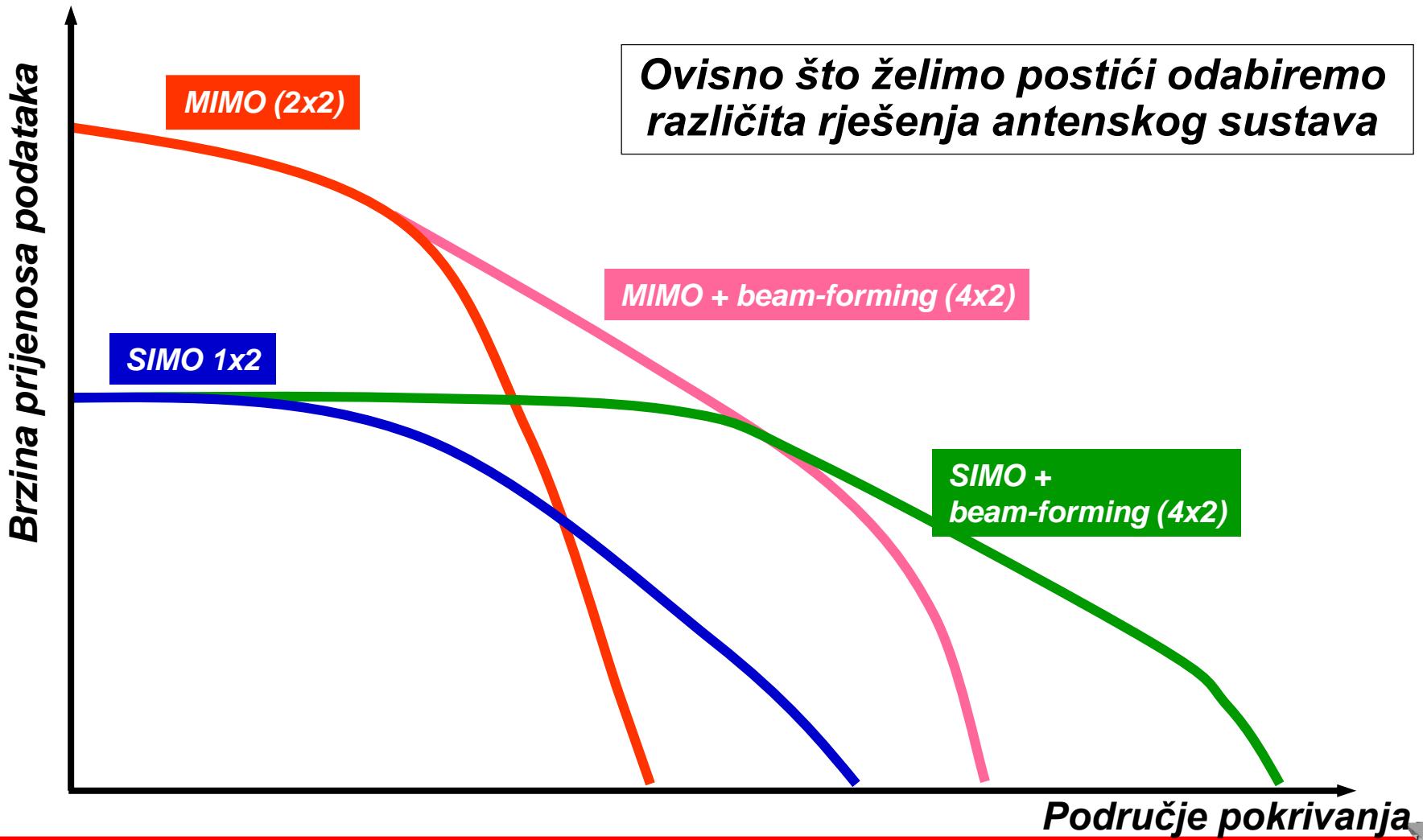


LTE MIMO vrste transmisijske

- Single User MIMO (SU-MIMO)
 - “normalni” MIMO, jedna bazna stanica odašilje jednom korisniku
- Multiple User MIMO (MU-MIMO)
 - “obrnuti” MIMO, dva korisnika odašilju jednoj baznoj stanici
- Cooperative MIMO, (CO-MIMO)
 - dvije bazne stanice odašilju jednom korisniku



Odabir rješenja antenskog sustava



Ključne karakteristike LTE radio pristupne mreže



> LTE radio sučelje

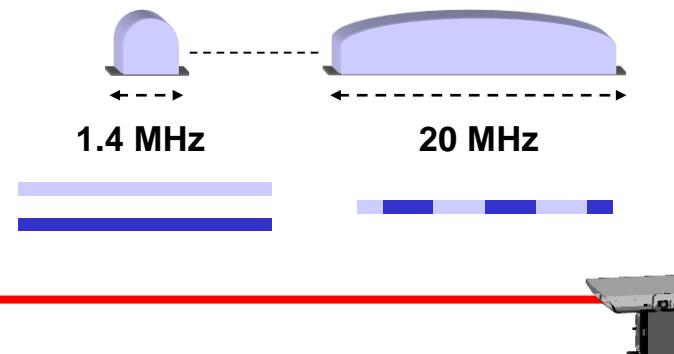
- > Silazna veza: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
 - > Uzlazna veza: SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
-

> Napredna rješenja antenskog sustava

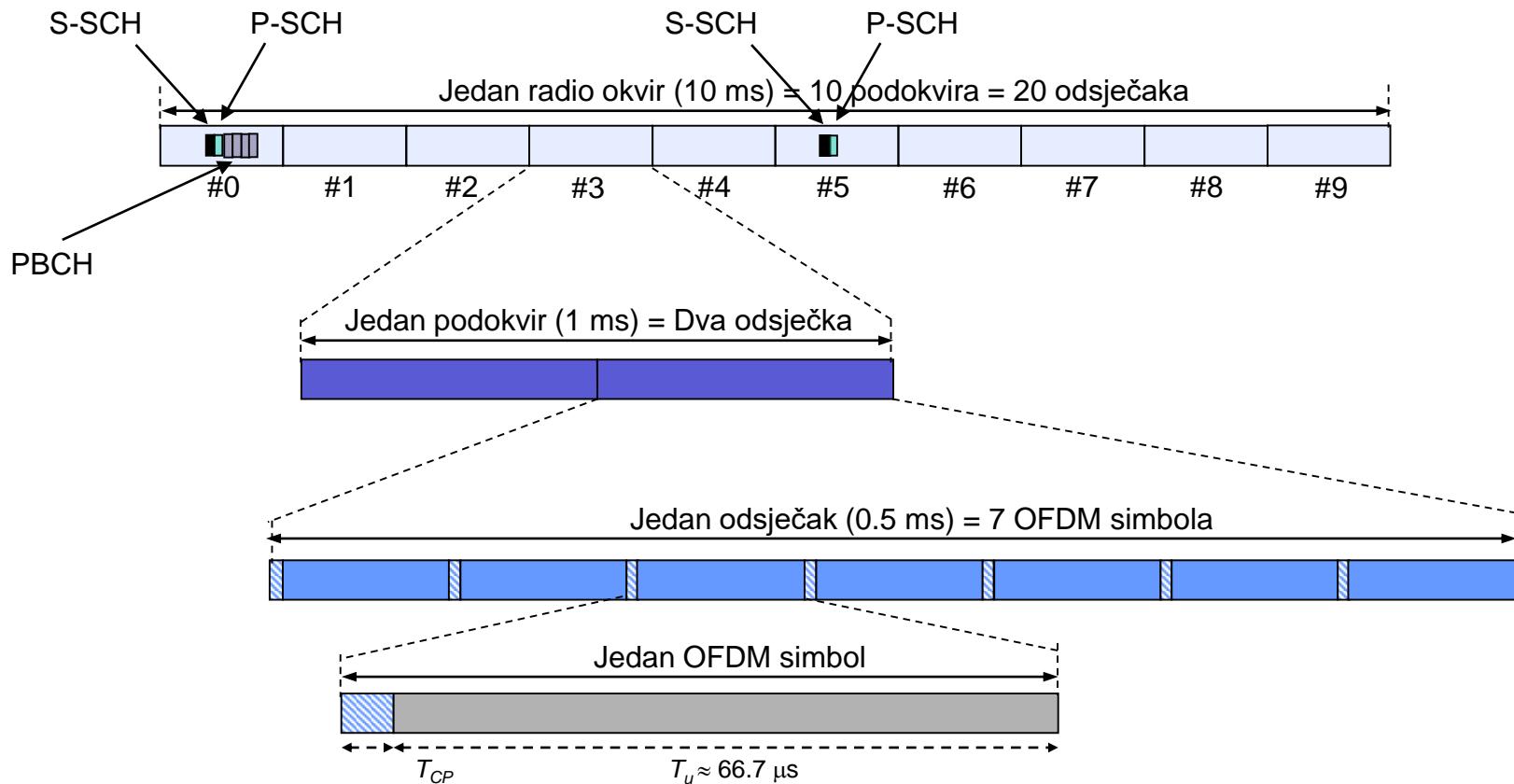
- > Diverziti antenskog sustava
 - > Transmisija u više slojeva (MIMO)
 - > Usmjeravanje antenskog zračenja (Beam-forming)
-

> Fleksibilnost frekvencijskog spektra

- > Fleksibilna širina pojasa
- > Novi i postojeći frekvencijski pojasi
- > Dupleksna fleksibilnost: FDD i TDD



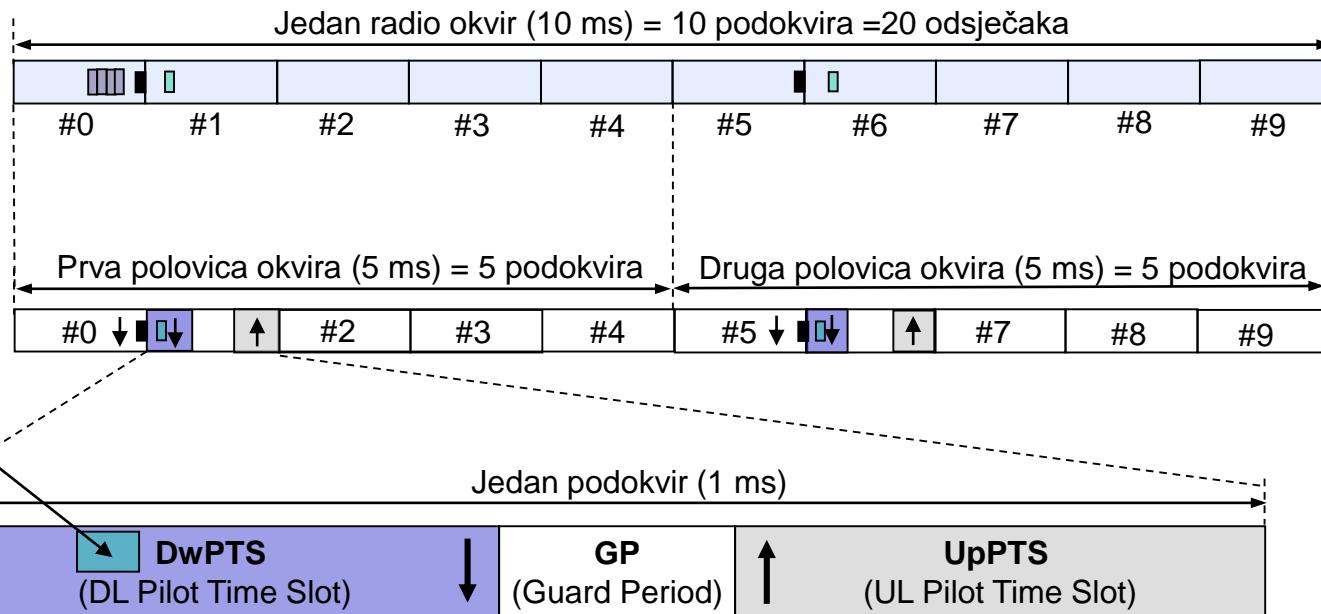
FDD struktura u vremenskoj domeni



- PBCH (Physical Broadcast Channel) se šalje u podokviru #0, odsječku 1, sa 0-3 simbola preko 4 uzastopna radio okvira (40 ms)
- SCH (Shared Channel) kanali se šalju podokvirima #0 i #5, odsječku 0 and 10, sa 5-6 simbola



TDD struktura u vremenskoj domeni



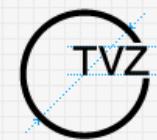
- Prebacivanje iz DL u UL je moguće samo u podokviru #1 i #6
 - Ostali podokviri su dodjeljeni za UL ili DL prijenos podataka
 - Prebacivanje iz UL u DL je moguće nakon bilo kojeg podokvira
 - Podokvir #0 i #5 se uvijek koriste za DL
 - koriste se za traženje signala u ćeliji (S-SCH)
- DwPTS dužina: 2,6 ili 11 simbola
 - UpPTS dužina: 2, 7 ili 11 simbola
 - Ukupno trajanje DwPTS, GP i UpPTS uvijek 1 ms





TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU
POLYTECHNICUM ZAGRABIENSE

MOBILNE KOMUNIKACIJE WLAN



> WLAN

- > Regulatorna tijela, standardi i certifikati
 - > IEEE 802.11
 - > Wi-Fi Alliance
 - > FCC
 - > ETSI
 - > WLANA
- > Osnove WLAN sustava
 - > Lociranje bežičnih lokalnih računalnih mreža
 - > Autentifikacija i asocijacija
 - > Servis set
 - > Energetske značajke
 - > Mehanizam pristupa mediju
 - > Dinamičko podešavanje brzina prijenosa
 - > Roaming
- > Sigurnost WLAN sustava

IEEE 802.11

- > IEEE (engl. *IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers*) je neprofitna organizacija koja okuplja istraživače i inženjere s ciljem razvoja komunikacijskih standarda na polju elektroničkih i računalnih znanosti te ostalih povezanih disciplina.
- > U sklopu IEEE, 1990. godine osnovana je grupa 802.11 s ciljem analiziranja postojećih aplikacija i okruženja u kojem se bežične mreže koriste. No tek je 1997. godine objavljen prvi protokol.
- > Najznačajnija četiri IEEE standarda za WLAN su: 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g., no postoje i mnogi drugi. Tabela prikazuje neke osnovne karakteristike najznačajnijih predstavnika 802.11 grupe standarda.

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g		802.11n
Godina ratifikacije	1997	1999	1999	2003		2012.
Frekvencijski pojas	2.4GHz	2.4GHz	5GHz	2.4GHz		2.4GHz 5GHz
Broj kanala koji se ne preklapaju	3	3	do 23	3		varijabilno
Prijenosna tehnika	IR, FHSS, DSSS	DSSS	OFDM	DSSS	OFDM	DSSS, CCK, OFDM
Brzine (Mbps)	1, 2	1, 2, 5.5, 11	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2, 5.5, 11	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	100+

Wi-Fi generations

	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E	Wi-Fi 7 (expected)
Launch date	2007	2013	2019	2021	2024
IEEE standard	802.11n	802.11ac		802.11ax	802.11be
Max data rate	1.2 Gbps	3.5 Gbps		9.6 Gbps	46 Gbps
Bands	2.4 GHz and 5 GHz	5 GHz	2.4 GHz and 5 GHz	6 GHz	1–7.25 GHz (including 2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz bands)
Security	WPA 2	WPA 2		WPA 3	WPA3
Channel size	20, 40 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	Up to 320 MHz
Modulation	64-QAM OFDM	256-QAM OFDM		1024-QAM OFDMA	4096-QAM OFDMA (with extensions)
MIMO	4x4 MIMO	4x4 MIMO, DL MU-MIMO		8x8 UL/DL MU-MIMO	16x16 MU-MIMO

Source: IEEE, Intel Corporation, Wi-Fi Alliance



Wi-Fi 7

- > IEEE 802.11be – Extremely High Throughput (EHT) potencijalna je sljedeća izmjena standarda 802.11 IEEE. koja će se vjerojatno zvati još Wi-Fi 7
- > Iščekivani dolazak 2024. godine (početni nacrt do ožujka 2021., konačna verzija – početkom 2024.)
- > Brzine do 30 Gbps (bolji streaming videozapisa, veći domet i manje problema s zagušenjima u prometu)



Što se očekuje od Wi-Fi 7

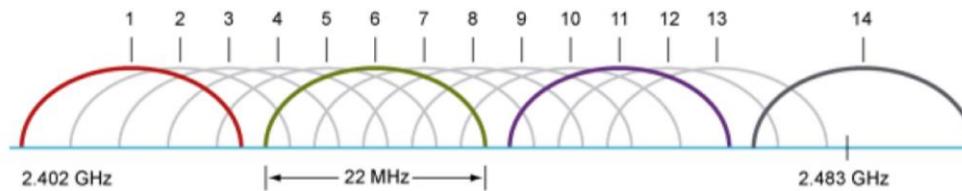
- > Veća brzina prijenosa podataka (46Gbps)
- > Niži odziv/kašnjenje(latencija)
- > Veća učinkovitost spektra(1-7.25GHz)
- > Veća energetska učinkovitost
- > Bolje ublažavanje smetnji
- > Veća gustoća kapaciteta
- > Više povezanih uređaja (puno više od Wi-Fi 5)
- > Veća isplativost



- > Širina pojasa 320 MHz
- > Višepojasno / višekanalno agregiranje i rad
- > Poboljšanje MIMO (Multiple Input Multiple Output) protokola,
- > Koordinacija više pristupnih točaka (AP) (npr. Koordinirani i zajednički prijenos)
- > Poboljšani protokol za prilagodbu i ponovni prijenos (npr. Zahtjev za hibridnim automatskim ponavljanjem (HARQ))
- > Integriranje vremenski osjetljivih mrežnih proširenja (TSN – Time Sensitive Network) za promet u stvarnom vremenu s malim kašnjenjem

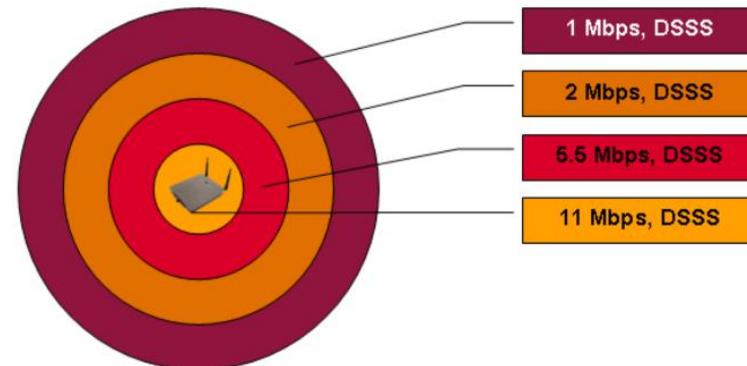
802.11

- > 802.11 standard ratificiran je 1997. godine i prvi je standard koji opisuje rad WLAN-ova. Ovaj standard uključuje mogućnost korištenja sljedećih prijenosnih tehnike:
 1. DSSS (engl. DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum*),
 2. FHSS (engl. FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*),
 3. infracrvenu tehnologiju (IR).
- > 802.11 standard opisuje DSSS i FHSS sustave koji omogućuju brzine prijenosa od 1 Mbps i 2 Mbps.
- > 802.11 proizvodi koriste 2.4 GHz ISM frekvencijsko područje (frekvencijski pojas 2.4000 - 2.4835 GHz). Infracrveni sustavi, obuhvaćeni ovim standardom, koriste svjetlosno baziranu tehnologiju i ne spadaju u frekvencijski područje od 2.4 GHz.
- > U tom je pojasu standardom 802.11 definirano 13 (14 kanala samo u Japanu) kanala, širine 22MHz od kojih se samo 3 (4) međusobno ne preklapaju pa se oni i najčešće koriste u planiranju WLAN mreže (Slika 11.1).



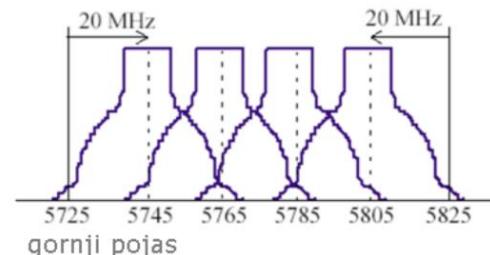
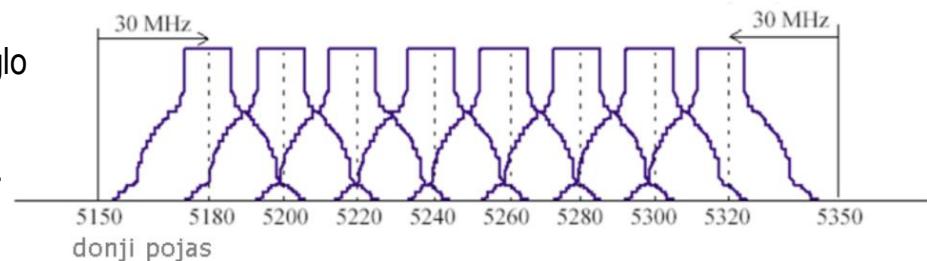
802.11b

- > Premda je 802.11 standard bio uspješan, daljnji razvoj tehnologije ga je prerastao. Ubrzo nakon implementacije 802.11 standarda, WLAN sustavi već su razmjenjivali podatke brzinama i do 11 Mbps. Bez standarda koji bi služio kao vodič za izradu ovakvih uređaja problemi su se pojavili u interoperabilnosti i implementaciji.
- > Proizvođači su međusobnom suradnjom razriješili većinu implementacijskih prepreka te je posao IEEE-a bio relativno jednostavan: stvaranje standarda koji bi pokrivači općenito prihvaćene operacije u bežičnom svijetu prisutne na tržištu. Nije neuobičajeno da standard slijedi tehnologiju, pogotovo kada je riječ o brzo razvijajućoj tehnologiji. 802.11b standard ratificiran je 1999. godine.
- > **IEEE 802.11b dozvoljava korištenje samo DSSS prijenosne tehnike uz kodiranje Barker kodom ili CCK (engl. CCK - Complementary Code Keying).**
- > **Definirane brzine su: 1, 2, 5.5 i 11 Mbps**, ovisno o kombinaciji tehnike kodiranja i odabrane modulacije (DBPSK ili DQPSK).
- > 802.11b sustavi su kompatibilni (engl. *backward compatibility*) s 802.11 sustavima.



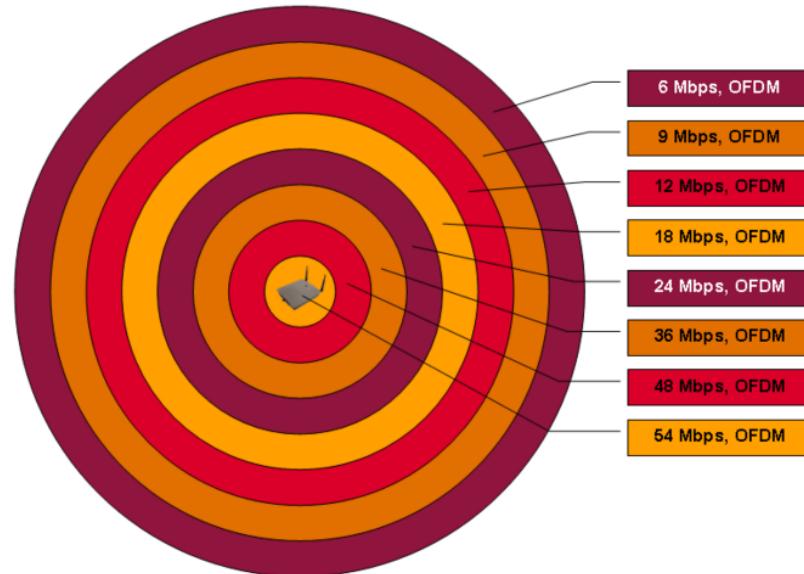
802.11a

- > Zbog puno veće rasprostranjenosti opreme definirane 802.11b standardom, često se pretpostavlja da je ovaj standard od strane IEEE definiran nakon 802.11b. No oba su standarda (802.11a i 802.11b) ratificirani 1999. godine.
- > 802.11a se sporije razvijao od 802.11b zbog problema usklađivanja frekvencijskog pojasa i skuplje terminalna oprema.
- > 802.11a uređaji rade u 5 GHz frekvencijskom području, pa nema kompatibilnosti s uređajima koji rade u 2.4GHz području
- > lako bi se zbog prirode širenja elektromagnetskog vala moglo kako će zbog višeg frekvencijskog pojasa, 802.11a uređaji imati manji domet, često se može dogoditi upravo suprotno. Naime, „pretrpanost“ ISM 2.4GHz frekvencijskog područja (mikrovalne pećnice, bežični telefoni, Bluetooth, itd.) u kojem rade 802.11b uređaji, može uslijed visoke interferencije uzrokovati drastično smanjenje dometa pokrivanja.



802.11a

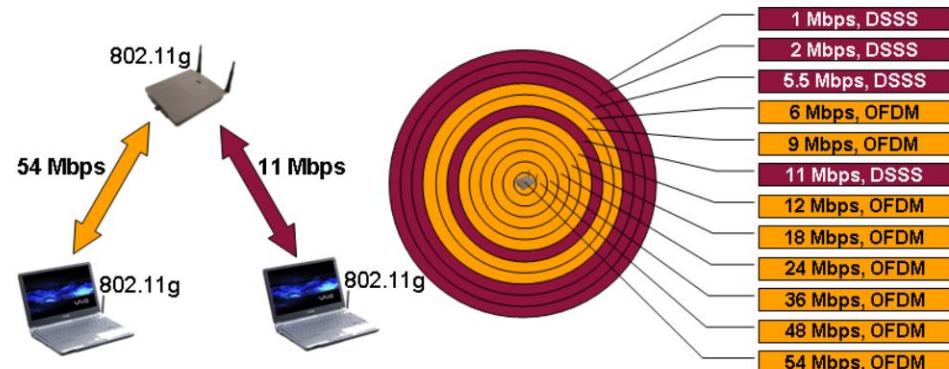
- > Standardom definirane brzine prijenosa su 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 i 54 Mbps. 802.11a oprema je dosta popularna u Americi i u nekim dijelovima Azije, no u Europi se puno ne koristi.
- > 802.11a koristi OFDM (engl. *OFDM - Orthogonal frequency division multiplexing*) modulacijsku tehniku. S obzirom da je zbog svojstva ortogonalnosti u OFDM-u omogućeno preklapanje podnosioca, spektralna efikasnost 802.11a sustava veća je od spektralne efikasnosti 802.11b sustava.



802.11g

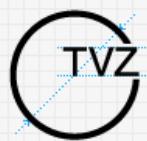
- > 802.11g omogućuje maksimalnu brzinu prijenosa jednaku onoj kod 802.11a, uz kompatibilnost s 802.11b uređajima.
- > Ova kompatibilnost čini nadogradnju bežičnih mreža jednostavnijom i jeftinijom. 802.11g specificira rad u 2.4 GHz ISM frekvencijskom područje. Dostizanje viših brzina prijenosa jednakih onima kod 802.11a uređaja, 802.11g uređaji postižu korištenjem OFDM-a (engl. *OFDM -Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) prijenosne tehnike.

Modulacija	Kodiranje	Brzina prijenosa (Mbps)
BPSK	Barker	1
QPSK	Barker	2
QPSK	CCK-16	5.5
BPSK	OFDM	6
BPSK	OFDM	9
QPSK	CCK-128	11
QPSK	OFDM	12
QPSK	OFDM	18
16-QAM	OFDM	24
16-QAM	OFDM	36
64-QAM	OFDM	48
128-QAM	OFDM	54



802.11f

- > 802.11 standard ne definira protokol koji bi trebao biti korišten za razmjenu podataka između pristupnih točaka kad klijent prelazi s jedne na drugu pristupnu točku. 802.11 standard definira samo formate okvira koji trebaju biti razmijenjeni između klijenta i druge pristupne točke kada klijent prelazi s jedne na drugu pristupnu točku.
- > Ova nedorečenost 802.11 standarda dovela je do stvaranja većeg broja vlasničkih protokola koji adresiraju razmjenu podataka između pristupnih točaka tijekom *roaminga*. To je dovelo do problema u komuniciranju opreme različitih proizvođača. **IEEE je pokušao riješiti ovaj problem usvajanjem preporuka 802.11F.**
- > Standard 802.11F-a rješava problem *roaminga* u 802.11 mrežama definiranjem IAPP protokola (engl. *IAPP - Inter Access Point Protocol*). Uz to se koriste preporučene metode koje:
 - > omogućuju pristupnim točkama da se međusobno otkriju,
 - > omogućuju pristupnim točkama da razmjenjuju informacije o klijentima koji prelaze s jedne točke na drugu, a klijenti bi trebali biti u mogućnosti obaviti *roaming* između pristupnih točaka koje podržavaju 802.11F bez gubitka veze.
- > 802.11F je ratificiran 2003. godine i danas se na tržištu mogu naći uređaji koji podržavaju taj standard. No rješenje problema *roaminga* primjenom 802.11F preporučenih praksi zbog svoje „sporosti“ u razmjeni podataka između pristupnih točaka nije steklo veliku popularnost u okruženjima koja koriste vremenski osjetljive aplikacije kao što je prijenos glasa preko WLAN-a (engl. *VoWLAN - Voice WLAN*). Zbog toga su u ovakvim okruženjima u primjeni znatno brža vlasnička rješenja koja stvaraju probleme u komunikaciji uređaja različitih proizvođača.



IEEE 802.11e

- > 802.11e definira set QoS (engl. *Quality of Service*) proširenja 802.11 MAC podsloja, koji su dizajnirani na način da osiguravaju višu kvalitetu i postojanje prenošenje audio i video signala preko bežičnih računalnih mreža.

IEEE 802.11d

- > 802.11d modificira 802.11 MAC podsloj kako bi omogućio uređajima precizno podešavanje parametara s ciljem usklađivanja s pravilima zemlje

IEEE 802.11s

- > 802.11s u nacrtu definira standard za automatsko formiranje *mesh* mreža s bežičnim pristupnim točkama. Na tržištu je već sada moguće naći proizvode koji omogućuju stvaranje bežičnih *mesh* mreža preko širih područja, npr. cijelih gradova, no ovi WLAN *mesh* usmjerivači (engl. *routers*) koriste vlasničke protokole za usmjeravanje prometa podataka između *mesh* usmjerivača.

IEEE 802.11h

- > 802.11h standard omogućuje 802.11a uređajima usklađivanje s regulatornim ograničenjima 5 GHz opsega u Europi.

IEEE 802.11j

- > 802.11j standard odobren 2004. godine omogućuje 802.11 mrežama usklađivanje s regulatornim ograničenjima u 4.9 i 5 GHz opsezima u Japanu.

IEEE 802.11i

- > 802.11i standard usvojen 2004. godine definira sigurnosna poboljšanja u 802.11 autentikaciji i enkripciji.



802.11n

- > U ožujku 2007. godine, IEEE 802.11n radna skupina usvojila je nacrt standarda pod nazivom 802.11n draft 2.0. Najveća novost u standardu IEEE 802.11n zasniva se na korištenju MIMO (engl. *MIMO - Multiple input-multiple output*) načela. Takav sustav karakterizira korištenje više antena kod prijemnika i predajnika kako bi se poboljšala pouzdanost i brzina prijenosa.
- > Prema IEEE nacrtu standarda 802.11n uređaji bi trebali podržavati brzine prijenosa od 100+ Mbps. No već u ranim primjenama „draft 1” ili „pre-11n” uređaji koji su se nalazili na tržištu podržavaju brzine prijenosa od 140-160 Mbps. U okviru radne skupine bilo je i prijedloga o dizajnu koji bi podržavao brzine prijenosa do 540 Mbps.
- > U svibnju 2007. godine Wi-Fi Alliance je najavila početak certificiranja uređaja usklađenih s nacrtom standarda 802.11n draft 2.0.

Wi-Fi Alliance

- > Wi-Fi Alliance promiče i testira interoperabilnost WLAN uređaja koji zadovoljavaju 802.11a, 802.11b, 802.11g i 802.11n itd. standarde. Misija Wi-Fi Alliance-a je da certificira interoperabilnost Wi-Fi (802.11) proizvoda i promiče Wi-Fi kao globalni standard za bežične LAN-ove na svim segmentima tržišta. Administratori bežičnih mreža moraju riješiti konflikte koji postoje između bežičnih uređaja, a tču se interferencije, nekompatibilnosti ili drugih problema.



- > Kada proizvod ispunjava zahtjeve postavljene Wi-Fi Alliance testnom matricom, Wi-Fi Alliance dodjeljuje proizvodu certifikat interoperabilnosti koji dozvoljava proizvođaču korištenje Wi-Fi loga (Slika). Ovaj logo bi trebao biti jamstvo sposobnosti uređaja da komunicira s drugim Wi-Fi uređajima.



FCC

- > FCC (engl. FCC - *Federal Communications Commission*) je agencija vlade SAD-a.
- > FCC je u SAD-u uspostavio pravila koja definiraju koja frekvencijske područja (pojaseve) bežične mreže smiju koristiti te izlaznu snagu na svakom od ovih frekvencijskih područja.
- > FCC je specificirao da WLAN-ovi mogu koristiti ISM (engl. *Industrial, Scientific, and Medical*) nelicencirane frekvencijske pojaseve. ISM frekvencijska područja su: 902 MHz, 2.4 GHz i 5.8 GHz, a širina frekvencijskih pojasa je od 26 MHz do 150 MHz.
- > Uz ISM frekvencijske pojaseve, FCC specificira tri UNII (engl. *UNII - Unlicensed National Information Infrastructure*) područja. Svaki od njih je u 5 GHz frekvencijskom području, širine 100 MHz.

ETSI

- > ETSI (engl. *ETSI - European Telecommunication Standard Institute*)
- > ima ulogu donošenja komunikacijskih standarda u Europi. Primjerice, standard HiperLAN/2 kojeg je definirao ETSI ima sličnu namjenu kao standard 802.11a kojeg je donio IEEE.
- > Postoje intenzivni razgovori o usklađivanju standarda iz grane bežičnih tehnologija između IEEE-a i ETSI-a. To je ostvarilo i rad na „5UP“ inicijativi za 5 GHz unificirani protokol. IEEE standard 802.11h je namijenjen interoperabilnosti s ETSI HiperLAN/2 standardom.
- > Originalni ETSI HiperLAN standard za bežične mreže, HiperLAN/1, podržavao je brzine prijenosa do 24 Mbps koristeći DSSS tehnologiju s dohvatom od oko 46 m. HiperLAN/1 koristi donje i srednje UNII opsege, kao i HiperLAN/2, 802.11a i 802.11h. HiperLAN/2 standard podržava brzine prijenosa do 54 Mbps na sva tri UNII opsega.

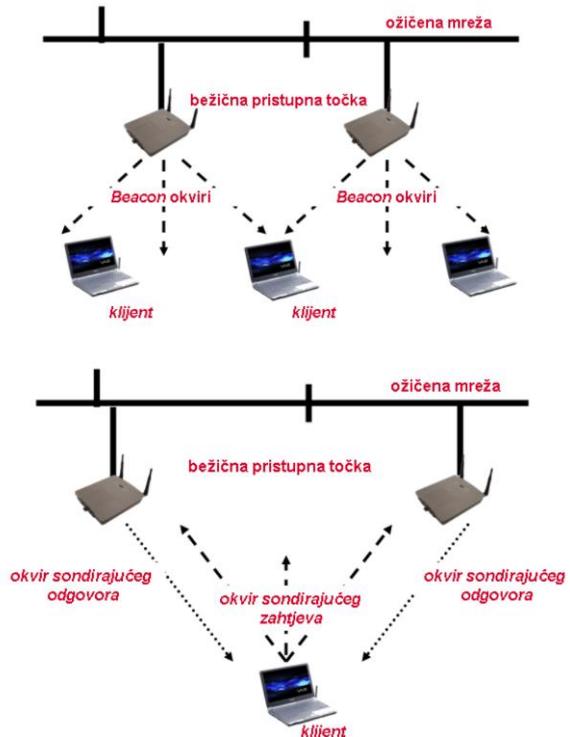


WLANA

- > Misija WLANA-e (engl. *WLANA - Wireless LAN Association*) je da educira i promiče bežične LAN tehnologije i bežičnu industriju općenito.
- > WLANA je edukacijski izvor za sve one koji o bežičnim LAN-ovima žele naučiti više. WLANA jednako tako može pomoći u traženju određenog proizvoda ili servisa za bežične LAN-ove.
- > WLANA ima puno partnera u industriji koji doprinose nadogradnji WLANA direktorija informacija.

Lociranje bežičnih lokalnih računalnih mreža

- > Nakon što se instalira, konfigurira i konačno pokrene WLAN klijentski uređaj, automatski će početi „osluškivati“ medij oko sebe s ciljem lociranja bežičnih lokalnih računalnih mreža (WLAN) koje se nalaze u blizini. Klijent jednako tako nastoji otkriti može li se pridružiti nekoj od lociranih mreža. Ovaj proces osluškivanja naziva se skeniranje.
- > S obzirom da skeniranjem klijent nalazi vezu, ono je prvi proces. Postoje dva tipa skeniranja:
 1. pasivno skeniranje
 2. aktivno skeniranje
- > **Pasivno skeniranje** predstavlja proces osluškivanja okvira na svakom kanalu određeno vrijeme. Nakon što se stanica inicijalizira, Beacon okvire šalju pristupne točke (infrastrukturna mreža) ili klijentske stanice (*ad hoc* mreža). Na osnovi informacija iz beacon okvira, stanica koja vrši skeniranje stvara katalog s značajkama pristupnih točaka ili stanica
- > **aktivno skeniranje** se sastoji od slanja okvira zahtjeva za sondiranjem s bežične stanice. Stanice šalju sondirajuće okvire kad aktivno traže mrežu kojoj se žele pridružiti. Sondirajući okvir će sadržavati ili SSID mreže kojoj se stanica želi pridružiti ili broadcast SSID





Autentikacija i asocijacija

> Autentifikacija

- > Prvi korak u spajanju na WLAN je autentifikacija. Autentifikacija je proces kroz koji se identitet bežičnih čvorova (PC kartica, USB klijent...) provjerava od strane mreže (obično pristupne točke) na koju se čvor pokušava povezati. Pristupna točka na koju se klijent povezuje potvrđuje da je klijent onaj kojim se predstavlja.
- > Klijent počinje autentifikacijski proces slanjem okvira zahtjeva za autentifikacijom ka pristupnoj točki (u infrastrukturnoj mreži). Autentifikacijski proces može biti obavljen na pristupnoj točki ili pristupna točka može zahtjev za autentifikacijom proslijediti autentifikacijskom serveru kao što je RADIUS

> Asocijacija

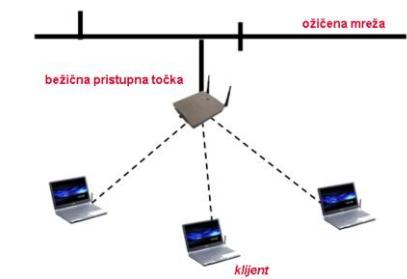
- > Nakon što bežični klijent prođe kroz proceduru autentifikacije, slijedi proces pridruživanja klijenta s pristupnom točkom. Asociranje je stanje u kojem je klijentu dozvoljeno da šalje podatke kroz pristupnu točku.
- > Proces pridruživanja odvija se na sljedeći način: klijent koji se želi povezati na mrežu šalje autentifikacijski zahtjev pristupnoj točki nakon čega dobiva autentifikacijski odgovor. Ukoliko je autentifikacija uspješno završena, stanica šalje pristupnoj točki okvir zahtjeva za asociranjem. Pristupna točka odgovara na ovaj zahtjev slanjem okvira pridruženog odgovora, kojim dozvoljava ili ne dozvoljava asociranje.

Service Set

> Izraz „servis set“ koristi se za opisivanje osnovnih komponenti potpuno operativnih WLAN-ova. Postoje tri načina za konfiguriranje WLAN-ova i svaki zahtjeva različiti hardverski set. Tri načina za konfiguriranje WLAN-ova su:

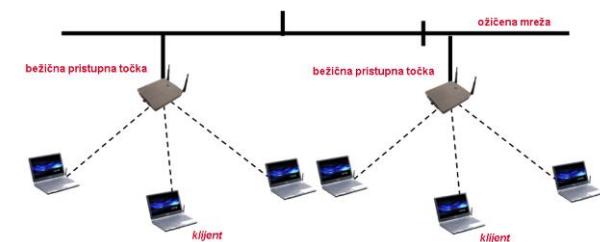
1. osnovni servis set (engl. BSS - Basic Service Set)

- > sastoji se od samo jedne pristupne točke i jednog ili više bežičnih klijenata
- > koristi infrastrukturni način rada
- > Nema izravnog prijenosa klijent-klijent.



2. proširen servis set (engl. ESS - Extended Service Set)

- > dva ili više BSS povezana zajedničkim distributivnim sustavom
- > Distributivni sustav može biti ožičen, bežični, LAN, WAN
- > najmanje dvije pristupne točke koje rade u infrastrukturnom načinu
- > ESS pokriva više ćelija
- > dozvoljava (ali ne zahtjeva) roaming
- > Ne zahtjeva se isti SSID u oba osnovna serviseta



3. nezavisni osnovni servis set (engl. IBSS - Independent Basic Service Set).

- > ad hoc način rada (peer-to-peer mreža)
- > nema pristupne točke ili nekog drugog pristupa distributivnom sustavu
- > Pokriva jednu ćeliju i ima jedan SSID





Energetske značajke

- > Bežični klijenti rade u jednom od dva energetska načina rada, specificirana IEEE 802.11 standardom. Ovi energetski načini rada su:
 1. aktivni – često se naziva i CAM (engl. *Continuous Aware Mode*)
 2. štednja – često se naziva i PSP (engl. *Power Save Polling*)
- > **Aktivni mod**
 - > bežični klijent koristi punu snagu tj. ne „spava” i neprestano je u komunikaciji s pristupnom točkom.
 - > Bilo koje računalo koje je stalno priključeno na izvor naizmjenične energije, kao što su stolna ili server računala, trebalo bi biti konfiguirano u aktivnom (CAM) načinu rada.
 - > U ovim okolnostima nema razloga za štednju energije od strane klijenta.
- > **Mod štednje**
 - > bežičnim klijentima je dozvoljeno da „spavaju”. Pod spavanjem se podrazumijeva isključenje potrošnje energije klijenta na vrlo kratko vrijeme.
 - > omogućava klijentu da sačuva značajnu količinu energije. Sačuvana energija dozvoljava korisnicima prijenosnih računala duži rad korištenjem baterija, čime se povećava njihova produktivnost.



Mehanizam pristupa mediju

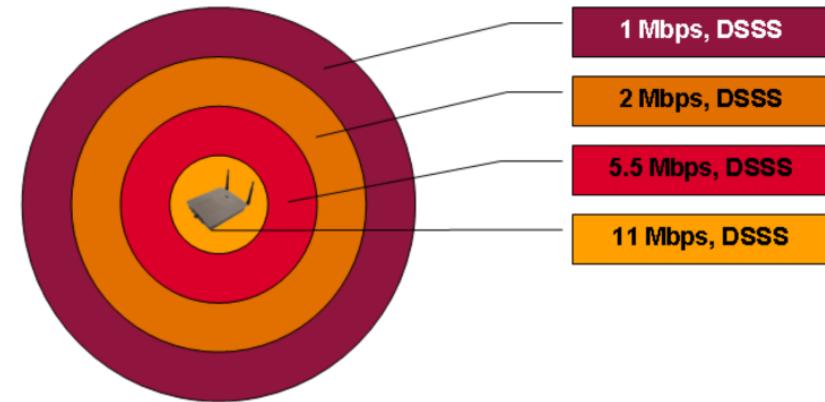
- > Stanice ožičenog Etherneta u stanju su osjetiti koliziju na mediju (stanice koje šalju podatke u isto vrijeme povećavaju raznu signala na žici), pa koriste mehanizam CSMA\ CD
- > 802.11 mreže nemaju tu sposobnost pa pristupni mehanizam nastoji izbjegći koliziju, a pritom koriste mehanizam CSMA\CA
- > **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access/Collision*)
 1. Svaki učesnik u razgovoru koji želi govoriti treba sačekati da ostali sugovornici prestanu govoriti.
 2. Kad linija postane slobodna, učesnik u razgovoru može pokušati govoriti.
 3. Ako dva učesnika počnu govoriti u isto vrijeme, oba moraju prestati i pokušati govor ponovo.
- > **CSMA/CA** (*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance*) pravila:
 1. Prije govora učesnici u razgovoru moraju istaknuti koliko dugo planiraju govoriti. Na ovaj način drugi potencijalni govornici znaju koliko dugo trebaju čekati prije negoli dobiju priliku govoriti.
 2. Učesnici u razgovoru ne mogu govoriti dok naznačeno trajanje govora prethodnog govornika ne istekne.
 3. Učesnici u razgovoru ne mogu znati je li druga strana čula njihov govor, sve dok ne prime potvrdu svoga govora.
 4. Učesnici u razgovoru koji govore u isto vrijeme ne mogu toga biti svjesni u tom trenutku. To će spoznati tek kada ne prime potvrdu svoga govora.
 5. Ako nisu primili potvrdu govora, učesnici čekaju slučajno izabrano vrijeme i pokušavaju ponovo govoriti.

Dinamičko podešavanje brzine prijenosa

- > Adaptivna (ili automatska) selekcija brzina (engl. ARS - Adaptive, or Automatic, Rate Selection)
- > dinamičko podešavanje brzina prijenosa (engl. DRS - Dynamic Rate Shifting)
- > Moderni sustavi raspršenog spektra su osmišljeni tako da prave diskretne skokove samo na određene brzine prijenosa kao što su npr. 1, 2, 5.5 i 11 Mbps (za 802.11b).
- > Kako se udaljenost između pristupne točke i stanice povećava, snaga signala će se smanjivati do točke gdje trenutna brzina prijenosa ne može biti održavana.

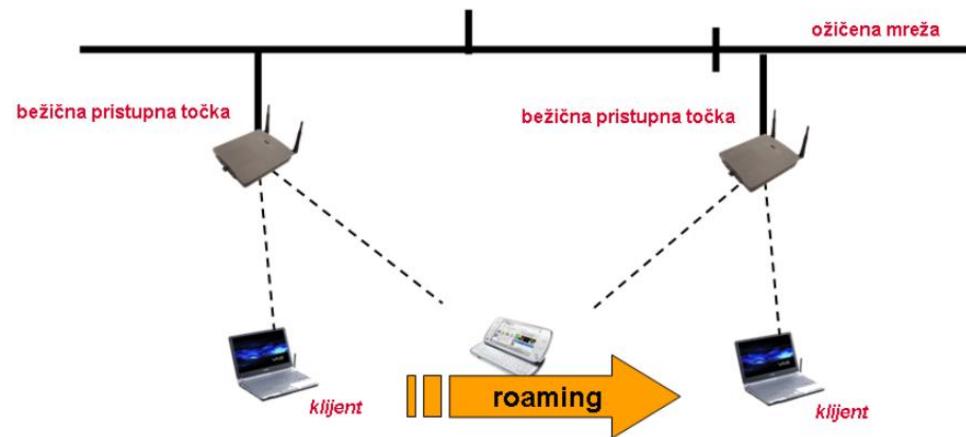
> Kad se pojavi ovo smanjenje snage signala, jedinica koja šalje podatke će smanjiti brzinu prijenosa na sljedeći nižu specificiranu brzinu prijenosa. Primjerice, s 11 Mbps na 5,5 Mbps ili s 2 Mbps na 1 Mbps.

> nikada se neće smanjiti brzinu prijenosa s npr. 11 Mbps na 10 Mbps, jer 10 Mbps nije specifikacijama dozvoljena brzina prijenosa podataka.



Roaming

- > Sposobnost bežičnih klijenata da prelaze iz jednog ESS-a u drugi u okviru jednog ESS-a, bez gubitka mrežne veze. Pristupne točke pri tome razmjenjuju podatke o bežičnom klijentu osiguravajući neprekidnu mrežnu povezivost klijenta.
 - > 802.11 standard ne definira protokol koji bi trebao biti korišten za razmjenu podataka između pristupnih točaka kad klijent prelazi s jedne na drugu pristupnu točku.
 - > 802.11 standard definira samo formate okvira koji trebaju biti razmijenjeni između klijenta i druge pristupne točke kada klijent prelazi s jedne na drugu pristupnu točku.
- > Ova nedorečenost 802.11 standarda dovela je do stvaranja većeg broja vlasničkih protokola koji adresiraju razmjenu podataka između pristupnih točaka tijekom *roaminga*. Ovo je, s druge strane, dovelo do problema u komuniciranju opreme različitih proizvođača. IEEE je pokušao riješiti ovaj problem usvajanjem preporuka 802.11F koje rješavaju problem *roaminga* u 802.11 mrežama definiranjem IAPP protokola (engl. *Inter-Access-Point Protocol*).





WLAN sigurnosne metode

- > WiFi sigurnosno protokoli o kojima ćemo pričati:
 - > WEP
 - > WPA
 - > WPA2
 - > WPA3 (certificiranje počelo u lipnju 2018)



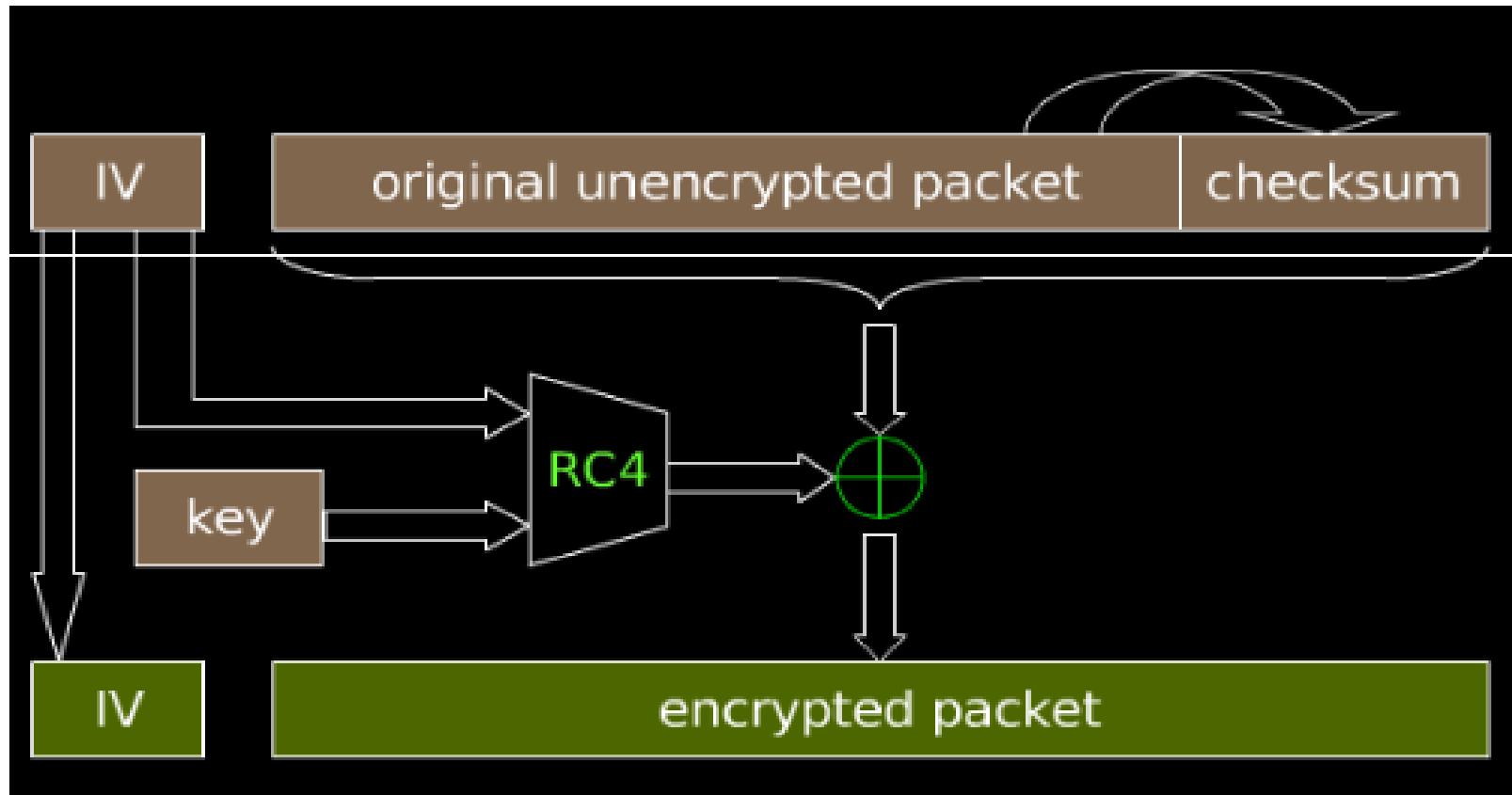
WLAN sigurnosne metode-WEP

- > WEP je skraćenica od "Wired Equivalent Privacy" ili "Wireless Encryption Protocol", a predstavlja sigurnosni protokol za bežične mreže utvrđene standardom 802.11b.
- > Proglašen zastarjelim 2004. godine!
- > Imamo 64, 128 i 256 ključ, međutim:
 - > 64 bitni ključ je u stvari 40 bitni (24 bita je IV) / 10 hexa znamenki = 5 znakova (svaka znamenka = 4 bita)
 - > 128 bitni ključ je u stvari 104 bitni (24 bita je IV) / 26 hexa znamenki = 13 znakova
 - > 256 bitni ključ Je u stvari 232 bitni (24 bita je IV)/ 58 hexa znameni = 29 znakova (Malo opreme ga podržava !)
- > WEP djeluje na dva donja sloja OSI modela – na fizičkom (eng. physical) i na sloju veze (eng. data link layer) i **temelji se na enkripciji podataka između krajnjih točaka:**
 - > Asocijacija i autentikacija s AP-om bez obzira na poznavanje ključa
 - > WEP ključ se koristi samo za enkripciju/ dekripciju paketa!
- > Pritom koristi:
 - > RC4 (Rivest Cipher) za Confidentiality
 - > CRC32 za integrity

WLAN sigurnosne metode-ranjivost WEPa

- > Za kripciju se koristi RC4((Rivest Cipher)) sustav zaštite. Ključ kojim se inicijalizira RC4 algoritam sastoji se od dva dijela:
 1. **tajnog ključa**
 2. **inicijalizacijskog vektora (engl. IV – *Initialization Vector*)**
- 1. **Tajni ključ** poznat je svim ovlaštenim korisnicima mreže i jednak je za sve korisnike
- 2. **inicijalizacijski vektor (engl. IV – *Initialization Vector*)** služi za sprječava ponavljanje WEP ključa, ali:
 1. Premali je, samo 24 bita → postoji 50% vjerojatnost da će se ponoviti svakih 5000 paketa
 - > IV je broj od 1 do 16 777 216 (2^{24})
 - > Da bi prijemna strana mogla dekriptirati sadržaj okvira, **IV se šalje u clear tekstu !!!**

WLAN sigurnosne metode-WEP





WLAN sigurnosne metode-WEP

- > Naprednije varijante WEP protokola koje se danas koriste (dominantno WEP2) su:
 - > **WEP2** (povećana vrijednost inicijalizacijskog vektora, primjenjena 128-bitna enkripcija)
 - > **WEPplus** (ili WEP+, u vlasništvu Agere Systems, povećana učinkovitost samo ako se koristi na oba kraja veze)
 - > **Dynamic WEP** (mijenja WEP ključeve dinamički, koristi se samo kod nekih proizvođača mrežne opreme, primjerice kod 3Com-a)
 - > **WEP cloaking** (vlasništvo Air Defense-a, uklanja nedostatke WEP kripcije slanjem simuliranog prometa koji onemogućuje korištenje dekripcijskih alata bilo pri pasivnim ili aktivnim napadima)
 - > **WPA i WPA2** (**najprimjenjenije rješenje za WEP probleme je prelazak na WPA ili WPA sustav zaštite o kojima više riječi u nastavku**)



WLAN sigurnosne metode-WPA

- > Cilj je zamijena manje siguranog WEP protokola na istom HW.
- > WPA uključuje mogućnost enkripcije podataka i autentifikacije korisnika.
- > Poboljšanja
 - >**Dulji IV** Podaci su kriptirani RC4 sustavom sa 128-bitnim ključem i 48-bitnim inicijalizacijskim vektorom.
 - >**TKIP** korištenju TKIP protokola (eng. Temporal Key Integrity Protocol), koji dinamički mijenja ključeve za vrijeme korištenja sustava. Kombinacijom dugačkog inicijalizacijskog vektora i TKIP protokola sustav se može lagano braniti od napada kakvi se koriste za otkrivanje ključa primjenom WEP protokola.
 - >**MIC** Zamijenjen CRC kojeg je koristio WEP s MIC (Message Integrity Check) protokolom
 - > kod CRC-a napadač može promijeniti sastav poruke koja se šalje i vratiti vrijednost CRC-a na originalnu, čak i bez da je ključ, kojim je kriptirana poruka, poznat.
 - > Message Integrity Code, poznatiji kao „Michael“ u WPA uključuje brojač frame-ova čime se isključuje mogućnost promjene sastava poruka u komunikacijskom kanalu.



WLAN sigurnosne metode-ranjivost WPA

- > Osnova i dalje RC4 sustav kriptiranja podataka koji je relativno star
- > Ranjiv na:
 - >Napad riječnikom
 - >Napad predgeneriranih sažecima (Cowpatty)
 - > Rainbow tablice, ali soljeno SSID-em AP-a!
 - > Izbjegavati generička imena za SSID!
- > Ipak ranjiv (PoC 2008 Erik Tews i Martin Beck).
 - >Mogli su dekriptirati samo male paketa (ARP)
- > Danas dokazano ranjiv
 - >Martin Beck (veljača 2010.)
 - >Samo promet od AP-a prema klijentu
 - >Samo ako je uključen QoS!



WLAN sigurnosne metode-WPA 2

- > Drugo ime za 802.11i standard
- > Od 13 ožujka 2006 do 30 lipnja 2020. WPA2 certificiranje bilo je obavezno za sve nove uređaje koji su željeli imati Wi-Fi trademark
- > Glavna razlika između WPA i WPA 2 protokola je u korištenju naprednog AES-CCMP algoritma.
- > CCMP je skraćenica od engleskog "Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol", a temelji se na "naprednom enkripcijском standardu", tj. AES protokolu (Advanced Encryption Standard).
- > **WPA vs WPA2**
 - > krpanje WEP problema prije donošenja 802.1i standarda
 - > WPA2 – rješenje WEP (i WPA) problema
 - > WPA = TSN (Transition Security Network)
 - > TSN = TKIP (RC4)
 - > WPA2 = RSN (Robust Security Network)
 - > RSN = CCMP (AES)

WLAN sigurnosne metode-WPA 3

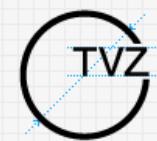
- > The new standard uses an equivalent 192-bit cryptographic strength in WPA3-Enterprise mode^[14] ([AES-256](#) in [GCM mode](#) with [SHA-384](#) as [HMAC](#)), and still mandates the use of [CCMP-128](#) ([AES-128](#) in [CCM mode](#)) as the minimum encryption algorithm in WPA3-Personal mode.
- > The WPA3 standard also replaces the [Pre-Shared Key](#) exchange with [Simultaneous Authentication of Equals](#) as defined in [IEEE 802.11-2016](#) resulting in a more secure initial key exchange in personal mode^{[15][16]} and [forward secrecy](#).^[17] The Wi-Fi Alliance also claims that WPA3 will mitigate security issues posed by weak passwords and simplify the process of setting up devices with no display interface.^{[2][18]}
- > Protection of management frames as specified in the [IEEE 802.11w](#) amendment is also enforced by the WPA3 specifications.
- > WPA has been designed specifically to work with wireless hardware produced prior to the introduction of WPA protocol,^[19] which provides inadequate security through [WEP](#). Some of these devices support WPA only after applying [firmware](#) upgrades, which are not available for some legacy devices.^[19]
- > Wi-Fi devices certified since 2006 support both the WPA and WPA2 security protocols. WPA3 is required since July 1, 2020.^[10] The newer versions may not work with some older network cards.



TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU
POLYTECHNICUM ZAGRABIENSE

MOBILNE KOMUNIKACIJE

Bluetooth



> BLUETOOTH

- > Terminologija i Motivacija
- > Izazovi i Ciljevi
- > Frekvencijsko područje
- > Metode pristupa i modulacija
- > Topologija: Piconet i Scatternet, Data Broadcast, 1:m (one-to-many), Mesh m:m (many-to-many)
- > Stanja
- > Kontrola kanala na zračnom sučelju
- > Domet i brzine prijenosa podataka
- > Sigurnost
- > Područja primjene Bluetooth tehnologije
- > Trenutno stanje Bluetooth tehnologije- Bluetooth v4.0



Terminologija i motivacija za Bluetooth

- > **Naziv Bluetooth dan je prema imenu danskoga kralja Haralda Bluetootha** koji je živio od 910. do 940 godine. U povijesti je poznat po tome što je ujedinio Dansku i Norvešku. Bluetooth čini istu stvar, tj. ujedinjuje komunikacijske protokole u jedan zajednički standard.
- > **Razvitak Bluetooth tehnologije započinje tvrtka Ericsson** 1994. godine istraživanjima koja su imala za cilj realizirati troškovno i tehnološki učinkovito radio sučelje male potrošnje za mobilne uređaje namijenjene radu na malim udaljenostima.
- > **U samom početku bio je zamišljen kao bežična alternativa RS-232 podatkovnoj žičanoj vezi.** Godine 1998. formirana je posebna grupa SIG (engl. *SIG - Special Interest Group*) za razvoj i standardizaciju Bluetooth sučelja. Ta grupa danas ima više od 36000 članova, a predvode je stručnjaci tvrtki Ericsson, Nokia, Toshiba, Intel i IBM. (službena web stranica www.bluetooth.org)
- > Specifikacija ove tehnologije objavljena je 1999. godine. **U ožujku 2002. godine IEEE radna grupa 802.15.1 za standardizaciju osobnih mreža, PAN (engl. Personal Area Network) usvojila je Bluetooth bežični standard (WPAN)**





Izazovi i Ciljevi Bluetooth tehnologije

- > Jednako kao u dizajnu drugih komunikacijskih sustava i prilikom oblikovanja Bluetooth tehnologije bilo je potrebno napraviti kompromis između različitih ciljeva, kao npr. velika brzina prijenosa podataka uz nisku cijenu uređaja, velik domet uz malenu potrošnju energije i sl. Čitajući specifikacije može se zaključiti da dva glavna cilja vode razvoj ovog standarda:
 - > **niska krajnja cijena proizvoda**
 - > **malena potrošnja energije**

Tehnički izazovi	Rješenja u okviru standarda
Funkcionalnost na globalnoj razini	2.4 GHz ISM pojas
Interferencija od ostalih uređaja koji koriste isti ISM frekvencijski pojas	AFHSS, kodiranje s korekcijom pogreške
Niska potrošnja energije	Kontrola snage, <i>power-saving</i> način rada, programabilna duljina paketa, umjerene brzine prijenosa podataka
Niska cijena	FHSS, TDMA, niska osjetljivost prijemnika
Sigurnost	AFHSS, ostali mehanizmi ovisno o verziji (autentikacija i enkripcija)
Viša vjerojatnost pogreške u prijenosu kroz radijsku vezu	ARQ, FEC i CVSD (audio)
Podrška za govor/ podatke	Komutacija kanala/ paketa

- > 1996 -> Intel + Ericsson + Nokia
- > Cilj -> Standardizirat tehnologiju za bežičnu kratkodometnu vezu.
- > Bluetooth Special Interest Group
 - > Razvijanje specifikacija
 - 2010 -> v4.0 -> BLE
 - 2016 -> v5.0
 - 2017 -> Mesh
 - 2019 -> Trenutna specifikacija v5.2
 - > Kvalifikacija proizvoda (licenca)
 - > 36 000 tvrtki je član SIG-a

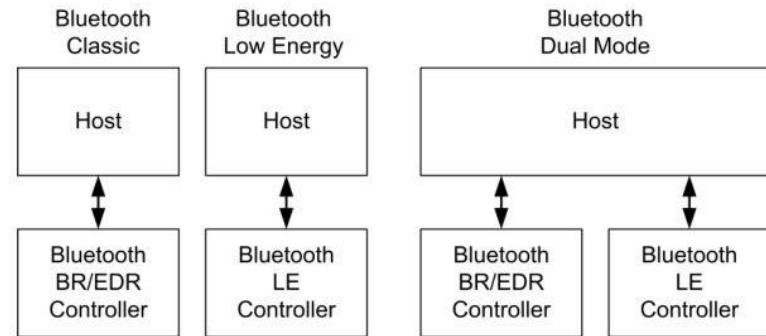


Svaka specifikacija je unaprijedila prethodnu, npr. smanjila interferenciju, povećala brzinu prijenosa, povećala domet, omogućila bolju kontrolu snage itd.

velike promjene - BLE i mesh:

- BLE uređaji su manjih dimenzija i rade na bateriji po par godina što je omogućio korištenje Bluetooth tehnologije u područjima za koja Bluetooth Classic nije prikladan.
- Mesh specifikacijom su definirani protokoli i pravila kojima je moguće razviti cijele mreže na Bluetooth tehnologiji. Ovom specifikacijom je omogućen IOT temeljen na Bluetooth tehnologiji.

- Glavni djelovi
 - Controller -> definira koje protokole uređaj podržava na fizičkom sloju (modulacije, AFH) i link layersloju (Enkripcija, CRC, adrese...)
 - Host -> zadužen za protokole na višim slojevima u kojem se nalaze i profili
- Vrsta uređaja
 - Single mode - može komunicirati s BLE ili BR/EDR uređajem
 - Dual mode - može komunicirati s obje vrste Bluetooth uređaja (ima oba Controllera)



- > Profili Bluetooth uređaja definiraju koje funkcionalnosti (za što se može koristiti) ima pojedini Bluetooth uređaj. Za dodatne funkcionalnosti uređaj mora imati dodatne profile.

Profili -> određuju funkcije (aplikacije) uređaja

- Osnovni -> GAP i GATT

Svaki Bluetooth uređaj ima GAT (Generic Access Profile) odnosno GATT (Generic Attribute Profile) ako se radi o BLE uređaju. U tim profilima su zapisani osnovni protokoli kao što je npr. otkrivanje i uspostavljanje veze između uređaja.

- Dodatni -> FTP, HID, ...

Pr1. Za slanje podataka sa mobitela na PC Bluetooth uređaj mora imati FTP (File Transfer Profile) profil.

Pr2. HID (Human Interface Device) profil omogućava mišu, joysticku ili tipkovnici za prijenos signala na PC.

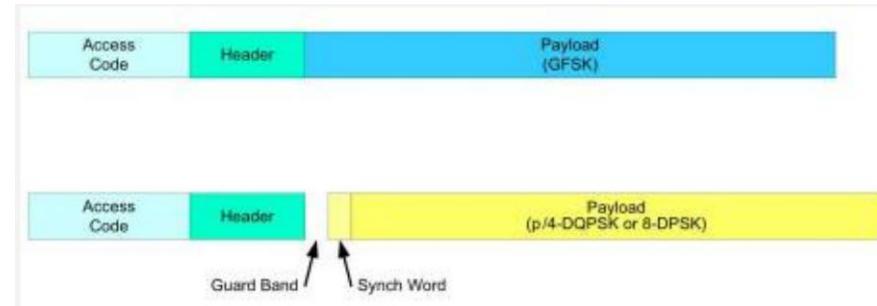
Domet bluetooth čelije i korisničke brzina

- > Bluetooth standardom definirane su 3 klase terminala, kojima se različitom dozvoljenom odašiljačkom snagom određuje područje pokrivanja

Class	Maximum Permitted Power		Range (approximate)
	mW	dBm	
Class 1	100	20	~100 meters
Class 2	2.5	4	~10 meters
Class 3	1	0	~1 meters

- > EDR (Enhanced data rate) se prvi put spominje u spec. standarda 2.0. Promjenom modulacijske tehnike u 2. koraku modulacije za (samo za korisnički dio paketa) povećava se propusnost s 1Mbps (korisnička 723 kbps) na 3Mbps (korisnička 2.1 Mbps). GMSK se zamjenjuje $\pi/4$ -DQPSK i 8-DPSK

Version	Data Rate	Maximum Application Throughput
Version 1.2	1 Mbit/s	0.7 Mbit/s
Version 2.0 + EDR	3 Mbit/s	1.4 Mbit/s
Version 3.0 + HS	24 Mbit/s	





Usporedba Bluetooth v4.0 i ZigBee



Technology	Classic Bluetooth technology (BR/EDR) ¹	Bluetooth low energy technology ²	ZigBee
Radio Frequency	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Distance / Range	10 to 100 meters ³	10 to 100 meters ³	10 to 200 meters ⁴
Over the air Data Rate	1-3Mbps	1Mbps	250kbps at 2.4 GHz.
Application Throughput	0.7-2.1 Mbps	0.2 Mbps	<0.1 Mbps
Nodes/Active Slaves	7 / 16777184 ⁵	Unlimited ⁶	65535 ⁷
Security	64b/128b and applications layer user defined	128b AES and application layer user defined	128b AES and application layer user defined
Robustness	Adaptive fast frequency hopping, FEC, fast ACK	Adaptive fast frequency hopping	DSSS, Uses only 16 ch. in ISM band, optional mesh topology has long recovery time
Latency (from a non connected state)			
Total time to send data (det.battery life) ⁸	100ms	<3ms	<10ms
Government Regulation	Worldwide	Worldwide	Worldwide
Certification Body	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	ZigBee Alliance
Voice capable	Yes	No	No
Network topology	Scatternet	Star-bus	Star or Mesh
Power Consumption	1 as the reference	0.01 to 0.5(depending on use-case)	2 (router) / 0.1 (end point)
Peak current consumption (max 15 mA to run on coin cell battery)	<30 mA	<15 mA	<15 mA
Service discovery	Yes	Yes	No
Profile concept	Yes	Yes	Yes
Primary Use Cases	Mobile phones, gaming, headsets, stereo audio streaming, automotive, PCs, consumer electronics, etc.	Mobile phones, gaming, PCs, watches, sports & fitness, healthcare, automotive, consumer electronics, automation, industrial, etc.	Fixed location industrial, building & home automation, AMI/SmartEnergy



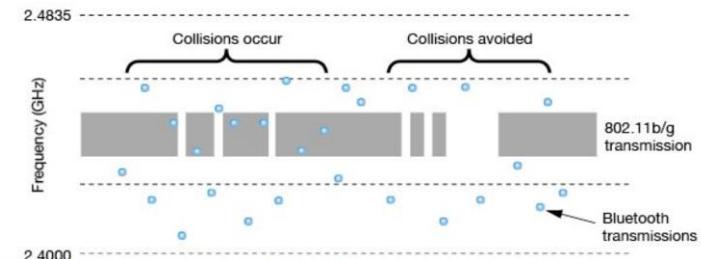
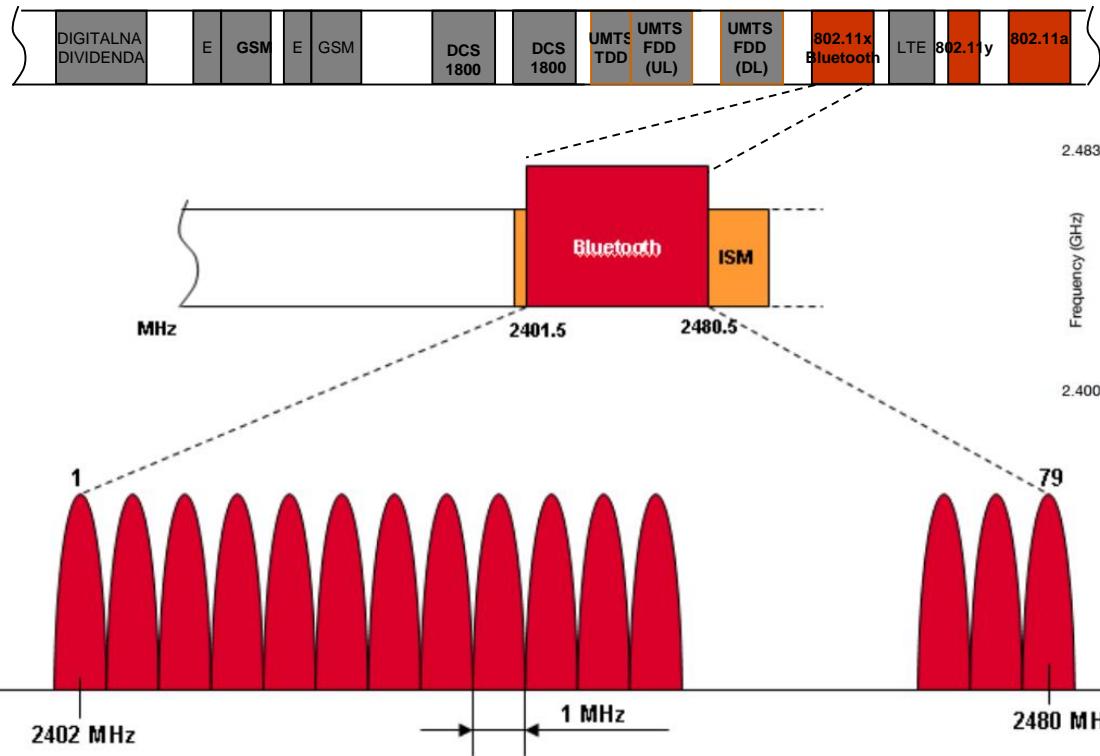
	Bluetooth Low Energy (LE)	Bluetooth Basic Rate/ Enhanced Data Rate (BR/EDR)
Frequency Band	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)
Channels	40 channels with 2 MHz spacing (3 advertising channels/37 data channels)	79 channels with 1 MHz spacing
Channel Usage	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Modulation	GFSK	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK
Power Consumption	~0.01x to 0.5x of reference (depending on use case)	1 (reference value)
Data Rate	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s
Max Tx Power*	Class 1: 100 mW (+20 dBm) Class 1.5: 10 mW (+10 dBm) Class 2: 2.5 mW (+4 dBm) Class 3: 1 mW (0 dBm)	Class 1: 100 mW (+20 dBm) Class 2: 2.5 mW (+4 dBm) Class 3: 1 mW (0 dBm)
Network Topologies	Point-to-Point (including piconet) Broadcast Mesh	Point-to-Point (including piconet)

Vrijeme potrebno za uspostavu veze:
BLE -> 6ms
BR/EDR -> 100ms

Osjetljivost prijemnika
(ovisno o PHY):
-70dBm
-82dBm
-103dBm

Uvjet BER<0.001

Frekvencijsko područje

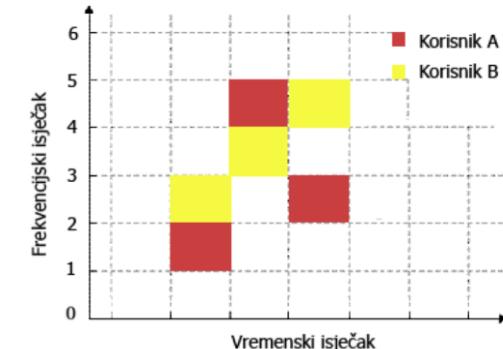
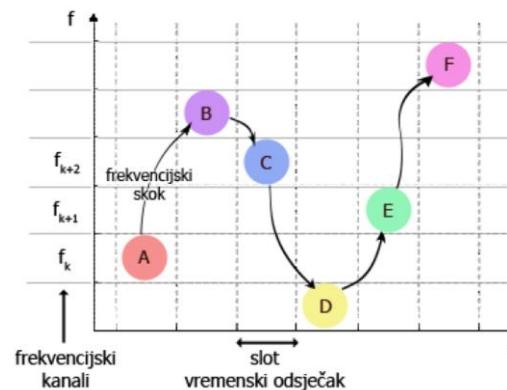


- > Radi u nelicenciranom 2.4GHz području (jednako kao WLAN 802.11b), u pojasu frekvencija 2.402 GHz do 2.480GHz
- > Koristi frekvencijsko skakanje (*frequency hopping*), po 79 frekvencija međusobno pomaknutih 1MHz (v1.2)
- > Novije verzije standarda (od v4.0) koriste drugačije pristupne tehnike npr. razmak kanala 2MHz

*Bluetooth SIG (Special Interest Group)

Metoda pristupa i modulacija

- > Bluetooth koristi **FHSS modulacijsku tehniku**, koju definiraju frekvencijski skokovi unutar spektra gdje se pod skokovima misli na ekstremno brze promjene frekvencija na kojima se prenose podaci.
- > "skokovi" se događaju brzinom od 1600 puta u sekundi preko svih 79 bluetooth radijskih kanala, širine 1 MHz u 2.4GHz frekvencijskom pojasu
- > Odašiljač šalje kratke nizove podataka na jednoj frekvenciji neko vrijeme, a potom se prebacuje na drugu frekvenciju. Odašiljač i prijemnik moraju biti sinkronizirani prema slijedu preskakivanja kako bi održali logički kanal, jer u suprotnom dolazi do gubitka podataka.
- > Ako se pojavi interferencija na jednoj frekvenciji, podaci se ponovo šalju prelaženjem na drugu frekvenciju. Stalnim mijenjanjem frekvencije FHSS sustav je otporan na preslušavanje, a postiže se i visoki stupanj sigurnosti prijenosa.



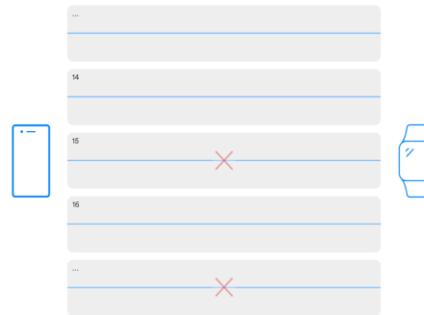
- > Kod FHSS najčešće se za drugi korak modulacije koristi *GFSK modulacija signala. (do verzije 2.0)

Kako bi se smanjila interferencija, a i povećala sigurnost Bluetooth koristi AFH (Adaptive Frequency Hopping). Kanali koji imaju puno prometa ili šuma se prate te se na njima ne šalju paketi dok god se ne poprave uvjeti.

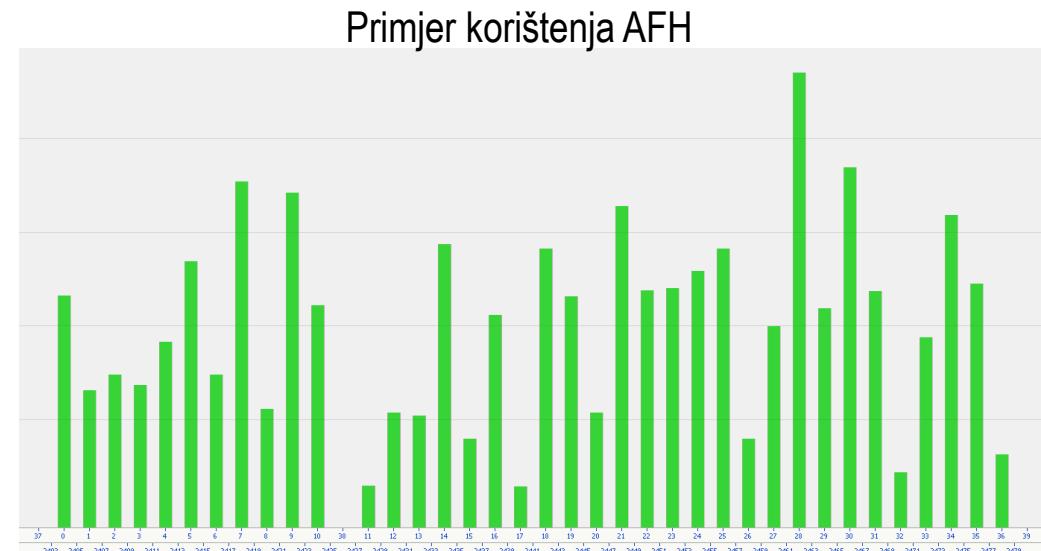
Kanali (frekvencije) na kojima se šalju paketi tijekom uspostavljenje veze su birani prema pseudo random postupku.

Primarni (Master) Bluetooth uređaj ima u memoriji mapu kvalitete kanala koju dijeli s Slaveom kako bi oboje imali informaciju o tome koje da kanale koriste.

U donjem primjeru se vidi kako se kanali 37,38 i 39 ne koriste jer oni služe za otkrivanje uređaja i broadcast.



- Praćenje „Loših kanala“
- Smanjenje interferencije
- Povećanje sigurnosti
- Indikatori:
 - RSSI (Received Signal Strength Indicator)
 - PER/BER (Packet or Bit Error Rate)
 - SNR (Signal to Noise)



Frekvencijsko skakanje

- Paketi se prenose u vremenskim odsječcima (TDD)
- 1 vremenski odsječak traje $625 \mu s$
- Moguće je rezervirati više vremenskih odsječaka (1, 3 ili 5)
- Nakon svakog vremenskog odsječka dolazi do promjene frekvencije (kanala).
- 1600 hops/sec s obzirom da jedan vremenski odsječak traje $625 \mu s$

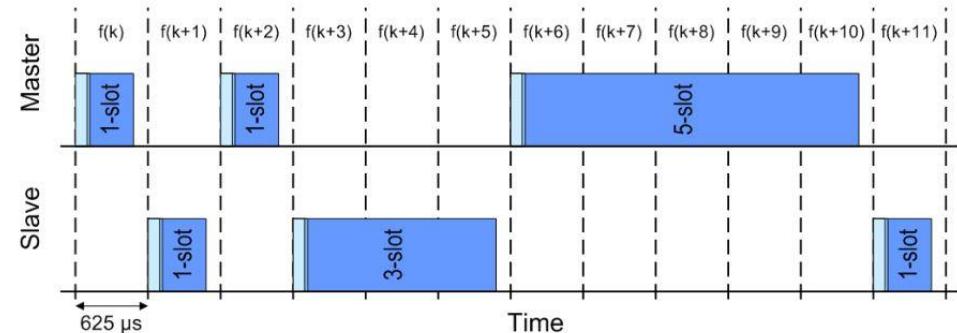
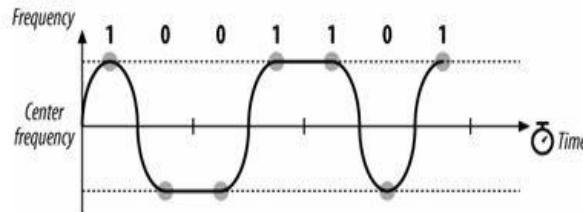


Fig. 2-3: TDD scheme: Multi-slot packet transmission and frequency hops $f(k)$

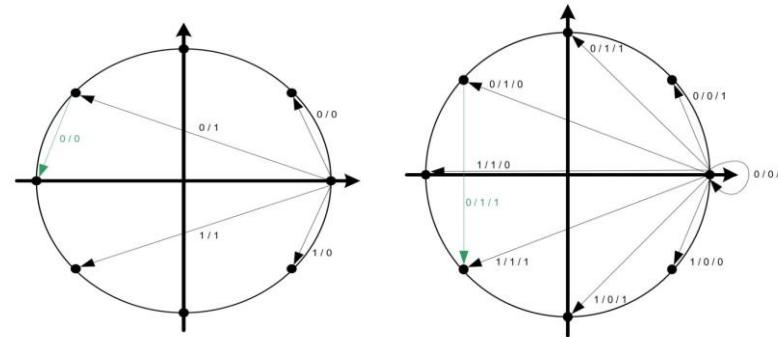
GFSK



LE 1M $\rightarrow \pm 185$ kHz

LE 2M $\rightarrow \pm 370$ kHz

DPSK



$\pi/4$ DQPSK \rightarrow 2 bita po simbolu

8DPSK \rightarrow 3 bita po simbolu

Kod BLE se koristi frekvencijska modulacija, a kod BR/EDR se koristi ili frekvencijska modulacija ili diferencijalna fazna modulacija

Format paketa i vrste veza

- > Format paketa određen je standardom prema kojem se svaki paket sastoji od:
 1. **pristupnog koda** (72 bita), koji služi za identifikaciju i sinkronizaciju uređaja
 2. **zaglavla** (54 bita), koje sadrži upravljačke informacije
 3. **korisničkog opterećenja** (0-2745 bita)
- > Standardom su definirane i dvije vrste fizičkih veza koje podržavaju prijenos govora i podataka. To su:
 1. **sinkrona veza** orientirana na spajanje (engl. SCO—Synchronous Connection Oriented link)
 2. **asinkrona veza** bez spajanja (engl. ACL—Asynchronous Connectionless Link).
- > **Sinkrona veza** orientirana je na spajanje i podržava veze tipa *point-to-point*. Upotrebljava se za prijenos govora i videa visoke kvalitete uporabom paketa HV (engl. *High quality Voice*). Prijenos se može ostvariti i uporabom DV (engl. *Data Voice*) paketa kojima se prenose podaci i govor. Pri prijenosu SCO vezom može se upotrijebiti shema unaprijed ispravljanja pogrešaka (engl. *FEC – Forward Error Correction*). HV paketi ne uključuju CRC kod i nikada se ponovno ne odašilju. Svrha FEC sheme pri podatkovnom prijenosu je smanjenje retransmisija. Istodobno do tri gorovne veze po piconet mreži brzine prijenosa 64 kbit/s.
- > **Asinkrona veza** bez spajanja podržava prijenos ACL (Asynchronous Connection-Less) paketa kojima se prenose korisničke ili upravljačke informacije u jednom ili nekoliko vremenskih odsječaka (1, 3 i 5) s ili bez primjene sheme unaprijednog ispravljanja pogrešaka (FEC).





Kontrola kanala na zračnom sučelju

- > Kako Bluetooth radio mora djelovati u otvorenom frekvencijskom pojasu (engl. *ISM Band Industrial, Scientific and Medical Applications of Radio*), zračno sučelje mora biti optimizirano tako da se može nositi s problemima interferencije i fedinga. Da bi se umanjio utjecaj interferencije upotrebljava se:
 1. tehnologija frekvencijskoga prekapčanja (engl. *frequency hopping*) s velikom brzinom prekapčanja (1600 prekapčanja u sekundi) u kombinaciji s kratkim paketima (ako se paket izgubi, gubi se samo mali dio poruke)
 2. shema unaprijednog ispravljanja pogrešaka (engl. *FER - Forward Error Correction*)
 3. shema automatske retransmisiije (engl. *ARQ – Automatic Retransmission Query*) paketa pri prijenosu podataka
 4. robusna shema kodiranja govora koji se nikad ponovo ne prenosi temeljena na delta modulaciji s kontinuirano promjenjivim nagibom (engl. *CVSD – Continuous Variable Slope Delta*)



Sigurnost

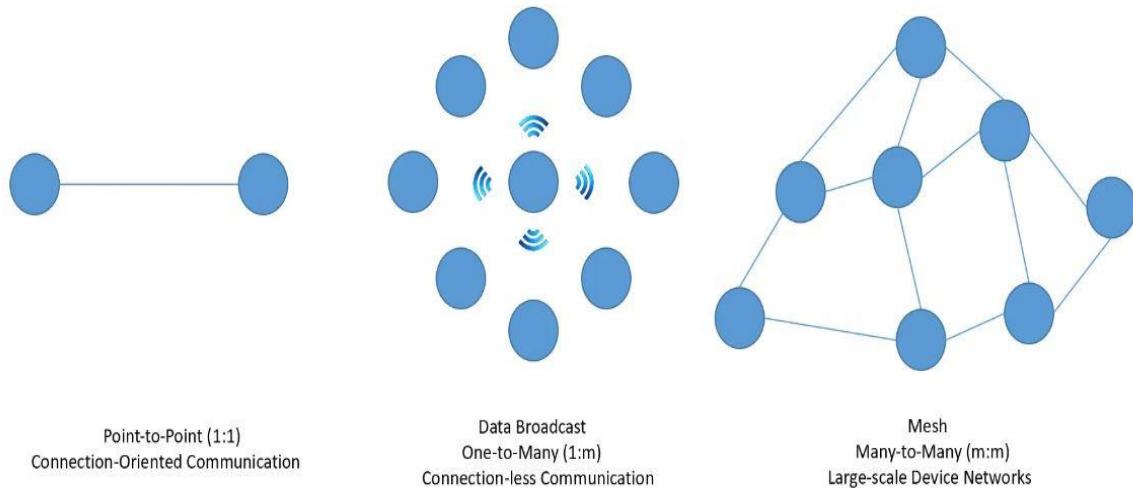
- > Mnoge sigurnosni aspekti čine Bluetooth neprikladnim za aplikacije kod kojih je sigurnost kritična (tmobilno plaćanje itd.), NFC standard razvijen na osnovi ovog sigurnosnog nedostatka u standardu
- > Generalno preporuka: kod uparivanja ne koristiti tipične šifre: „123”4, „0000”, te uparivanje ukoliko je moguće, obaviti u privatnom prostoru

TABLE 1: Master and Slave Security Policy Interaction

		Master		
		Security Mode 1	Security Mode 2	Security Mode 3
Slave	Security Mode 1	No authentication or encryption.	An application on the master can demand authentication and encryption; the slave must support authentication (encryption is optional).	The link is authenticated and optionally encrypted, depending on the master's security policy.
	Security Mode 2	An application on the slave can demand authentication or authentication and encryption; the master must support authentication (encryption is optional).	If an application on either device demands it, the link will be authenticated or authenticated and encrypted.	The link is authenticated, and if the master security policy or the application on the slave demands it, the link will be encrypted.
	Security Mode 3	The link will be authenticated if the slave security policy demands it, and the link will be encrypted if the master supports it.	The link will be authenticated and, if the slave security policy or the application on the master demands it, encrypted.	The link is authenticated and, if either the master or slave security policy demands it, encrypted.

Topologije mreže

- BLE podržava sve navedene topologije dok se kod BR/EDR može ostvariti samo point to point komunikacija
- Odabir topologije mreže ovisi o namjeni
- Kod BLE se broadcast vrši na posebnim advertising kanalima
- Mesh mreža može koristiti tehniku routing ili flooding
- Maksimalan broj čvorova u mesh mreži je 32 767



Point to point (1:1) topologija je kod BR/EDR optimizirana za audio streaming (hands free, slušalice, zvučnici), odnosno kontinuirano slanje većih podataka. Može biti spojeno max 7 slaveova na 1 master koji je izvor sinkronizacije (takta). Kod BLE je optimizirana za povremeno slanje manjih paketa podataka npr. PC miš i tipkovnicu, fitness tracker, zvono. Broj uređaja ovisi o implementaciji tj. ograničenje je latencija i BER.

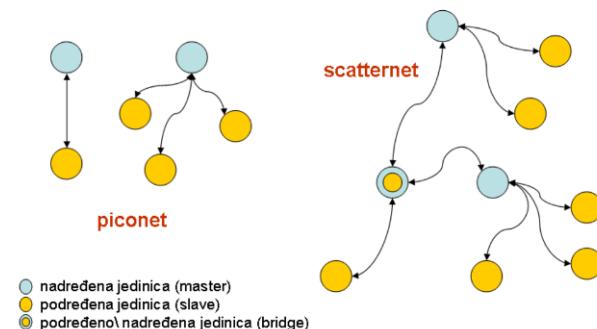
Broadcast (svi:svi)(nema konekcije) topologija se koristi za navigaciju unutar zatvorenih prostora, praćenje lokacije objekata, davanja informacija o nekim objektima kada smo u njihovoј blizini. Broadcast se vrši na advertising kanalima.

Mesh (svi:svi) topologija se koristi za IOT, automatizaciju. Uređaji u mesh mreži prosljeđuju poruku prema zapisanoj destinaciji (relaying). Kod Routing tehnike samo odabrani čvorovi (router) prosljeđuje poruku, dok kod Floodinga svi čvorovi primaju poruke od svih i prosljeđuju ih svima. Kod floodinga se mreža lako „zagubi“,(gube se paketi, povećava se latencija tj. smanjuje QoS), ali za razliku od routinga manja je šansa da nastane prekid unutar mreže.

Mesh mreža povećava prostornu pokrivenost signalom.

Topologija: Piconet i Scatternet

- > Bluetooth je paketno-baziran protokol kod kojeg dvije ili više jedinica koje dijele isti kanal, tvore mrežu nazvanu **piconet**.
- > U njoj se jedna jedinica ponaša kao **nadređena (engl. master)**, kontrolirajući promet u piconet mreži. Ostale su jedinice **podređene (engl. slave)**.
- > U **piconet mreži može biti ukupno 7 podređenih jedinica**. Uz to treba naglasiti da svaka jedinica može biti i nadređena i podređena, a prema definiciji vrijedi da je nadređena jedinica ona koja prva uspostavlja vezu.
- > Bluetooth standard prema osnovnim specifikacijama dozvoljava spajanje dvije ili više piconet mreža u jednu veću pod nazivom scatternet u kojoj neki od uređaja imaju zadatku da obavljaju funkciju **mosta (engl. bridge)**. Stoga istodobno u jednoj piconet mreži imaju funkciju nadređene jedinice, a u drugoj piconet mreži imaju funkciju podređene jedinice.
- > Da bi uređaji mogli komunicirati moraju raditi sinkrono i upotrebljavati istu sekvencu prekapčanja. Bluetooth uređaji stoga u *piconet* mreži uskladjuju svoj takt s generatorom takta nadređene jedinice. **Generator takta ima ritmičkim interval u trajanju od 312.5μs. Dva takta čine vremenski odsječak od 625 μs.**



Moguća stanja koje uređaj može zauzeti

- > Postoje dva osnovna stanja koje Bluetooth jedinica može zauzeti:
 1. **Standby** (stanje u kojem Bluetooth uređaj čeka da se pridruži piconet mreži) i
 2. **Connected** (stanje aktivnosti uređaja u piconet mreži).
- > Osnovno stanje je *standby*, gdje je uređaj u stanju malene potrošnje i „budi“ se samo da provjeri poruke pozivanja (engl. *page scan*) ili da zatraži te poruke (engl. *inquiry scan*).
- > Prelazak u **connected** stanje odvija se prema definiranom slijedu:
 1. **Standby** (stanje u kojem Bluetooth uređaj čeka da se priključi piconet mreži),
 2. **Inquire** (stanje u kojem Bluetooth uređaj traži uređaj koji će mu pružiti zahtijevanu uslugu,)
 3. **Page** (stanje u kojem Bluetooth uređaj zahtijeva povezivanje s određenim uređajem),
 4. **Connected** (stanje aktivnosti Bluetooth uređaja u Piconet mreži),
- > Jednom u **connected** stanju, Bleutooth uređaj može zauzeti 4 stanja:
 1. **Active state** - podređena jedinica „sluša“ master-to-slave vremenski odsječak da vidi ima li paketa koji su joj adresirani. Ako nema, u stanju je čekanja sve do sljedećeg master-to-slave vremenskog odsječka
 2. **Sniff state** - podređena stanica smanjuje svoju aktivnost. I dalje sluša master-to-slave vremenski odsječak, ali ne više svaki već u vremenskim razmacima Tsniff, koji su ranije dogovoreni između nadređene i podređene jedinice
 3. **Hold state** - podređena stanica na neko vrijeme prelazi u stanje čekanja, a duljina tog čekanja je i u ovom stanju ranije dogovorena između nadređene i podređene jedinice

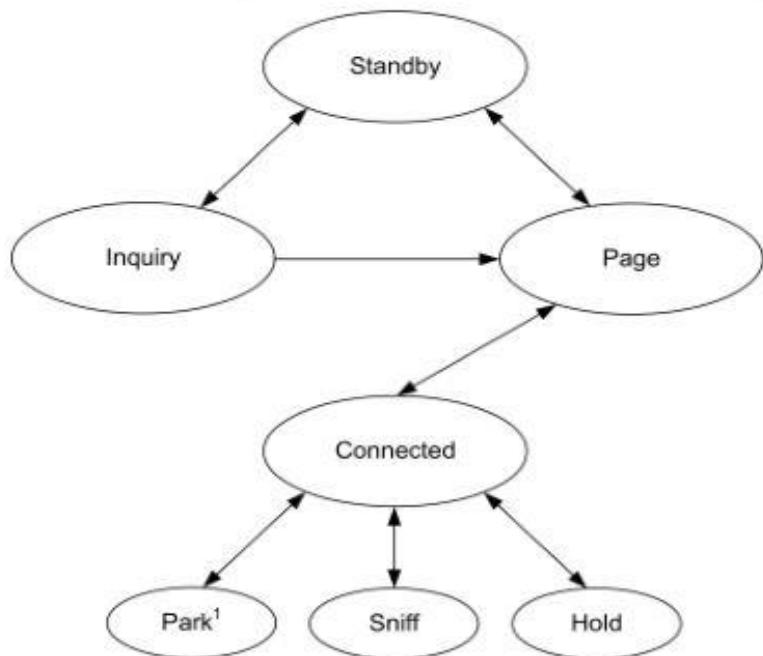


Figure 3-1: State machine for Bluetooth Classic. 1. Park is no longer available as of Version 5.

BR/EDR

Standby -> default, ne radi ništa, nema linka

Inquiry -> Zahtjevaj od uređaja u blizini (koje imaju status „visible“) da ti pošalju svoje adrese

Page (connecting) -> uspostavljena konekcija između poznatih uređaja

Active (connected) -> razmjena paketa

Sniff i Hold služe za uštedu energije. Smanjena je učestalost slanja paketa na samo pojedine vremenske odsječke

Park -> Ne postoji od verzije 5.0. Master je imao mogućnost staviti Slave u sleep mode dok god mu ne javi da se probudi. BLE

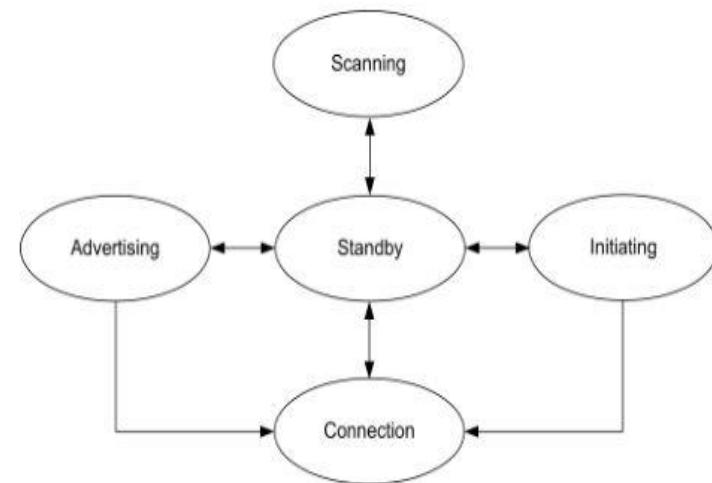


Figure 4-4: State machine for Bluetooth Low Energy. A device can run multiple machines simultaneously, e.g. to support advertising and scanning in parallel.

BLE

Standby -> default

Advertising -> Šalji pakete na kanalima za advertising, može koristiti sva 3 kanala ili samo 1. Ili šalji drugim uređajima koji su u blizini da si prisutan „The device transmits a message ("here I am") to other devices in the vicinity.“

Scanning -> slušaj advertising kanale primaj podatke s njega

Initiating -> scanner pošalje advertiseru request za konekciju ako mu advertiser to dopušta

Connection -> initiator (bivši scanner) postaje master, a advertiser slave. Sada su uređaji spojeni i mogu koristit AFH.

BLE Uredaj može paralelno izvršavati advertising i scanning

Svaki bluetooth uređaj ima 48 bitnu jedinstvenu adresu. Prema nekim od tih bitova se može odrediti proizvođač chipa.



Što je donio Bluetooth v4.0

- > U travnju, 2010. godine Bluetooth SIG kompletirala je verziju standarda pod nazivom *Bluetooth core specification v 4.0*, koja definira osnovnu podjelu na dva Bluetooth bežična sustava za prijenos podataka:
 1. **BR/EDR (engl. Basic Rate) / (engl. Enhanced Data Rate)** sustav, obuhvaća koncpete (od verzije 2.0):
 - > Classic Bluetooth (kompatibilnost s ranijim verzijama),
 - > Bluetooth High speed (povećanje brzine prijenosa podataka korištenje WiFi prijenosnih mehanizama)
 2. **LE sustav (Low energy)** podržava novi (4.0) koncept:
 - > Bluetooth Low energy (dodatno smanjenje potrošnje energije za uređaje koji imaju ograničeno baterijsko napajanje).
 - > Ovlašavački kanal



Bluetooth v4.0:

- > **Tradicionalni Bluetooth**
 - > Connection oriented- dok je uređaj u aktivnom stanju, održava se link čak i kada nema odašiljanja informacija
 - > Sniff stanje omogućava smanjenje potrošnje energije, no potrošnja je i dalje relativno velika
 - > Vršna potrošnja 25-30 mA
 - > lako je u usporedbi s drugim radio standardima potrošnja relativno malena, to je još uvijek nedovoljno da bi se mogli koristiti uređaji koji za napajanje koriste „satne” baterije (coin cells)
- > **Bluetooth Low energy**
 - > dodatno smanjenje potrošnje energije za uređaje koji imaju ograničeno baterijsko napajanje:
 - > **Vršna potrošnja struje < 20mA, prosječna potrošnja < 5µA**
 - > Nije namjenjen za velike brzine i optimiziran za file transfer (do 1Mbps)
 - > Ne podržava streaming
 - > Optimiziran za prijenos malih paketa (chunks) podataka

Bluetooth v4.0- oglašavački kanal

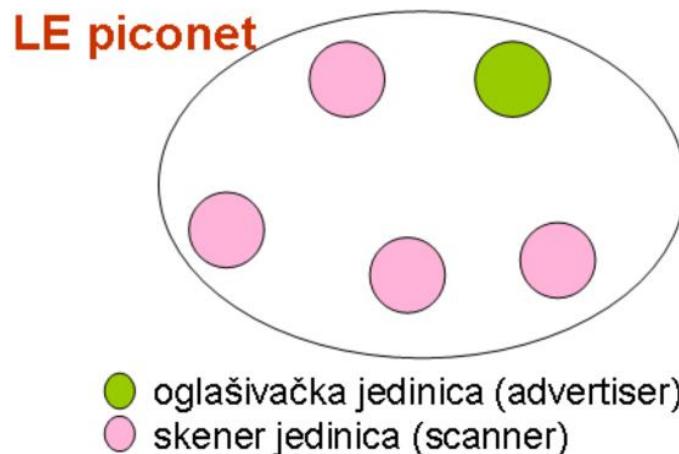
- > Kako bi se omogućila funkcija oglašavanje, u sklopu Bluetooth standarda za LE sustava planirani su:

1. **Predajni kanal (engl. Broadcast channel)**

Na fizičkom predajnom kanalu definiran je oglašavački logički kanal (engl. advertising channel) preko kojeg je moguće slati informacije s ciljem informiranja ili oglašavanja (audio, video, tekst).

2. **Promjena u topologiji**

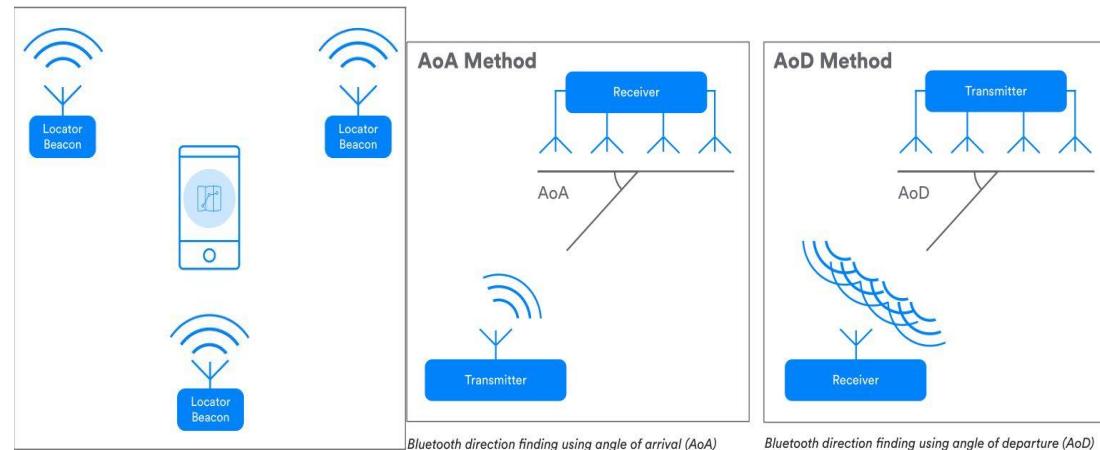
U zadnjoj verziji Bluetooth standarda (v 4.0), pored već postojećih klasičnih topologija mreža (*piconet i scatternet*) uvode se novi koncepti pod nazivom **LE piconet mreža** čija je glavna značajka ostvarivanje mogućnosti oglašavanja putem predajnog oglašavačkog kanala..



Što donosi verzija Bluetooth 5

- > LE 2M -> 2Mb/s
- > 4x veći domet -> FEC
- > Promjena PHY sloja tijekom rada
- > Poboljšanja u korištenju advertising kanala
 - Channel Offload -> pointer na data kanal
 - Advertising Packet Chaining
- > Poboljšanja u lociranju v5.1
 - Antenna array + RSSI + triangulacija
- > Kontrola snage za BLE v5.2
 - Smanjena interferencija

	LE 1M	LE Coded S=2	LE Coded S=8	LE 2M
Symbol Rate	1 Ms/s	1 Ms/s	1 Ms/s	2 Ms/s
Data Rate	1 Mbit/s	500 Kbit/s	125 Kbit/s	2 Mbit/s
Error Detection	CRC	CRC	CRC	CRC
Error Correction	NONE	FEC	FEC	NONE
Range Multiplier (approx.)	1	2	4	0.8
Bluetooth 5 Requirement	Mandatory	Optional	Optional	Optional



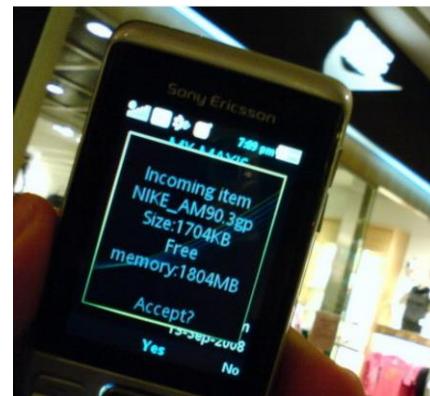
Bluetooth IPS system based on RSSI and trilateration.

Područja primjene Bluetooth tehnologije

- > Osnovna područja primjene Bluetooth tehnologije su sljedeća:
 1. zamjena za kabel
 2. ostvarivanje osobne *ad hoc* mreže
 3. ostvarivanje pristupnih točaka za povezivanje korisničkih terminala na postojeće mreže za prijenos govora i podataka
- > Zanimljive mogućnosti uporabe Bluetooth tehnologije ogledaju se pri ostvarivanju:
 1. interaktivne konferencije, tj. bežične razmjene podataka između sudionika konferencije,
 2. internet mosta, tj. povezivanje na internet putem LAN, PSTN, xDSL, ISDN, GSM, GPRS, UMTS mreža,
 3. radnoga stola bez kabela, tj. pri povezivanju perifernih uređaja na osobno računalo bez kabela,
 4. automatske sinkronizacije podataka između raznih digitalnih uređaja (mobilnog telefona, prijenosnog i ručnog računala),
 5. funkcionalnosti „Tri telefona u jednom”, pri čemu GSM - Bluetooth mobilni telefonski aparat omogućava razgovor preko mobilne mreže, razgovor preko PSTN mreže u uredu ili kod kuće te interkom razgovor s drugim Bluetooth uređajem koji podržava govornu komunikaciju,
 6. zamjena IrDa veze u uređajima za kontrolu i upravljanje (npr. daljinski upravljač za TV, klima uređaj i sl.),
 7. **korištenje predajnog kanala (engl. *broadcast channel*) omogućuje ostvarivanje različitih Bleutooth info pultova i oglašavanja (v4.0).**



Bluetooth v4.0- oglašavački kanal- primjeri



1 of 1 The billboard encourages passers-by to switch on the bluetooth on their mobile device and receive the company's advertisement

Photo: provided





Bluetooth- Ostali primjeri



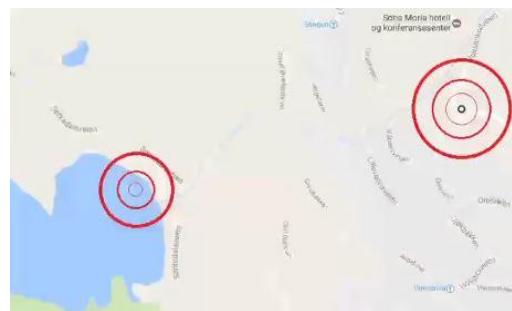
Bluetooth®



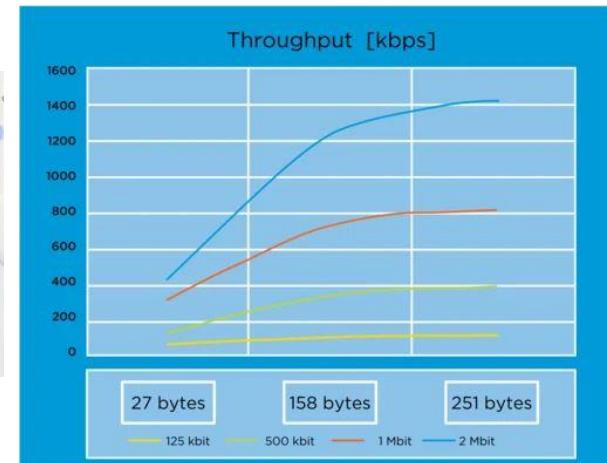
Primjeri korištenja Bluetooth tehnologije

Domet u eksperimentu:

- 1.6 km na otvorenom
- 125 kbps Coded PHY
- Tx → +5dBm
- Rx → -103dBm



Texas instruments : Long Range with CC2640R2F



https://e2e.ti.com/blogs_/b/process/archive/2017/01/30/how-does-bluetooth-5-increase-the-achievable-range-of-a-bluetooth-low-energy-connection

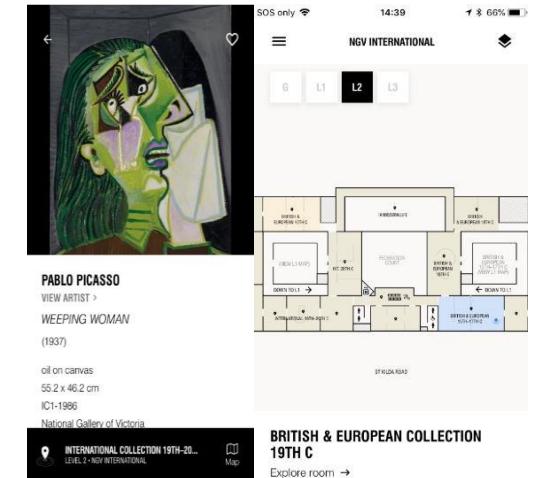
<https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/Bluetooth-5>

Navigacija u zatvorenom prostoru i point of interest

- London's Gatwick Airport
- Oko 2,000 beacons
- Pojednostavljen pronađazak odredišta
- Zračna luka dobiva podatke o tome gdje se ljudi najviše zadržavaju te kako se kreću kroz zračnu luku
- AR



- National Gallery of Victoria
- Lakše snalaženje unutar muzeja
- Dodatne informacije o slikama



Primjer IOT automatizacija uređa pomoću senzora i aktuatora -> osvjetljenje, grijanje, ventilacija, senzori za prozore i okupaciju sobe. Bluetooth mreža je spojena na cloud (internet) pomoću gatewaya (može ih biti i više) koji podržava obje tehnologije. Na cloudu se spremaju podaci te se iz njega vrši kontrola IOT mreže.

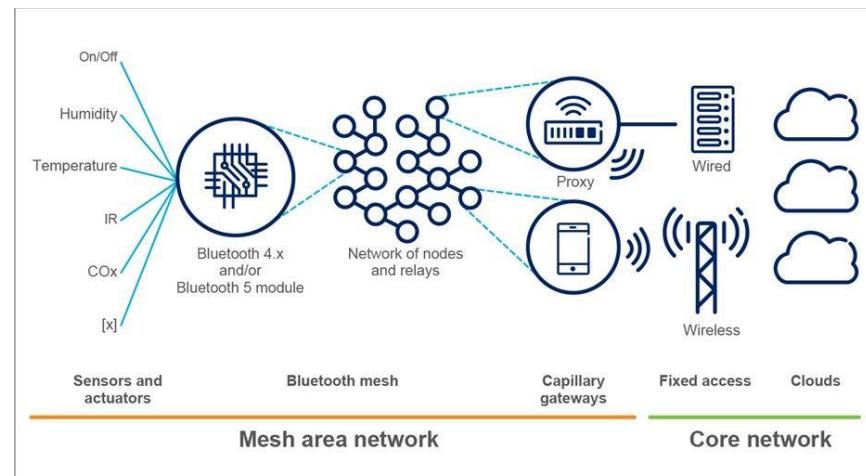
- 879 uređaja unutar 2000 m²
- Ukupni throughput
 - Low traffic -> 150 b/s
 - Medium traffic -> 1 kb/s
 - High traffic -> 3 kb/s

Relayi su postavljeni na hodnike i otvorene prostore kako bi pokrili što više prostora. Relazi su priključeni na gradsku mrežu jer stalno provjeravaju i prosleđuju pakete sa advertising kanala pa koriste puno snage (npr ble svjetlo se može koristiti kao relay).

Sparse -> 12 relaya

Dense -> 49 relaya -> redundancija

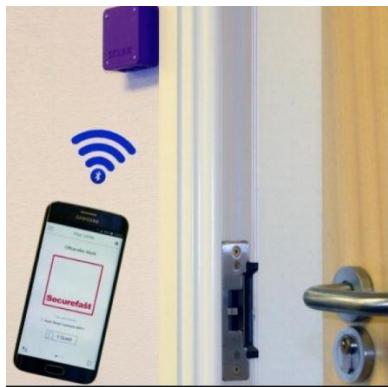
- Enhanced način rada



	Baseline			Enhanced		
	Low traffic	Medium traffic	High traffic	Low traffic	Medium traffic	High traffic
Sparse deployment	99.1%	95.4%	84.3%	>99.9%	>99.9%	>99.9%
Dense deployment	97.5%	88.7%	69.2%	>99.9%	>99.9%	>99.1%

<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/bluetooth-mesh-networking>

Kontrola pristupa



Bluetooth tracker



Prijenos audio signalova



Stop Covid





TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU
POLYTECHNICUM ZAGRABIENSE

MOBILNE KOMUNIKACIJE

Utjecaj EM zračenja na ljudsko zdravlje

posebna zahvala za korištenje materijala
prof.dr.sc. Winton Afrić
dr.sc. Alberto Teković



> Utjecaj EM zračenja na ljudsko zdravlje

> Neionizrajuće i ionizirajuće zračenje

> Termalni i netermalni efekti

> Biomedicinski učinci EM polja

> Zakonska regulativa u EU i RH

> SAR

> Zračenje antenskih sustava

> Jačina zračenja u 5G sustavima

> Zaključak



Kada govorimo o utjecaju EMV na fizičko ljudsko zdravlje onda efekti koje ovi valovi izazivaju ovise o:

- > frekvenciji koja se koristi,
- > snazi izvora EMV,
- > dužini trajanja izloženosti našeg tijela izboru EMV.

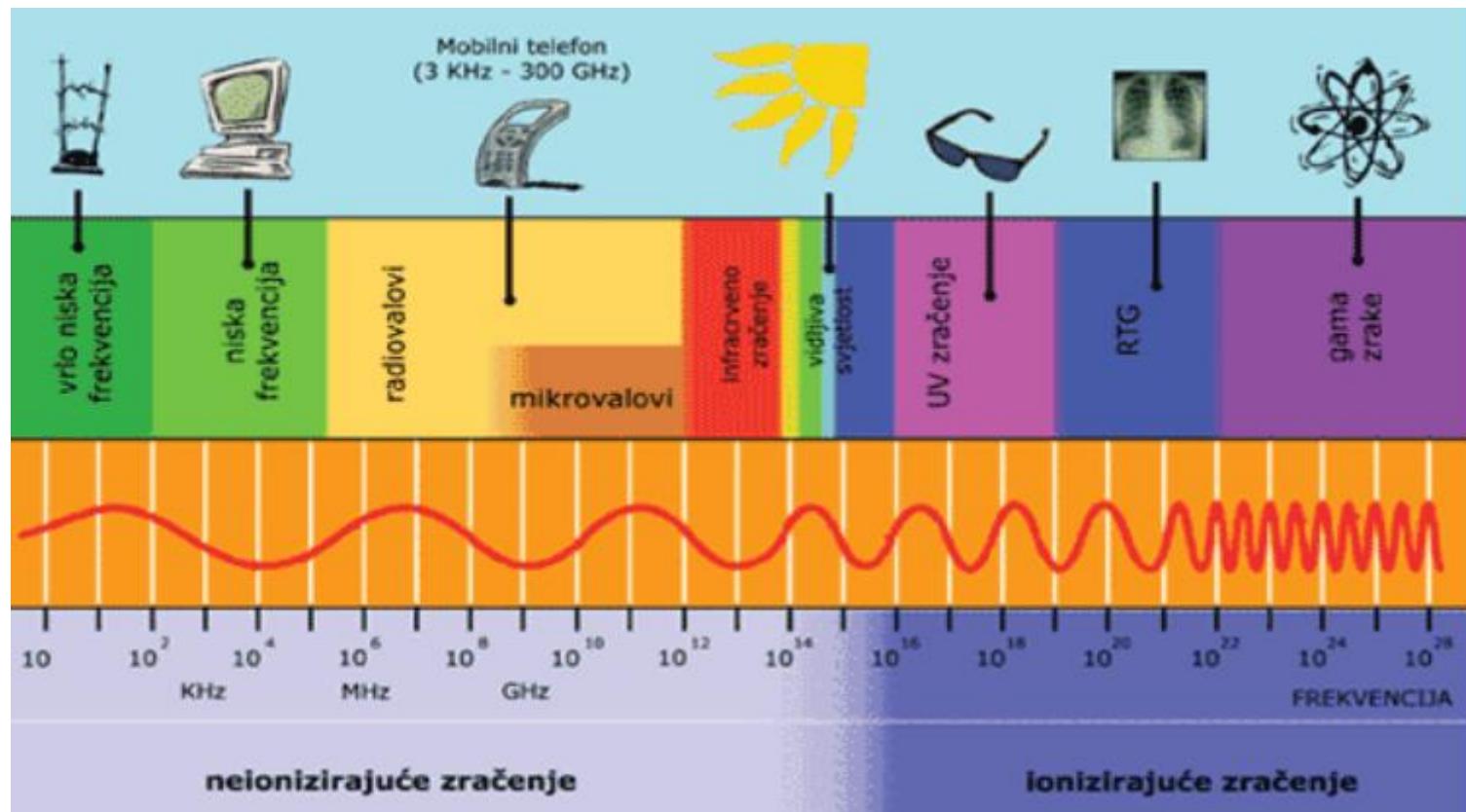
Opasno:

- „razbiti“ molekule u ljudskom tijelu – ionizirati ga – ionizirajuće zračenje
- zagrijati tkiva preko 1°C što dovodi do djelomičnog ili potpunog oštećenja tkiva

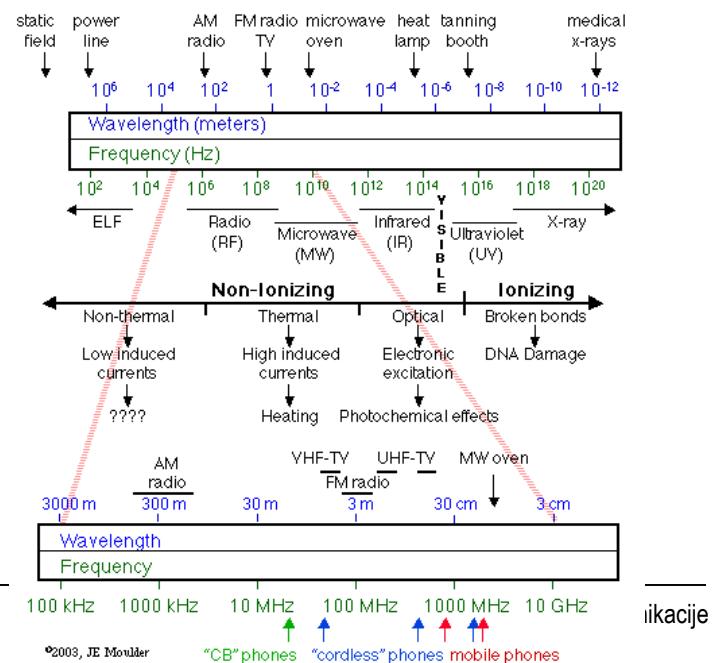
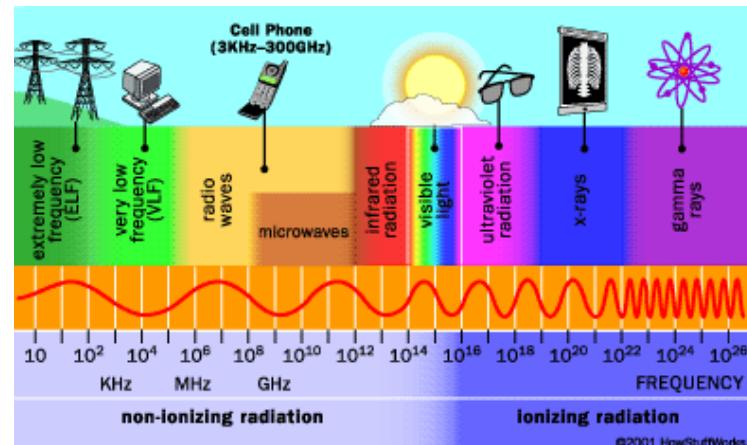
Ukupni spektar elektromagnetskog zračenja možemo podijeliti na dva dijela;

- > neionizirajuće zračenje (frekvencije od nekoliko Herza do 10^{14} Hz - 10^{16} Hz)
- > ionizirajuće zračenje (frekvencije od 10^{14} Hz - 10^{16} Hz pa na više).

- > Neionizrajuće zračenje uključuje ultraljubičastu svjetlost, vidljivu svjetlost, infracrvenu svjetlost, **radio frekvencije**, ali i vrlo niske i ekstra niske frekvencije.



- > Ionizirajuće zračenje je pojava prijenosa energije u obliku fotona (kvanti elektromagnetskog zračenja) ili masenih čestica, a koje ima dovoljno energije da u međudjelovanju s kemijskom tvari ionizira tu tvar
- >
- > Ionizacija podrazumijeva promjene u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre. U međudjelovanju s tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari.
- >
- > Ionizirajuće zračenje je pojava za koju ljudska osjetila nisu razvijena, za razliku od mnogih drugih pojava u prirodi. Izravne posljedice djelovanja ionizirajućeg zračenja na živi svijet većinom su zakašnjele i teško ih je povezati s uzrokom.
- >
- > Ionizirajuće zračenje se može sastojati od:
 - > snopa čestica visokih energija (protona, alfa-čestica ili beta-čestica)
 - > elektromagnetskoga zračenja visoke frekvencije (gama-zračenje, rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje).

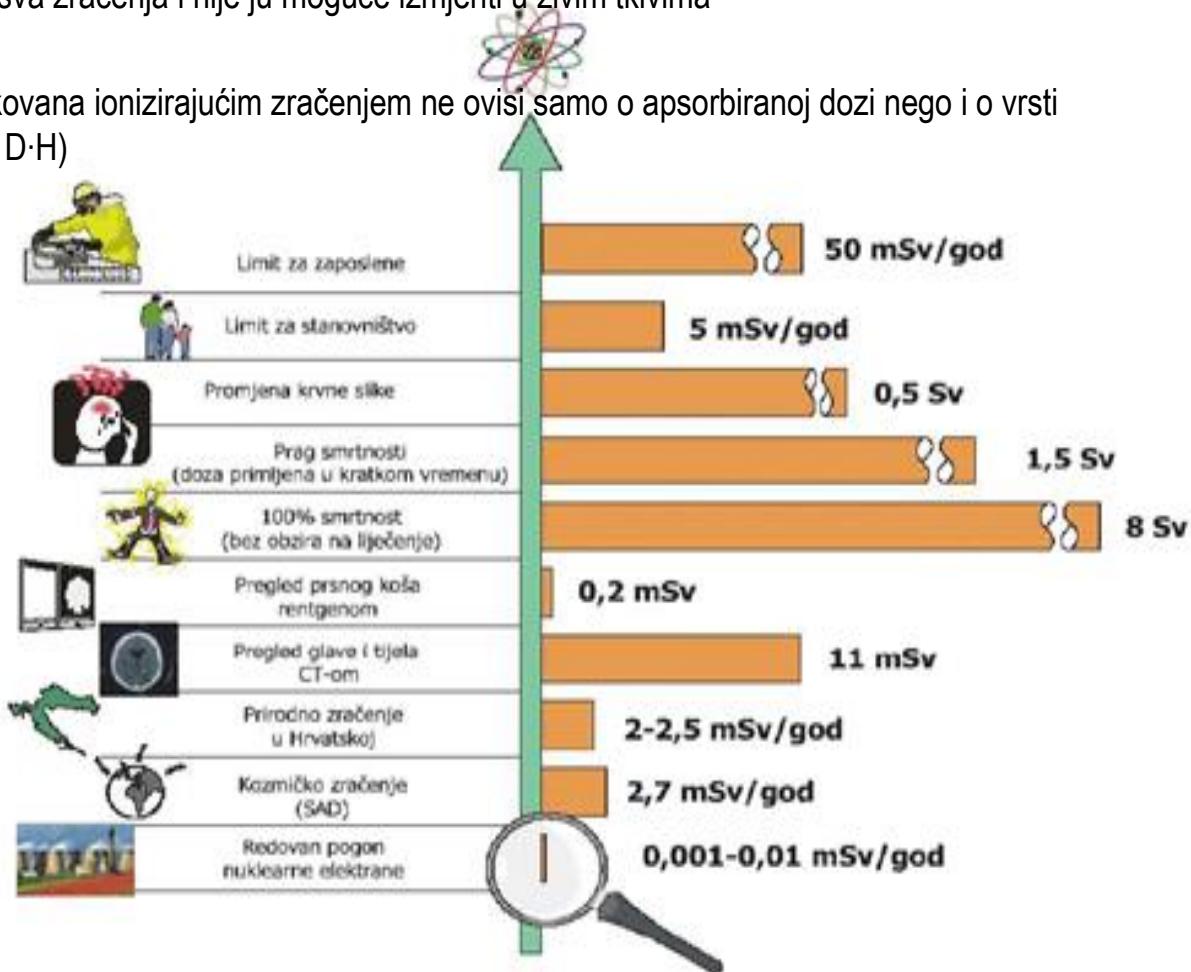


Ionizirajuće zračenje:

- > **Apsorpcijska doza (D)** – mjera povećanja unutrašnje energije (ΔU) u 1 kg tkiva uzrokovanoj apsorpcijom radijacijskog zračenja.
Određena je za sva zračenja i nije ju moguće izmjeriti u živim tkivima
- > **Ekvivalentna doza (Deq)** biološka šteta uzrokovana ionizirajućim zračenjem ne ovisi samo o apsorbiranoj dozi nego i o vrsti zračenja ($Deq = D \cdot H$)

Zračenje	Faktor kvalitete (H)
X i γ	1
β	1 - 2
neutronsko	3 - 10
protonsko i α	10
teškoionsko	20

*Screening Value (Sv=J/kg)



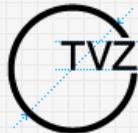


Izvori neionizirajućeg zračenja

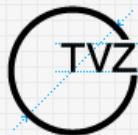
- > **Niskofrekvenčni izvori elektromagnetskih polja u području do 100 kHz**
 - > visokonaponski transformator
 - > rasklopno postrojenje
 - > vodovi za prijenos električne energije
 - > postrojenja el.vuče
 - > elektroliza i galvanizacija
 - > uređaji, oprema ili objekti koji stvaraju polje do 100 kHz, a radni napon je veći od 1 kV
- > **Visokofrekvenčni izvori elektromagnetskih polja iznad 100 kHz**
 - > bazna postaja mobilne mreže
 - > radiodifuzni odašiljači
 - > radarski uređaji
 - > drugi uređaji koji stvaraju EM polja, npr. u primjeni metala, drveta i plastike



- > Elektromagnetsko zračenje radijskih frekvencija (neionizirajuće zračenje) ima dva glavna utjecaja na ljudsko zdravlje;
 - > **termalni i**
 - > **netermalni.**
- > Netermalni učinci: O ne termalnim negativnim učincima ne postoje egzaktni i mjerljivi pokazatelji, još *uvijek se o ovim učincima govori sa hipotetskog stanovišta*. Ne termalni negativni učinci djelom se svode na ometanje bioloških struja koje naš organizam koristi za svoje funkcioniranje, te negativnom efektu koje mogu inducirane struje prouzročiti u našem tijelu a koji nisu termalnog karaktera.
- > Termalni ili toplinski učinci: Elektromagnetski valovi radio frekvencija uzrokuju porast tjelesne temperature. Ovi učinci su mjerljivi i svi propisi i **norme za zaštitu temelje se na termalnim efektima koje EMV može proizvesti na ljudsko tijelo**. Povećanje tjelesne temperature od 1 Celzijev stupanj može stvoriti prve štetne učinke.

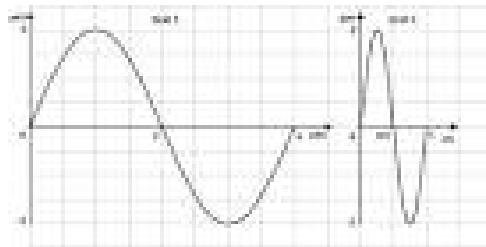


- > **Netermalni efekti** nisu ništa manje bezazleni po ljudsko zdravlje, povezani su uz induciranje elektromotorne sile u ljudskom organizmu, koja opet zbog vodljivosti tkiva izaziva pojavu vrtložnih struja i svih negativnih efekata koje ona može prouzrokovati u ljudskom organizmu.
- > Polja radijskih frekvencija mogu interferirati i sa različitim implantantima ili implatiranim uređajima u ljudsko tijelo, kao što su *pacemaker* i slično.
- > **Energija kvantnog zračenja u oblasti radijskih frekvencija** od 0,9 GHz (GSM) i 1,8 GHz (UMTS, GSM2, DECT) iznosi 3,7 μeV odnosno 7,45 μeV .
- > Za razbijanje najslabijih kemijskih veza u genetskim molekulama ljudskog organizma potrebna je energija od **1eV**. Radijske frekvencije ne mogu izazvati oštećenje DNA, direktnim učinkom elektromagnetskog polja, ali oštećenja mogu nastati zbog termalnih efekata zračenja.



- > Pod **termalnim utjecajem** podrazumijeva se povišenje tjelesne temperature.
- > Povišenje tjelesne temperature zbog neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja može dovesti do oštećenja tkiva ljudskog organizma i/ili do smrti (povišenje za više od 6° C).
- > Manji porasti tjelesne temperature zbog utjecaja elektromagnetskog zračenja mogu dovesti do;
 - > srčanog udara,
 - > oštećenja mozga,
 - > neplodnosti,
 - > zamućenja vida (ozljeda oka),
 - > glavobolje,
 - > slabosti,
 - > gubitka apetita,
 - > poremećaja spavanja ili
 - > opeklina.

- > Zbog sve veće uporabe radiofrekvencijskog spektra i sve prisutnijih većih snaga elektromagnetskog zračenja u našoj okolini, dolazi do opravdane **zabrinutosti za ljudsko zdravlje**.
- > **Termalni efekti nastaju** zbog titranja molekula u ljudskom organizmu, te su naviše izraženi kod vrlo visokih frekvencija čija se valna duljina poklapa sa veličinama stanica i molekula u ljudskom tijelu. Zbog toga čovjek bolje apsorbira energiju elektromagnetskih zračenja iz viših dijelova spektra.



Kod mobilne telefonije valne duljine su od cca 30 cm (GSM) do 15 cm (UMTS).

- > Toplinska energija svake komponente biološkog tkiva (ioni, molekule, stanice) ima prosječnu vrijednost
- > $E = k \cdot T$
- > gdje je k Boltzmanova konstanta ($k=1,38 \times 10^{-23}$ J/K), a T absolutna temperatura u stupnjevima Kelvina ($K = {}^\circ C + 273,15$).
- > Tako na sobnoj temperaturi od $T=300$ K umnožak kT iznosi **26 MeV**.
- > Ako je taj broj mnogo veći od energije gibanja kojeg uzrokuje vanjsko elektromagnetsko polje, **tada će termalni učinak elektromagnetskog polja biti zasjenjen**.



Vrste istraživanja negativnih utjecaja elektromagnetskog zračenja radijskih frekvencija na ljudsko tijelo

- > U proteklih 30 godina objavljeno je približno 25 000 znanstvenih članaka na području bioloških učinaka i medicinske primjene ne ionizirajućih zračenja.
- > Kada govorimo o istraživanjima biomedicinskih učinaka elektromagnetskog polja na ljudsko zdravlje sva znanstvena istraživanja mogu se podijeliti u tri skupine.
 - > Istraživanja **in vitro**, koja se provode na stanicama ili tkivima živih bića, ali koja su prethodno izvađena iz tih organizama.
 - > Istraživanja **in vivo**, koja se provode na živim organizmima, najčešće životinjama (laboratorijski miševi i slično).
 - > **Epidemiološke studije** unutar jedne populacije, odnosno istraživanja na ljudima.

Biomedicinski učinci elektromagnetskih polja NF EM izvora u području do 100 kHz

DOMINANTNI IZVORI

- > EE postrojenja (50 Hz)
- > Dalekovodi (110 kV, 220 kV, 400 kV)
- > Kućanski aparati (50 Hz)

EPIDEMIOLOGIJA

- > 2002 g. *“IARC” - “2B” Moguća kancerogenost
- > problem leukemije kod djece, karcinom dojke

IN VIVO

- > Magnetska polja iznosa oko 100 µT mogu pomoći razvoju već poznatih tumora

IN VITRO

- > općeprihvaćeno da polja ekstremno niskih frekvencija ne prenose energiju dovoljnog iznosa za oštećenje DNA
- > međutim, pod utjecajem ovih polja dolazi do promjene nekih procesa kao što je obnova DNA

SIMPTOMI

- > Termin “ elektromagnetska hiperosjetljivost ” (glavobolje, poremećaji sna, iritacija kože, nervozna)

*IARC - international agency for research on cancer www.iarc.fr/



Biomedicinski učinci elektromagnetskih polja VF EM izvora

DOMINANTNI IZVORI

- > bazna postaja mobilne mreže, radiodifuzni odašiljači (FM, TV)
- > Mobilni uređaji

DVA DOKAZANA UČINKA ELEKTROMAGNETSKIH POLJA NA LJUDSKO TIJELO :

- > zagrijavanje tkiva (toplinski učinak) na višim frekvencijama, iznad 100 kHz
- > elektrostimulaciju podražljivih tkiva na nižim frekvencijama, ispod 10 MHz

EPIDEMIOLOGIJA

- > 2011g. "IARC" and WHO - "2B" Moguća kancerogenost mobilnih uređaja

International Agency for Research on Cancer



PRESS RELEASE
N° 208

31 May 2011

IARC CLASSIFIES RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AS POSSIBLY CARCINOGENIC TO HUMANS

Lyon, France, May 31, 2011 -- The WHO/International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans (Group 2B), based on an increased risk for glioma, a malignant type of brain cancer¹, associated with wireless phone use.



- > Hrvatska zakonska regulativa na području zaštite od utjecaja Elektromagnetskih zračenja je u potpunosti usklađena sa pravnim okvirom Europske unije i stroža je od njega.
- > U medijima kada se govori o izloženosti ljudi elektromagnetskim zračenjima iz domena radio frekvencijskog spektra najčešće se govori o baznim postajama mobilnih operatera. Pri tome se zaboravlja da u našoj okolini ima, ili može biti, daleko snažnijih izvora elektromagnetskih polja radijskih frekvencija od bazne postaje.
- > U našoj okolini nalaze se;
 - > radarski uređaji,
 - > uređaji usmjerenih radijskih veza TV i Radio odašiljači,
 - > mikrovalne pećnice i
 - > slično.
- > Također, svaka žarulja sa žarnom niti osim svjetla isijava vrlo široki spektar najraznovrsnijih zračenja (ionizirajućih i neionizirajućih). Televizijski ekran koji su bombardirani elektronskim snopom kako bi se proizvela luminiscencija osim vidljiva svjetla isijavaju i druga zračenja i tako redom.



- > Na temelju dosadašnjih istraživanja glede poštivanja normi, možemo zaključiti da je situacija «**opasnosti od zračenja baznih postaja operatera mobilnih komunikacija u RH»** zadovoljavajuća i u okviru normi (najčešće daleko ispod zadane norme).
- > Također, telekom operatori su **pod stalnim nadzorom nadležnih službi** koje kontroliraju i prate razinu EM zračenja.
- > Svi mjeritelji u ovom postupku moraju biti akreditirani, moraju imati certifikat od strane Ministarstva zdravlja.
- > Operateri imaju obavezu izraditi proračun očekivane razine zračenja tijekom planiranja bazne postaje.
- > Dodatne kontrole polja provodi HAKOM.

- > Postoje brojne organizacije koje se bave preporukama i normama u domenu telekomunikacija i općenito korištenja elektromagnetskih polja.
- > Međutim, samo dvije organizacije su dijelom ili u cijelosti specijalizirane za zaštitu od neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja, a to su:
 - > za Ameriku IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) koji je svojim pravilnikom C95.1-1999. odredio granice takozvane maksimalne dopuštene izloženosti (*Maximal permissible exposure-MPE*) za iznose vremenski promjenjivih električnih i magnetskih polja u slobodnom prostoru, te za odgovarajuće gustoće snage i ICNIRP za zapadnu Europu.
 - > Zapadna Europa koristi preporuke koje sastavlja Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP – *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*). ICNIRP je nastao 1992. godine odvajanjem od IRPA (*International Radiation Protection Association*), on je odgovoran za pružanje preporuka i savjeta za zaštitu od neionizirajućeg zračenja te je u tjesnoj suradnji sa svjetskom zdravstvenom organizacijom. U travnju 1998. ICNIRP je objavio dokument u kojem se propisuju granice izlaganja ljudi elektromagnetskom zračenju na frekvencijama od 10 Hz do 300 GHz.

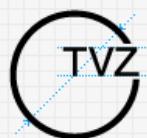


ICNIRP (International Committee on Non-Ionizing Radiation)

Frequencies from 400 MHz to 2 GHz	Maximum allowable electric field strength E(V/m)	Maximum allowable magnetic field strength H(A/m)	Magnetic flux density B(μT)	Equivalent power density of a plane wave S(W/m ²)
Occupational exposure	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f/40$
Exposure of the general population.	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
Remark	In the equations, the frequency is included in MHz			
Frequencies from 2 to 300 GHz	Maximum allowable electric field strength E(V/m)	Maximum allowable magnetic field strength H(A/m)	Magnetic flux density B(μT)	Equivalent power density of a plane wave S(W/m ²)
Occupational exposure	137	0.36	0.45	50
Exposure of the general population.	61	0.16	0.20	10



- > Temeljna ograničenja graničnih razina različito se definiraju za radnike - profesionalno osoblje i za pučanstvo.
- > Temeljna ograničenja se odnose na odrasle i zdrave osobe, a propisi su dosta stroži u koliko se radi o starcima, djeci, trudnicama i ts.
- > Veličine temeljnih ograničenja izravno su vezane uz učinak elektromagnetskih zračenja na ljudski organizama, stimulacija elektro podražavajućih stanica u živčanim i mišićnim tkivima i zagrijavanje tkiva.
- > Štetni učinak u tijelu izravno ovisi o temeljnim ograničenjima. Za temeljna ograničenja uzete su one vrijednosti elektromagnetskog zračenja koje su za deset puta manja od vrijednosti na kojima su uočeni ovi štetni utjecaju. Dakle, temeljno ograničenje je deset puta manje od početka štetnog djelovanja.



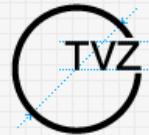
- > Međunarodne norme i preporuke definiraju dvije temeljne veličine elektromagnetskog zračenja;
- > **Temeljne ograničenja** – na veličine međudjelovanja elektromagnetske energije sa biološkim tkivima;
 - > specifična brzina apsorpcije SAR (W/kg) i
 - > gustoća struje J(A/m²).

Temeljna ograničenja za profesionalnu i opću populaciju:

Frekvencija f	SAR izloženost cijelog tijela (W/kg)		SAR izloženost glava i trup (W/kg)		SAR izloženost ruke i noge (W/kg)	
	Profes.	Pučan.	Profes.	Pučan.	Profes.	Pučan.
10MHz- 10GHz	0,4	0,08	10	2	20	4

- > Da bi došlo **do porasta tjelesne temperature za 1°C** na radio frekvencijama od 10 MHz do 10 GHz apsorbirana snaga morala bi biti 4 W/kg.
- > Radi se o **velikoj apsorbiranoj snazi elektromagnetske energije** i o graničnim vrijednostima normi koje su deset, odnosno četrdeset puta ispod navedene vrijednosti.
- > Glavni problem ovog temeljnog ograničenja apsorbirane snage i gustoće struje je **nemogućnost izravnog mjerena**
- > Zbog nemogućnosti izravnog mjerena navedenih veličina **empirijskim modeliranjem** dolazi se do izračuna za veličine snage i gustoće struje u ljudskom tijelu **preko jakosti elektromagnetskih polja** (u svakom frekvencijskom području).
- > **Jakost elektromagnetskih polja u odgovarajućem prostoru je relativno lako mjerljiva veličina.**
- > Na temelju toga međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) je preporučila **referentne razine za ograničavanja izloženosti elektromagnetskim poljima za profesionalno osoblje i za široku populaciju.**

Frekvencija od 400 MHz do 2 GHz	Jakost električnog polja E[V/m]	Jakost magnetskog polja H[A/m]	Gustoća magnetskog toka B[μT]	Ekvivalentna gustoća snage ravnog vala S[W/m²]
Profesionalna populacija	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
Opća populacija	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
Frekvencija f se uvrštava u MHz				



Podloge za donošenje pravilnika

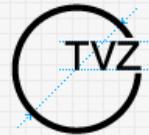
- > **Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN br.91/2010 i izmjene i dopune NN br.114/2018) propisuje :**
- > Opće odredbe
 - > Načela i mjere zaštite
 - > Zadaće Hrvatskog zavoda za zaštitu od zračenja
 - > Zadaće povjerenstva za zaštitu od zračenja
 - > Nadzor nad provedbom odredbi ovog Zakona

Ovim se Zakonom uređuje zaštita od neionizirajućeg zračenja u svrhu smanjivanja opasnosti za zdravlje osoba koje rukuju izvorima neionizirajućeg zračenja i osoba koje su izložene neionizirajućem zračenju.

Članak 2.

Pojedini pojmovi u smislu ovoga Zakona imaju sljedeće značenje:

- *neionizirajuće zračenje* jesu elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3.000.000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione,
- *elektromagnetski val* jesu titraji međusobno povezanih električnog i magnetskog polja koji se šire prostorom,
- *frekvencija* jest broj titraja u jednoj sekundi, a izražava se jedinicom herc (Hz),
- *ultrazvuk* jest zvuk čija je frekvencija viša od granice čujnosti ljudskog uha, tj. zvuk frekvencije iznad 20 kHz,
- *kavitacija* jest stvaranje pojačano oscilirajućih mjeđuhurića plina u tekućinama i tkivima unošenjem mehaničke energije vanjskim izvorima,
- *optičko zračenje* jesu elektromagnetski valovi frekvencije od 300 GHz do 3.000.000 GHz,
- *koherencija* jest svojstvo elektromagnetskog vala da između dviju točaka u prostoru i vremenu postoji odnos konstantne faze titranja,
- *koherentno elektromagnetsko zračenje* jest zračenje kod kojeg je u smjeru širenja održana koherencija na duljini većoj od 1 mm,
- *izvor neionizirajućeg zračenja* jest svaki uređaj koji proizvodi jednu ili više vrsta neionizirajućeg zračenja,



Pravilnik

> **Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/14 i 31/19) propisuje :**

- > opće uvjete
- > granične razine elektromagnetskih polja
- > temeljne zahtjeve na izvore elektromagnetskih polja
- > uvjete koje moraju ispunjavati pravne ili fizičke osobe za postavljanje i uporabu izvora EM polja
- > prva i periodička mjerjenja elektromagnetskih polja
- > način mjerjenja veličina elektromagnetskog polja

Na temelju članka 8. stavka 2. i članka 17. Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (»Narodne novine«, broj 91/10) ministar zdravlja uz prethodno pribavljeno mišljenje ministra pomorstva, prometa i infrastrukture, donosi

PRAVILNIK

O ZAŠTITI OD ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

I. OPĆE ODREDBE

Članak 1.

Ovim Pravilnikom propisuju se:

- a) granične razine elektromagnetskih polja, postupci njihovog provjeravanja i uvjeti za dobivanje ovlasti za obavljanje tih postupaka, kao i posebni zahtjevi za uređaje, postrojenja i građevine koje su izvori elektromagnetskih polja ili sadrže izvore elektromagnetskih polja;
- b) izvori elektromagnetskih polja, za koje je obvezna dozvola ministra zdravlja (u daljem tekstu: ministar);
- c) uvjeti koje moraju ispunjavati pravne ili fizičke osobe za projektiranje ili postavljanje i uporabu izvora elektromagnetskih polja;
- d) uvjeti za ishodenje ovlaštenja za obavljanje stručnih poslova zaštite od neionizirajućih zračenja, i
- f) način vođenja evidencija te dostavljanja izvješća i podataka ovlaštenih pravnih osoba.



Definicija područja

PODRUČJA POSEBNE OSJETLJIVOSTI

- > područja stambenih zona u kojima se osobe mogu zadržavati veći dio dana
- > škole, vrtići, rodilišta, bolnice, turistički objekti, te javna ili privatna igrališta za djecu (prema urbanističkom planu)
- > bilo koje površine neizgrađenih parcela namijenjene prema urbanističkom planu za navedeno

PODRUČJA PROFESIONALNE IZLOŽENOSTI

- > su područja povremenog boravka ljudi, a u kojima se pojedine osobe zadržavaju više sati dnevno, ali ne veći dio dana. Odnosi se posebno na osobe koje su profesionalno izložene zračenju na radnom mjestu, ali su obrazovane za poduzimanje zaštitnih mjera i imaju za to predviđena sredstva i naputke



- > Prema ICNIRP normama za frekvencije oko 1 GHz (GSM 890 do 960 MHz) dozvoljena snaga električnog pola za profesionalnu populaciju je 93 V/m a za opću populaciju 42 V/m. Dakle, relativno visoke vrijednosti snage električnog polja koje teško da će moći ostvariti bilo koja bazna ili mobilna postaja.
- > Granične vrijednosti koje propisuju pojedine zemlje uglavnom su strože od normi ICNIRP:

Država	Granične vrijednosti električnog polja za frekvenciju 935 MHz što odgovara baznim postajama GSM-a	
	Profesionalna izloženost	Opća populacija
ICNIRP	91,7 V/m	42,0 V/m
Austrija	109,09 V/m	49,0 V/m
Velika Britanija, Francuska, Irska, Španjolska	91,7 V/m	42,0 V/m
Švedska	60,0 V/m	42,0 V/m
Švicarska	42,0 V/m	42,0 V/m
Slovenija	41,9 V/m	13,1 V/m
Hrvatska	42,0 V/m	16,8 V/m



Granične vrijednosti jakosti polja za GSM

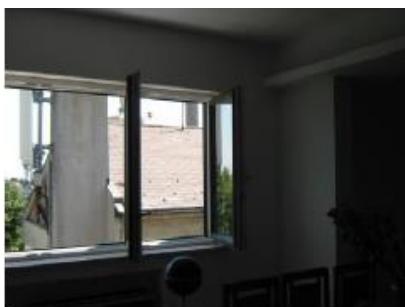
Država	Osnova	Granične razine za područje povećane osjetljivosti (GSM)
Njemačka	EU preporuke	41.25(V/m)
Mađarska	EU preporuke	41.25(V/m)
Španjolska	EU preporuke	41.25(V/m)
Švedska	EU preporuke	41.25(V/m)
Slovačka	EU preporuke	41.25(V/m)
Velika Britanija	EU preporuke	41.25(V/m)
Slovenija	EU preporuke - strožije	12.9(V/m)
Italija	EU preporuke - strožije	20 (V/m) Za više od 4 sata – 6 (V/m)
Turska	ICNIRP	10 (V/m)
Švicarska	ICNIRP	4 (V/m)
Hrvatska	EU Preporuka	16 V/m
Austrija	EU preporuke	4.5 W/m ²
		Salzburg – 1 µW/m ²
		Beč – 10 mW/m ²



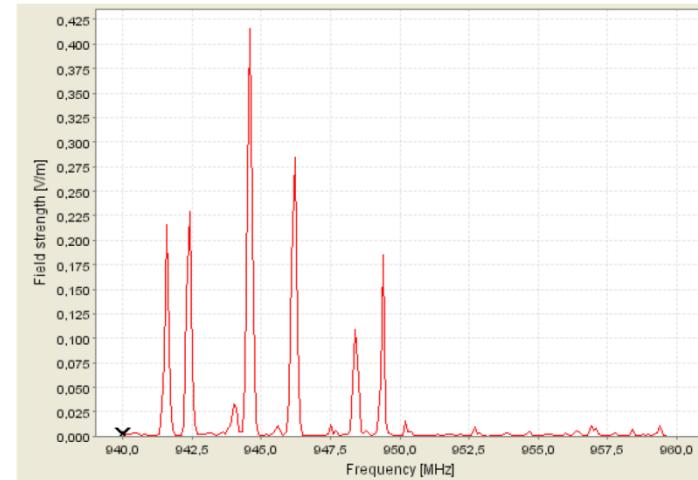
Biomedicinski učinci elektromagnetskih polja

Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja NN br. 204/03

Primjer terenskog mjerena



Područje	Izvor	Izmjerena vrijednost [V/m]	Dopuštene vrijednosti prema Normi [V/m]	Uvjeti prema prilogu 3 Pravilnika
povećana osjetljivost	GSM	6,45	16,80	0,147913 \leq 1
	UMTS	0,58	24,40	
	GSM	6,07	16,80	0,154097 \leq 1
	UMTS	3,74	24,40	
	GSM	1,75	16,80	0,023090 \leq 1
	UMTS	2,70	24,40	
	GSM	2,04	16,80	0,017023 \leq 1
	UMTS	1,18	24,40	
	GSM	0,94	16,80	0,003156 \leq 1
	UMTS	0,15	24,40	
	GSM	0,65	16,80	0,001521 \leq 1
	UMTS	0,16	24,40	



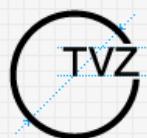


Maksimalnu količinu snage EM zračenja po kilogramu mase tijela – SAR (Specific Absorption Rate)

- > Sve norme koje se propisuju za zaštitu od elektromagnetskog ne ionizirajućeg zračenja temelje se na termalnim efektima.
- > Prema važećim normama za zaštitu tjelesna temperatura ne bi smjela prijeći povišenje za 0,10 C .
- > Međunarodni standardi za zaštitu od ne ionizirajućeg elektromagnetskog zračenja definiraju maksimalnu količinu snage EM zračenja po kilogramu mase tijela koju čovjek može primiti, to je jedinica koja se naziva SAR (SpecificAbsorptionRate) (W / kg)

Dopuštene vrijednosti za profesionalno osoblje i opću populaciju:

Frekven cija	SAR kod izloženosti cijelog tijela		SAR kod izloženosti glave i trupa (W/kg)		SAR kod izloženosti ruku i nogu (W/kg)	
10 MHz – 10 GHz	Profesionalna izloženost	Izloženost opće populacije	Profesionalna izloženost	Izloženost opće populacije	Profesionalna izloženost	Izloženost opće populacije
	0,4	0,08	10	2	20	4



SAR ograničenja prema *ICNIRP-u

- > SAR Specific Absorption Rate (W/kg)

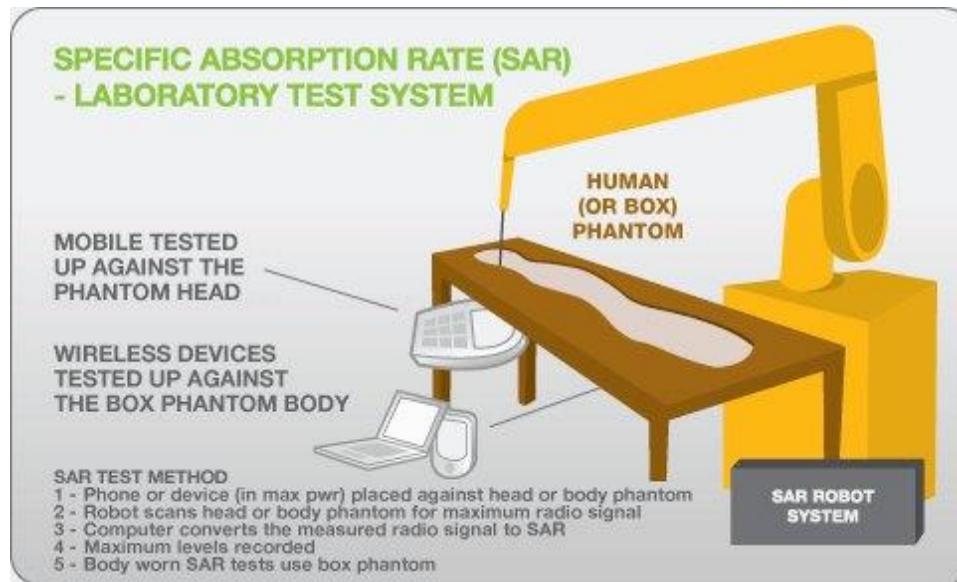
Table 4 Basic restrictions for time varying electric and magnetic fields for frequencies up to 10 GHz.

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m ⁻²)(rms)	Whole-body average SAR (W kg ⁻¹)	Localized SAR (head and trunk) (W kg ⁻¹)	Localized SAR (limbs) (W kg ⁻¹)
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	40/f	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	f/100	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
General public exposure	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	8/f	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	f/500	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

*SAM Phantom

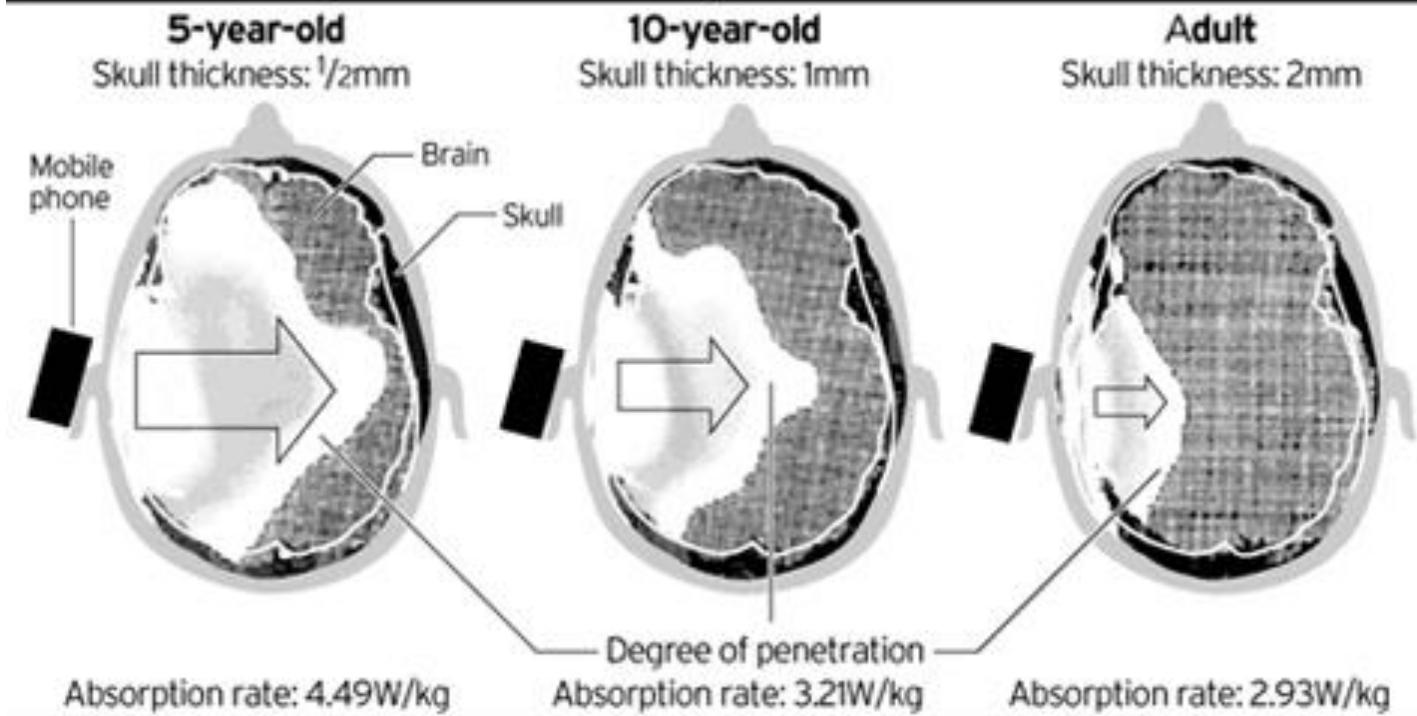
- > Koristi se za mjerjenje SAR vrijednosti
- > Prosječna veličina i oblik SAM phantoma na osnovi mjerena
10 000 ljudskih glava (starost 20- 25 godina)



* SAM = Specific Anthropomorphic Mannequin

SAR, djeca i mobiteli

How mobile phone radiation penetrates the brain



Source: Institute of Electrical and Electronic Engineers' journal on Microwave Theory and Techniques



SAR vrijednosti za neke popularne smartphone

Cell Phone Manufacturer and Model	SAR US Rating(1.6W/kg)	SAR EU Rating (2.0W/Kg)
HTC 7 Mozart	0.74	
HTC 5800	1.49	
HTC 6800	1.49	
HTC 8125	0.79	
HTC 8900	1.47	
HTC Aria		0.95
HTC Arrive	0.971	
HTC Cha Cha		1.21
HTC Desire	1.48	1.12
HTC Desire C		0.75
HTC Desire HD	0.84	
HTC Desire S		0.853
HTC Desire Z	1.48	
HTC Dream 100 (Google G1)	1.11	0.691

Cell Phone Manufacturer and Model	SAR US Rating(1.6W/kg)	SAR EU Rating (2.0W/Kg)
Apple iPhone	0.974	
Apple iPhone 3G	1.388	0.878
Apple iPhone 3GS	1.19	1.1
Apple iPhone 4	1.17	0.93
Apple iPhone 4S	1.18	0.989
Apple iPhone 5	1.25	0.951
Cell Phone Manufacturer and Model	SAR US Rating(1.6W/kg)	SAR EU Rating (2.0W/Kg)
Samsung GT-i9000 Galaxy S Vibrant	0.422	0.238
Samsung GT-i9001 Galaxy S Plus	0.94	0.346
Samsung GT-i9003 Galaxy SL		0.31
Samsung GT-i9100 Galaxy S II	0.96	0.338
Samsung GT-i9210 Galaxy Note	0.66	0.405
Samsung GT-i9250 Galaxy Nexus	0.303	0.75
Samsung GT-i9300 Galaxy S III	1.584	0.342



SAR vrijednosti za top 20

Top 20 Highest Radiation Cell Phones
(maximum possible SAR level from phone)

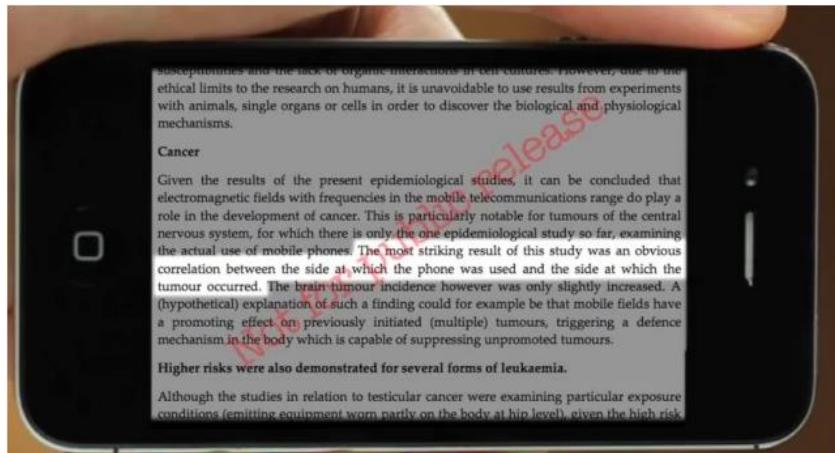
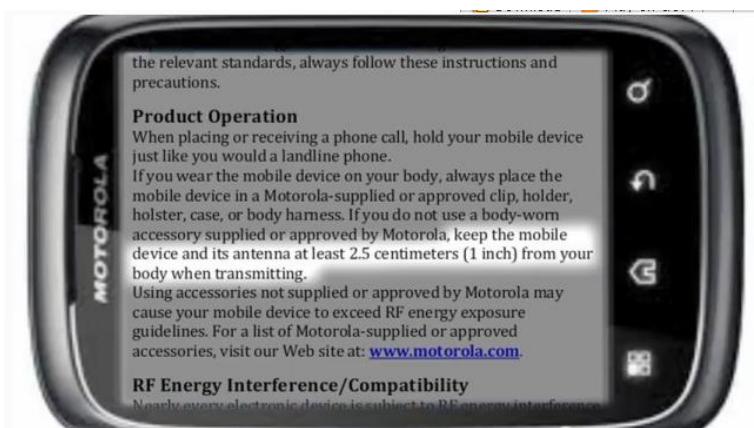
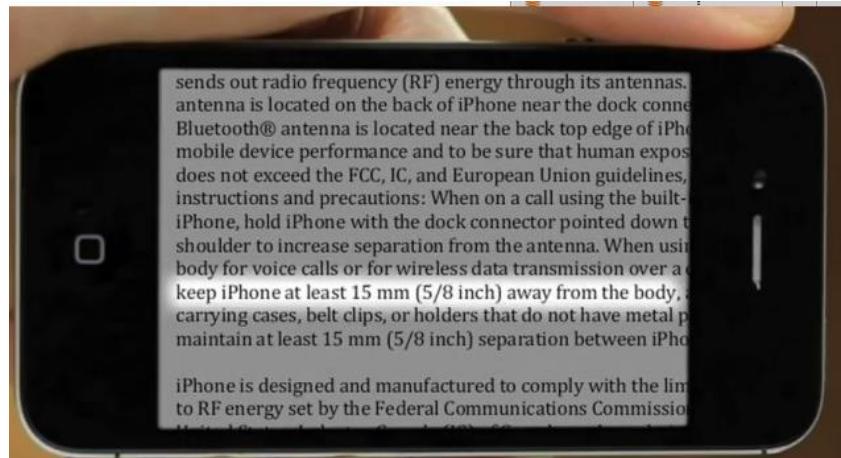
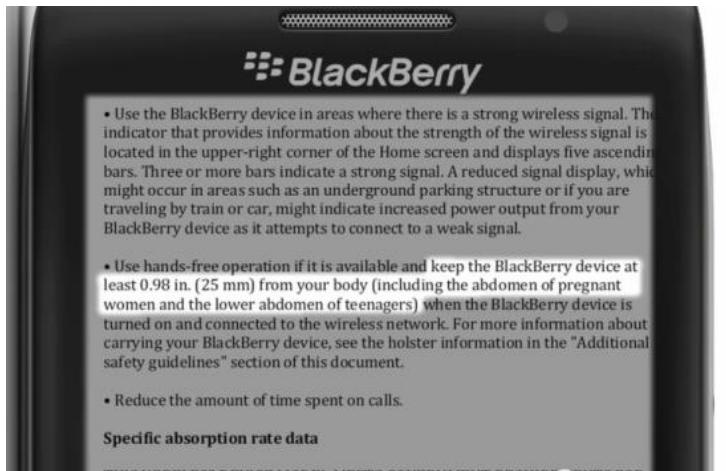
	Cell phone brand and type	SAR level
1.	RIM Blackberry Curve 9310	1.58
2.	Motorola Razr HD	1.56
2a.	Motorola Droid Razr Maxx HD	1.56
4.	Nokia Astound	1.53
5.	RIM Blackberry Curve 9350	1.5
6.	Nokia Lumia 900	1.49
7.	Motorola Defy XT	1.48
7a.	HTC Trophy	1.48
9.	Motorola Atrix 4G	1.47
9a.	RIM BlackBerry Curve 9360	1.47
11.	ZTE Score M	1.45
11a.	ZTE Score	1.45
11b.	Motorola Droid Razr	1.45
11c.	Motorola Droid Razr Maxx	1.45
15.	RIM BlackBerry Torch 9810	1.44
16.	Samsung Rugby Pro	1.42
17.	ZTE T-Mobile Concord	1.38
17a.	RIM BlackBerry Bold 9930	1.38
19.	Motorola Atrix HD	1.34
20.	Motorola Droid Razr M	1.3

Top 20 Lowest Radiation Cell Phones
(maximum possible SAR level from phone)

	Cell phone brand and type	SAR level
1.	Samsung Galaxy Note (T-Mobile)	0.19
2.	Samsung Galaxy Note (Unlocked)	0.27
3.	Samsung Galaxy S II Skyrocket	0.3
4.	Kyocera DuraXT	0.328
5.	Huawei Impulse 4G	0.34
6.	Samsung Focus Flash	0.35
6a.	Samsung Galaxy II	0.35
8.	Samsung Galaxy Beam	0.36
8a.	Samsung Galaxy S II	0.36
10.	Pantech Swift	0.386
11.	Samsung Jitterbug Plus	0.4
11a.	Samsung Epic 4G Touch	0.4
11b.	Jitterbug Plus	0.4
14.	Kyocera DuraMax	0.41
14a.	Samsung Gusto 2	0.41
16.	Samsung Galaxy Appeal	0.42
16a.	LG Enlighten	0.42
18.	HTC One V	0.455
19.	LG Optimus Vu	0.462
20.	Samsung Galaxy S Relay 4G	0.47



Ukoliko znate da nije štetno, zašto...





Gušenje otvorenog prostora

- > gušenje otvorenog prostora između dviju antena u otvorenom prostoru opisano je Friisovom jednadžbom:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_a G_b \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

- > ukupno gušenja (path loss) definirano je omjerom između odaslane i primljene snage:

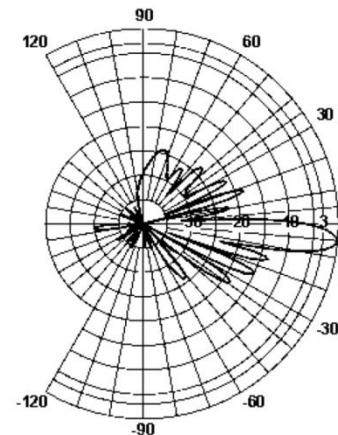
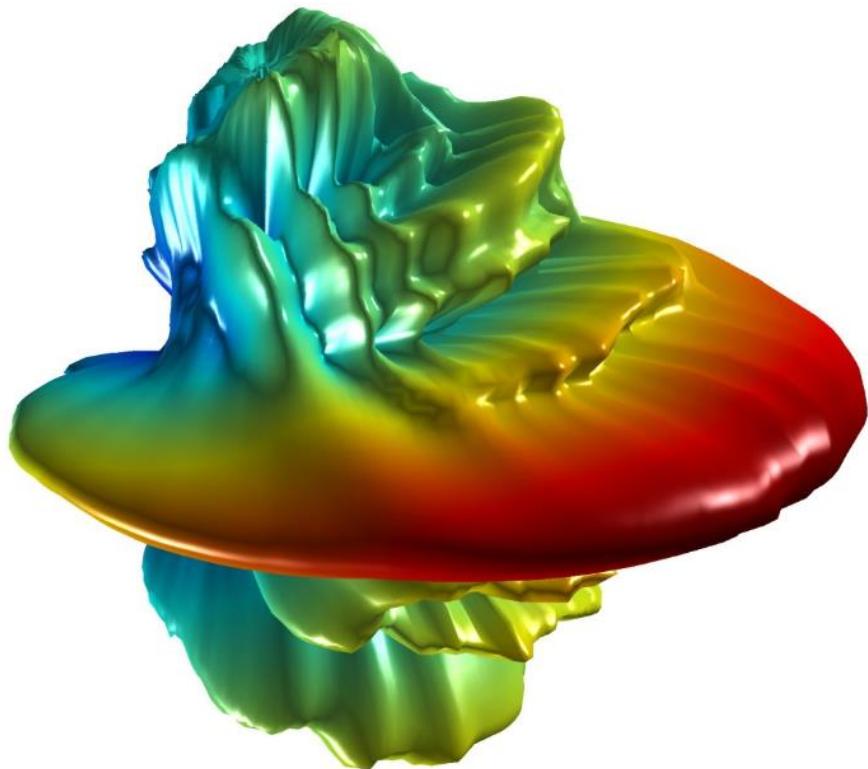
$$L_F = \frac{P_t G_a G_b}{P_r} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi r f}{c} \right)^2$$

- > ukupno gušenje puta u dB:

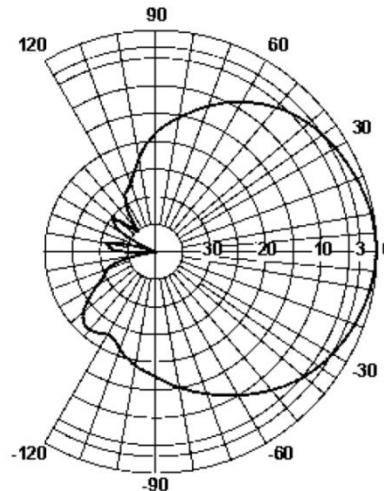
Raste s kvadratom frekvencije!

$$L_{F(dB)} = 32.4 + 20 \log R_{km} + \boxed{20 \log f_{MHz}}$$

Parametri antena: DIJAGRAM ZRAČENJA



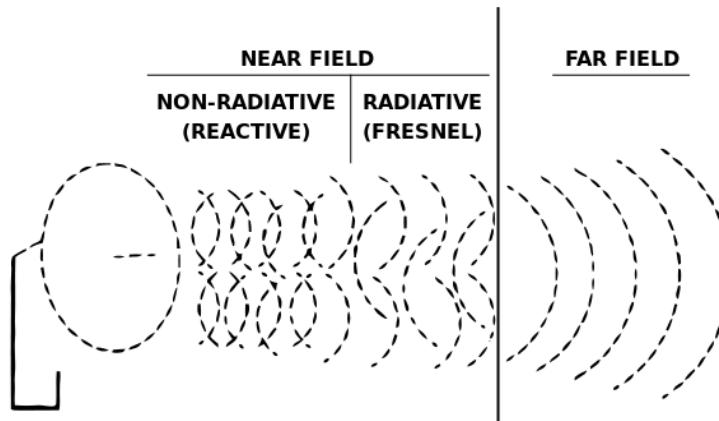
Vertikalni dijagram zračenja



horizontalni dijagram zračenja

Bliska (near-field) i daleka zona (far- field)

- > The **near field** (or near-field) and **far field** (or far-field) and the **transition zone** are regions of time varying electromagnetic field around any object that serves as a source for the field.
- > The different terms for these regions describe the way characteristics of an electromagnetic (EM) field change with distance from the charges and currents in the object that are the sources of the changing EM field. The more distant parts of the far-field are identified with classical electromagnetic radiation.
- > The basic reason an EM field changes in character with distance from its source is that **Maxwell's equations prescribe different behaviors for each of the two source-terms of electric fields** and also the two source-terms for magnetic fields. Electric fields produced by charge distributions have a different character than those produced by changing magnetic fields. Similarly, Maxwell's equations show a differing behavior for the magnetic fields produced by electric currents, versus magnetic fields produced by changing electric fields. For these reasons, in the region very close to currents and charge-separations, the EM field is dominated by electric and magnetic components produced directly by currents and charge-separations, and these effects together produce the EM "near field." However, at distances far from charge-separations and currents, the EM field becomes dominated by the electric and magnetic fields indirectly produced by the change in the other type of field, and thus the EM field is no longer affected (or much affected) by the charges and currents at the EM source. This more distant part of the EM field is the "radiative" field or "far-field," and it is the familiar type of electromagnetic radiation seen in "free space," far from any EM field sources (origins).



Daleka ili Fraunhoferova zona

- > Zona dalekog zračenja, ili Fraunhofer-ova zona, određena je Fraunhofer-ovim rastojanjem
- > Ovaj parametar zavisi od najveće linearne dimenzije predajne antene D i valne duljine λ

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}, d_f \gg D, d_f \gg \lambda$$

> Za $d < d_f$ ne važi Friis-ova formula!

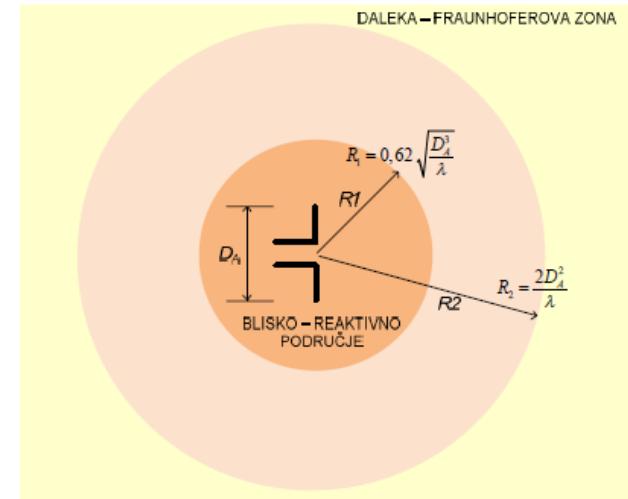
> Primjer:

Za GSM 900, $\lambda=33\text{cm}$

D=2m

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 2^2}{0.33} = 24,24 \text{ m (R2)}$$

$$dr = 0.62 \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}} = 2,15 \text{ m (R1)}$$



A što je sa



?

povećane količine zračenja?

veća opasnost po ljudsko zdravlje?

Za Europu se očekuje da će 5G sustav raditi u frekvencijskim opsezima:

- > Frekvencijski opseg oko 700 MHz
- > Frekvencijski raspon oko 3,5 GHz
- > Frekvencijski raspon iznad 26 GHz

Frekvencijsko područje namijenjeno za 5G mobilne sustave	700 MHz 694 – 791 MHz	3,4 MHz i 3,6 MHz	-3,6 -3,8	➤ 26 GHz
Što danas radi u tim frekvencijskim opsezima?	DVBT1	WiMAX RR HEP	RR Policajski radari od 24,050 MHz do 24,250 MHz za K-opseg i od 33.400 MHz do 36,000 MHz za Ka opseg.	

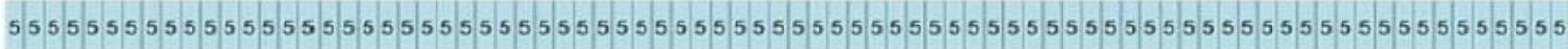


- > Rad mobilnih komunikacijskih sustava 5G predviđen je među ostalim i u 700 MHz području. Međutim, u ovom **području u diljem Europe radi emitiranje signala digitalne televizije DVBT1**. Oslobađanje ovog područja i njegova prenamjena za mobilne komunikacijske sustave uvjetovana je prelaskom na emitiranje **digitalnih televizijskih programa po standardu DVBT2**.
- > Područje frekvencija oko 700 MHZ povoljno je za mobilne komunikacijske sustave jer je dobar ogib elektromagnetskih valova. Navedeno omogućava dostatnu razinu signala u područjima „sjene“.
- > Područje frekvencija oko 700 MHz danas se koristi za emitiranje digitalnih televizijskih signala, a prosječna snaga DVBT1 odašiljača varira od 250W do 2KW. Nakon što dođe do prenamjene RF područja izlazna snaga 5G baznih stanica bit će maksimalno oko 23 dBm, što odgovara 0,2 W. Razina emitirane snage smanjit će se za 1250puta u odnosu na DVBT odašiljače.
- > Prijemna snaga u mobilnoj telefoniji kreće se od -50 dBm(10 nW) do -68 dBm(0,15 nW). (1 nW milijarditi dio 1 W.)
- > **Kad se DVBT-1 napusti i prebaci na 5G, na 700 MHz zagađenje elektromagnetskim valovima bit će manje nego što je trenutno.**



Karakteristike RF spektra u pojasu od 3,4 – 3,8 MHz

- > Trenutačno se većina testnih emitiranja za 5G sustave u RH odvija na frekvencijama oko 3,5 GHz.
- > U ovom frekvencijskom području danas u Republici Hrvatskoj u dvije Županje rade WiMAX sustavi (sustavi za fiksni bežični pristup širokopojasnoj mreži, standardi IEEE 802.16).
- > Također ovo područje frekvencija danas se koristi i za usmjerene radijske veze (poglavito kada se radi o većim udaljenostima).
- > Kada govorimo o prenamjeni ovog područja za 5G sustave, onda je važno napomenuti da se u ovom RF području predviđa rad u vremenskom dupleksu TDD (Time Division Duplex), i to rad s radijskim kanalima širine 5 MHz.
- > TDD način rada omogućava manipuliranje sa količinom informacijskog volumena za silazni i uzlazni smjer.
- > Ovaj način rada zbog kašnjenja prostiranja ne dozvoljava područje pokrivanja koje je veliko (najviše do nekoliko 100 m promjera ćelije -sustav mikroćelija).
- > Malo područje pokrivanja zahtijeva maksimalnu izlaznu snagu **od 12 do 8 dBm(16 -6,3 mW)**.
- > Na frekvencijama od 3,4 do 3,8 GHz postoji signal u sjeni ,ali nije tako snažan kao na nižim frekvencijama što za mobilni pristup može predstavljati značajniji problem ako je ćelija relativno velika.
- > **Dakle u našem okruženju već postoje EMV iz ovog dijela RF spektra, a prenamjenom neće doći do povećanja izlazne snage kod 5G baznih postaja u odnosu na danas postojeće sustave, već suprotno na blago smanjenje izlaznih snaga.**



3400

3800

- > •Područje od 26 pa na više GHz danas se u radio komunikacijama koristi isključivo za sustave usmjerenih radijskih veza na kraćim udaljenostima od svega nekoliko kilometara.
- > •Ovo frekvencijsko područje osim slabljenja uslijed prostiranja elektromagnetskih valova izloženo je i slabljenu koje je uvjetovano interakcijom čestica u atmosferi sa EMV
- > •Na frekvencijama od 24 GHz predajna antena i prijemna antena **moraju ostvariti izravnu optičku vidljivost**.
- > •Međutim, danas policijski radari za kontrolu prometa među ostalim koriste i frekvencije oko 26 GHz.
- > •Signali koje emitiraju policijski radari unutar su frekvencijskih opsega:
 - > •od 10.500 MHz do 10.550 MHz za X opseg,
 - > •**od 24.050 MHz do 24.250 MHz za K-opseg i**
 - > •od 33.400 MHz do 36.000 MHz za Ka opseg.
 - > •Tolerancija frekvencije za X opseg je ± 25 MHz,
a za K i Ka opsege ± 100 MHz.



- > Policijski radari koriste se za mjerjenje brzine vozila na udaljenostima do 300 m, radi toga nemaju visoke izlazne snage kao radari namijenjeni za dublje promatranje prostora.
- > **Njihova izlazna snaga iznosi nekoliko Wata što u dBm iznosi od 30 dBm do maksimalno 38 dBm (1 W - 6,3 W)**
- > Ako bi se frekvencije oko 26 GHz koristile za mobilno komuniciranje, tada bi ćelija bila ograničena na vrlo mali prostor od svega **nekoliko desetaka metara**, u okviru jedne prostorije ili otvorenog prostora bez prepreka.
- > **U takovom slučaju izlazne snage bi se kretale u redu od nekoliko mW (od 0 do 8 dBm tj. 1mW do 6,3 mW)**
- > **U svim područjima radijskih frekvencija koje su predviđene za rad 5G sustava ili u području bliskih frekvencija, već danas postoje elektronički uređaji koji u svom radu koriste EMV sa većim ili bliskim razinama snaga koje će se koristiti u radio komunikaciji 5G sustava.**
- > **Zaključak: ne možemo govoriti o povećanju zagađenja EMV u našem okolišu koje će uslijediti zbog korištenja 5G tehnologija mobilnih komunikacijskih uređaja.**



- > Ljudsko tijelo je sustav dinamičke ravnoteže i čovjek može podnijeti utjecaj elektromagnetsko zračenje iz domena radijskih frekvencija, a da se to ne odrazi negativno na njegovo zdravlje.
- > Koja je to količina kada je u pitanju elektromagnetsko zračenje može se i određuje se za opću populaciju temeljem znanstvenih istraživanja.
- > Ono što vrijedi za prosjek ne vrijedi za svakog pojedinca. Naročito je osjetljiva mlada populacija, te starci, trudnice i ljudi sa implatantima.
- > Prostor oko nas je ispunjen elektromagnetskim zračenjima od različitih izvora i te su razine više od onih koje bi bile prisutne kada ljudske civilizacije ne bi bilo.
- > To nije naš prirodni okoliš na koji je evolucijski ljudski organizam adaptiran.
- > Normama, propisima, pravilima, zakonima, nastoji se sve štetne produkte civilizacije u našem okolišu držati ispod one razine koja bi ugrozila ljudsko zdravlje.

- > Mobilne komunikacije daleko su više doprinijele ukupnom civilizacijskom razvoju nego što bi bila potencijalna štetnost od elektromagnetskih zračenja.
- > U našem životu zasigurno su veći rizici i veći utjecaj na potencijalno skraćenje životne dobi od, nezdravih navika, nezdrave hrane, zagađene atmosfere, globalno zagrijavanja i sve što ono nosi, saobraćaja i sl, nego od elektromagnetskih polja radijskih frekvencija emitiranih iz baznih postaja mobilnih komunikacijskih sustava i/ili radiodifuzijskih i TV difuzijskih postaja.
- > Međutim, kada se **govori o radarskim sustavima kojima smo također svakodnevno izloženi onda moramo kazati da je izlazna snaga impulsnih radarskih sustava od 1KW do 100 KW, ponekad i 2MW**, ovisno o namjeni radara. Profesionalnom osoblju koje radi na radarskim sustavima propisuje se da ne ulaze u glavni snop zračenja na **udaljenosti manjoj od 30 m**, a za opću populaciju taj sigurnosni razmak **je i 90 m**.
- > U mnogim morskim i riječnim lukama radari se koriste radi kontrole i nadzora prometa, radari su prisutni na aerodromima, radare s kontinuiranim zračenjem koristi policija (26 GHz) radi mjerjenja brzine prometa, navigacijski radari se koriste na putničkim brodova.

- > Danas na planetu živi **oko šest milijardi ljudi**. Našom civilizacijom stvaramo čitav niz štetnih utjecaja na naš okoliš i na nas same. **Mogli bi se odreći svega, industrije, tekstila, saobraćaja, gradnje i dalje, jer sve to stvara štetne utjecaje na nas i naše zdravlje.**
- > **Dakle, možemo se odreći svih tekovina civilizacije, ali tada nas na planetu ne bi živjelo niti milion jedinki.**
- >
- > U suvremenom društvu kojeg volimo zvati informatičkim, mobilne komunikacije imaju značajnu ulogu, negativan utjecaj na ljudsko zdravlje elektromagnetskih **zračenja od mobilnih komunikacijskih sustava postoji, ali je minoran u odnosu na druge izvore zračenja iz našeg okoliša i općenito na druge štetne utjecaje kojima smo izloženi.**
- >
- > **Mobilne komunikacije mogu imati i imaju druge štetne učinke na ljudsko zdravlje koji su sasvim izvan tehnologije i elektromagnetskih polja, a to su socio-psihološke posljedice ovisnosti o mobilnim komunikacijskim sustavima kod ljudi**, a te posljedice ne samo da se nastoje izbjegći nego se od operatera i potiču kako bi u povećanoj potrošnji mobilnih usluga bio ostvaren veći i značajniji profit na sustavima.

Standardizacijska tijela



International Telecommunication Union

Osnovana: 17.05.1865. sjedište – Geneve, Švicarska

ITU-R (Radiocommunication Sector of ITU)



European Telecommunications Standards Institute

Osnovan: 1988.g. sjedište – Sophia Antipolis, Francuska



The 3rd Generation Partnership Project is an umbrella term for a number of standards organizations which develop protocols for mobile telecommunications.

Osnovan: 1998.g.



ITU je definirao standardom IMT-2020 specifikacije koje 5G mreže moraju zadovoljavati u svom radu i primjeni.



- Maksimalna brzina prijenosa podataka: 10 – 20 Gbit/s
- Vršna spektralna učinkovitost: 10 – 30 bit/s/Hz
- Korisnička brzina prijenosa podataka: 50 – 100 Mbit/s
- Kašnjenje manje od 1 ms
- Gustoća veze: 1,000,000 uređaja po km²
- Raspoloživost mreže 99,999%
- Gotovo 100% pokrivenost
- Trajanje baterije IoT uređaja do 10 godina.



IMT-2000



A GLOBAL INITIATIVE

UMTS (FDD & TDD),
HSPA (Rel-99 onwards)

LTE (Rel-8 onwards)

IMT-Advanced

LTE (Rel-10 onwards)

IMT-2020

5G NR & LTE (Rel-15 onwards)





Zahtjevi:

- Maksimalna brzina prijenosa podataka: 10 – 20 Gbit/s
- Vršna spektralna učinkovitost: 10 – 30 bit/s/Hz
- Korisnička brzina prijenosa podataka: 50 – 100 Mbit/s
- Kašnjenje manje od 1 ms
- Gustoća veze: 1,000,000 uređaja po km²
- Raspoloživost mreže 99,999%
- Gotovo 100% pokrivenost
- Trajanje baterije IoT uređaja do 10 godina.





Značajke:

Smanjena disipacija snage (radi beforminga, fokusiranje EM energije na UE, ne broadcast EMV kao prethodne (legacy) tehnologije, manja ozračenost živih bića i energetska učinkovitost).

Spektralna efikasnost – veća širina kanala BW, moguće progurati više korisničkih podataka kroz kanal.

Skalabilnost, nadogradivost, proširivost – kapacitet sustava lako se prilagođava ovisno o potrebi.

Network slicing - više logičkih ili virtualnih mreža različitih operatora na jednoj zajedničkoj fizičkoj infrastrukturi... financije uštede, manji OPEX (pogonski troškovi i održavanja uređaja). .

CP i UP – Control Plane i User Plane (singlizacija i korisnički podaci su razdvojeni, entiteti u mreži ih obrađuju odovjeno, to utječe na odziv (kašnjenje), povećava kapacitet mreže i brže pridružuje UE na mrežu.





Značajke:

Nove mrežne funkcije u Core mreži – povećan broj kontrolnih funkcija (entiteta).

5G Core entitet trebao bi se nalaziti u svim većim gradovima u državi plus neki manji gradovi. Na otprilike svakih 50ak km kako bi latencija bila što manja.

5G Cloud Core radi network slicinga, fizičke sigurnosti i izolacije od hakerskih napada, jedna jezgra za fiksne i mobilne usluge (OPEX i CAPEX efficiency).

5G je IP only, sve će se svoditi na HTTP/HTTPS – web baziran protokol, to su znači IP paketi, na nižem sloju etherent frameovi. Packet switching, za razliku od starijih generacija koji su bili i circuit switching (GSM, UMTS).

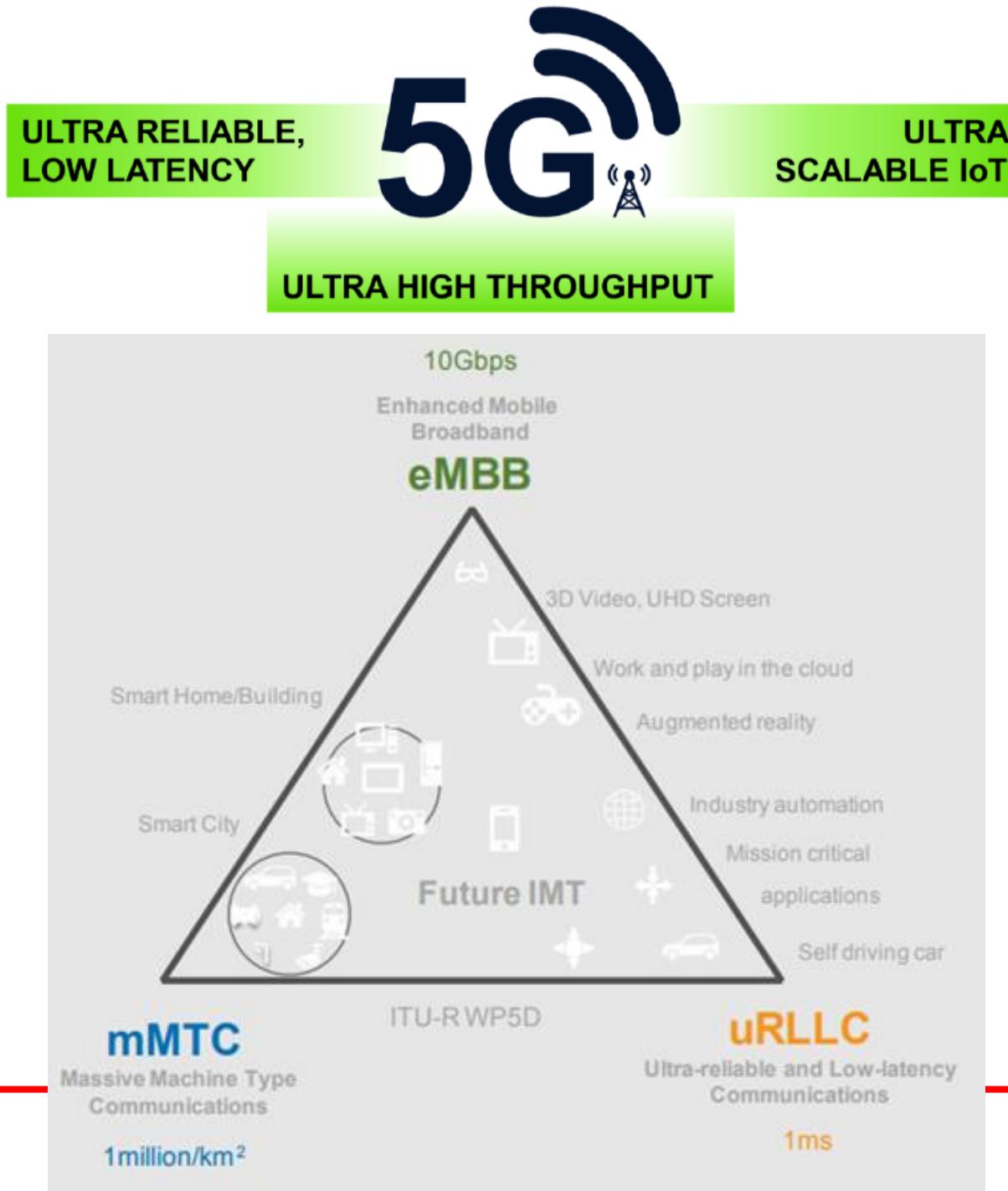
Ponuda novih **IoT usluga** krajnjim korisnicima – tu je glavni fokus operatora jer im u tome leže prihodi, lansirati na tržište nešto novo do sada neviđeno.

Massive IoT – pametni mjerni uređaji (npr. vodomjeri, vlagomjeri), logistika, pametne kuće/zgrade. Niska latencija nije toliko bitna.

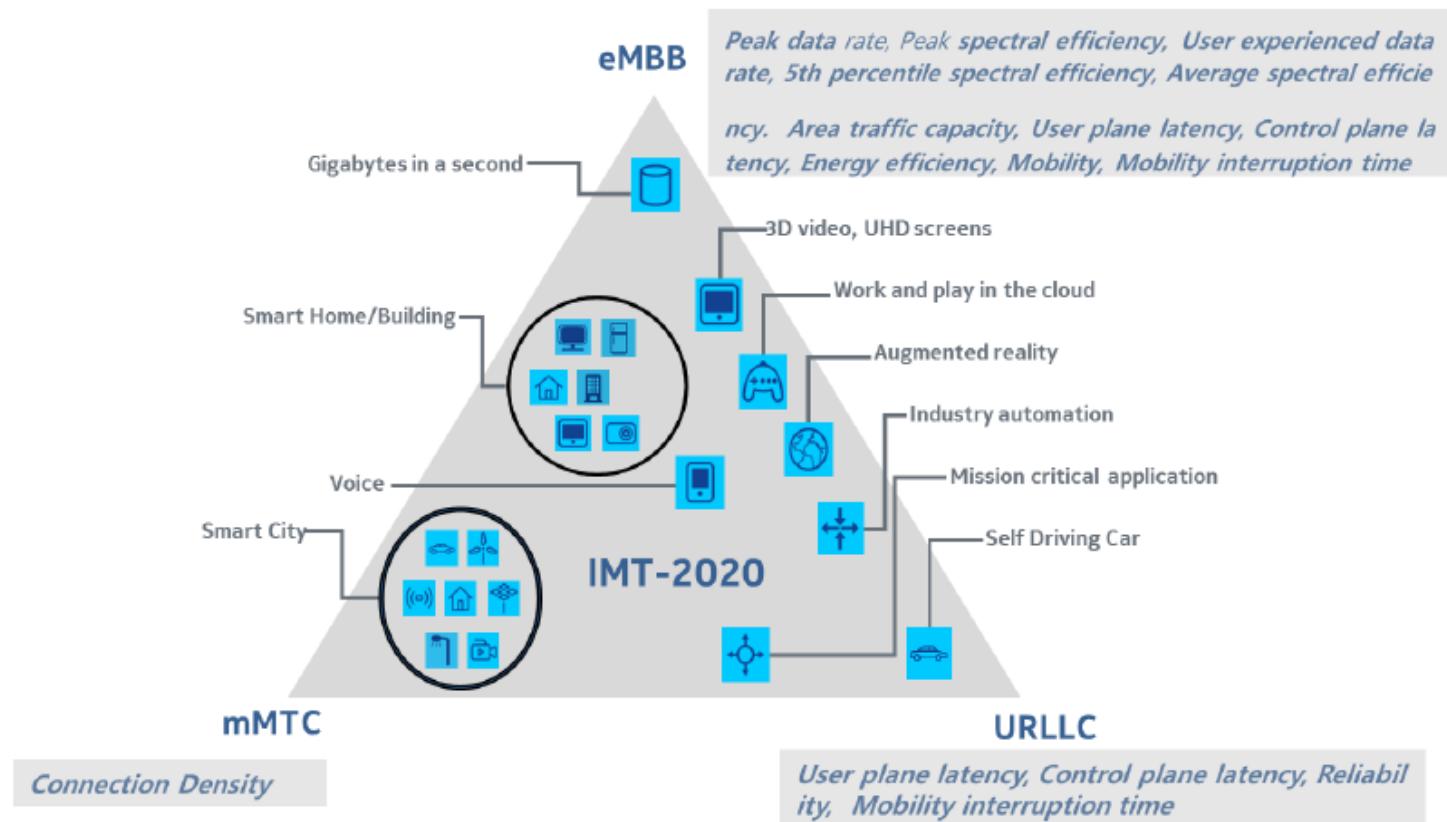
Critical IoT – autonomna vožnja (network aware car u budućnosti - use case gdje će svaki uređaj međusobno komunicirati s drugim u prometnoj infrastrukturi), remote health care, razne primjene u industriji. Niska latencija je krucijalna !!!!!

Očekuje se da 5G potakne razvoj **Industry 4.0**. tj. nova industrijska revolucija zbog razvoja 5G mreža!





Usage scenarios of IMT for 2020 and the key performance requirements

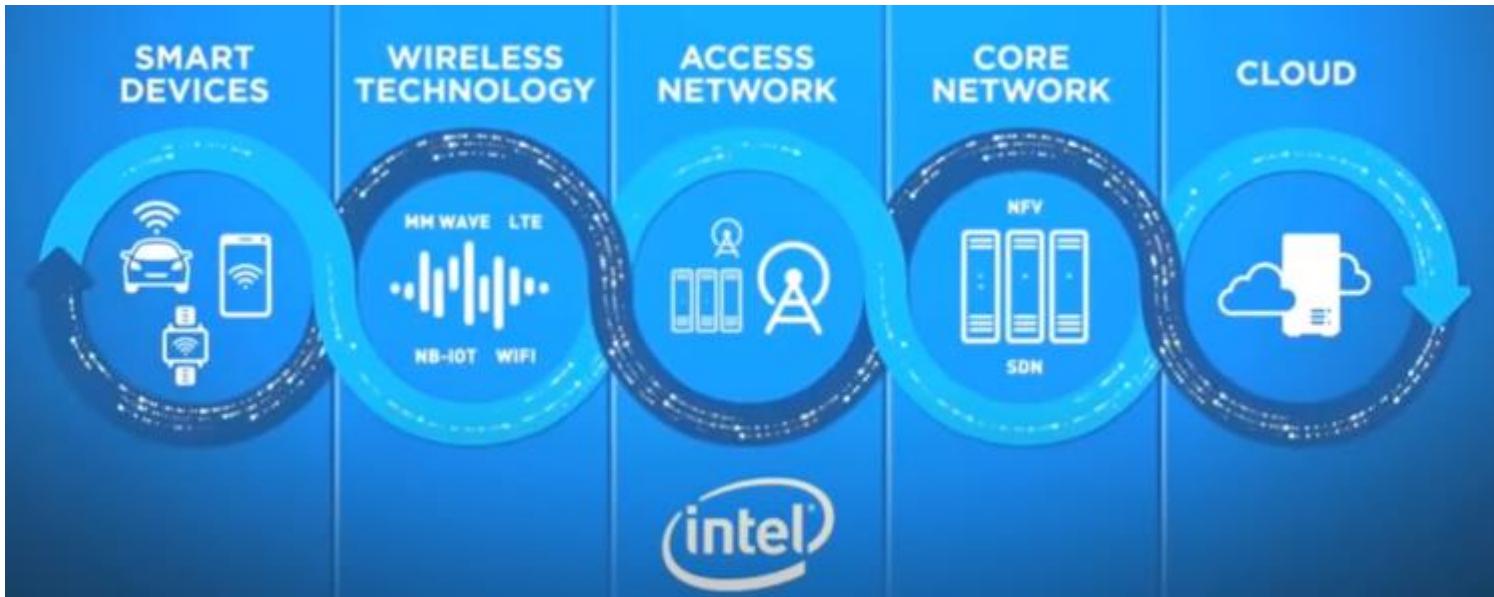


Bandwidth is the capability of the RIT/SRIT, hence it is a generic requirements and applicable to the IMT-2020 system

© Nokia 2016

NOKIA

Intel-ova definicija 5G sustava



PAMETNI
KORISNIČKI
UREĐAJI
Smartphones,
Smartwatches,
Autonomous cars

BEŽIČNE
TEHNOLOGIJE
LTE, prijenos u
mm području,
NB-IoT (Narrow
band IoT, WiFi)

PRISTUPNE MREŽE

JEZGRA MREŽA
NFV (Network
Function
Virtualization)
SDN (Software
Defined Network)

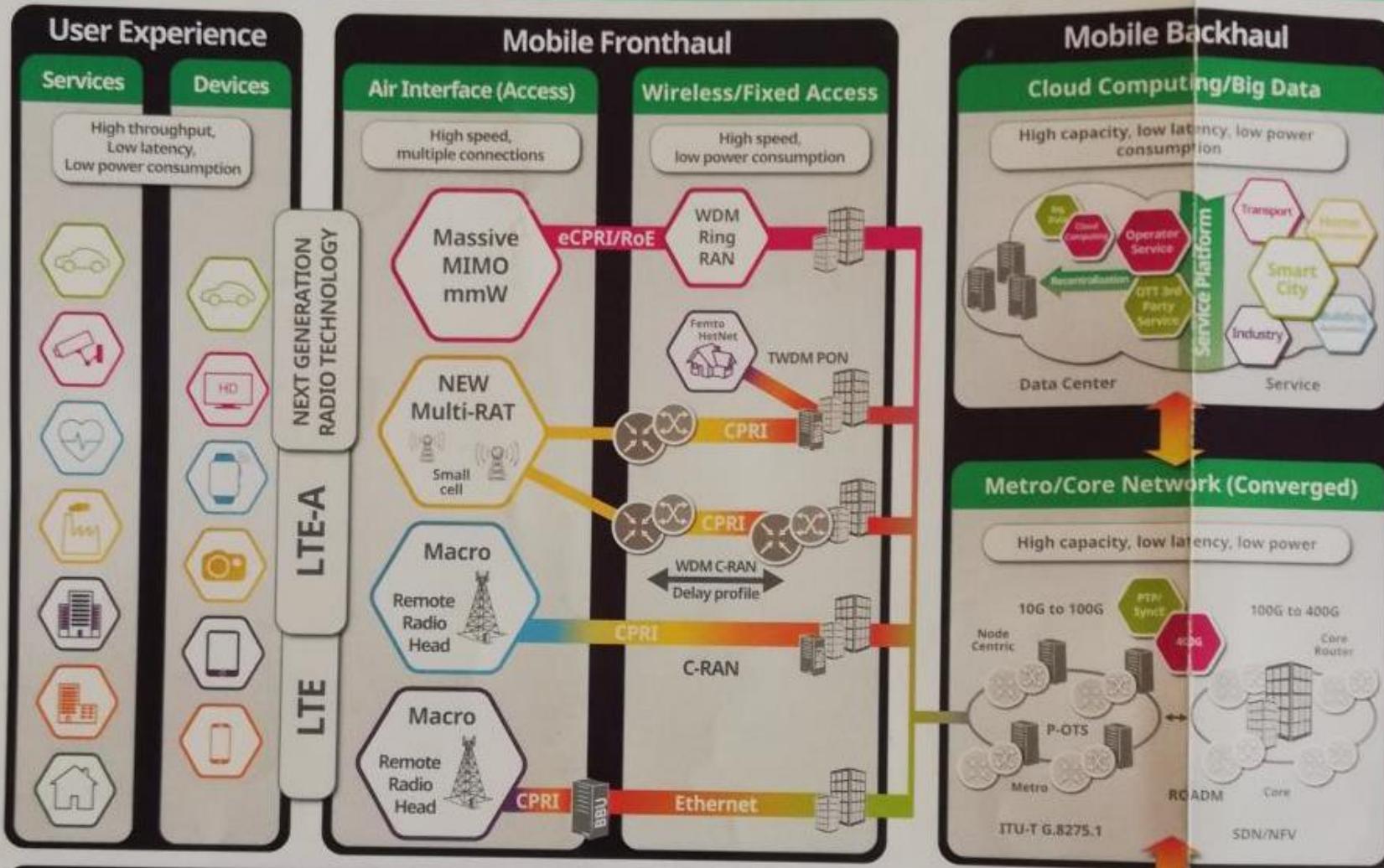
KOMUNIKACIJE
U OBLAKU



Anritsu poster: Key Technical Aspects of 5G-NR

TV7

5G World...



Flexible Network Design

APIs

APIs

APIs

APIs

Failure Monitoring

QoS/SLA

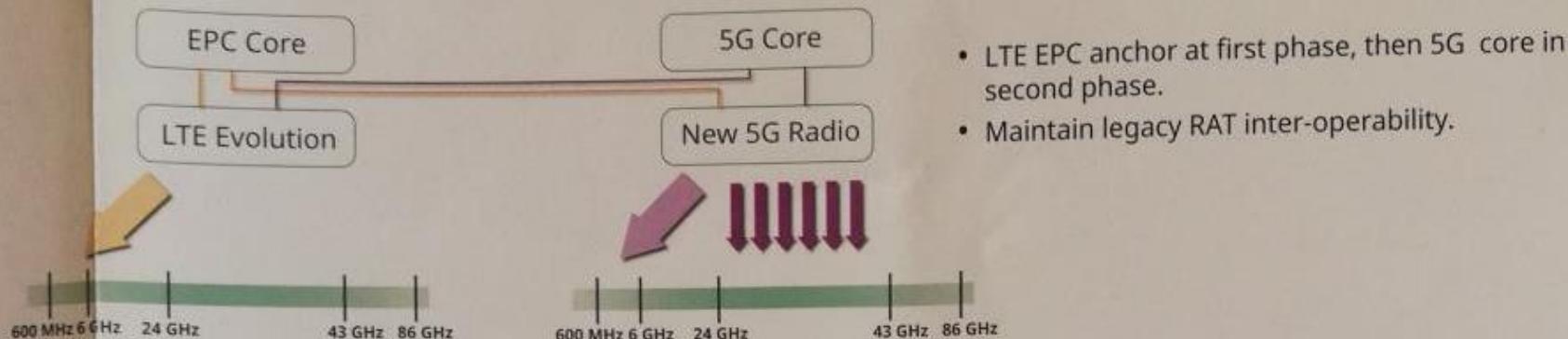
Traffic Estimation

Network Function Virtualization Management Control

Network Monitoring

5G Deployment Strategy

Compatibility with existing EPC core, then new 5G core optimized for new use cases



5G Network Architecture

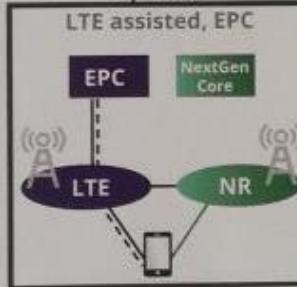
Option 3/3a/3x will be adopted for NSA-NR

Option	SA/NSA	Structures			3GPP Schedule	Official Terminology
		Core Network	CP/UP	Additional UP		
Option 1	SA	EPC(LTE)	LTE	---	Support	E-UTRA
Option 2	SA	5G-CN(NR)	NR	---	Jun'18	TBD
Option 3/3a/3x	NSA	EPC(LTE)	LTE	NR	Dec'18	EN-DC (E-UTRA-NR Dual Connectivity)
Option 4/4a	NSA	5G-CN(NR)	NR	LTE	Jun'18	TBD
Option 5	SA	5G-CN(NR)	LTE	---	TBD	TBD
Option 6	SA	EPC(LTE)	NR	---	TBD	TBD
Option 7/7a	NSA	5G-CN(NR)	LTE	NR	Jun'18	TBD
Option 8/8a	NSA	EPC(LTE)	NR	LTE	TBD	TBD

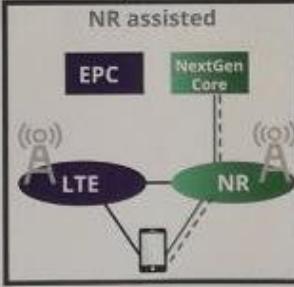
Option 2



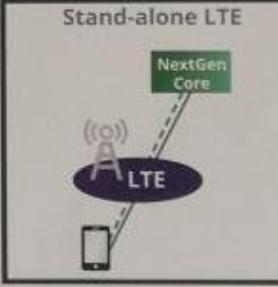
Option 3



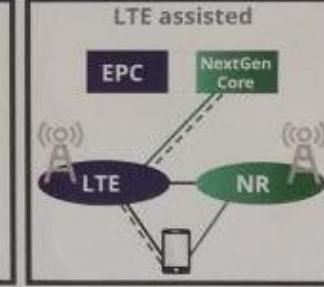
Option 4



Option 5



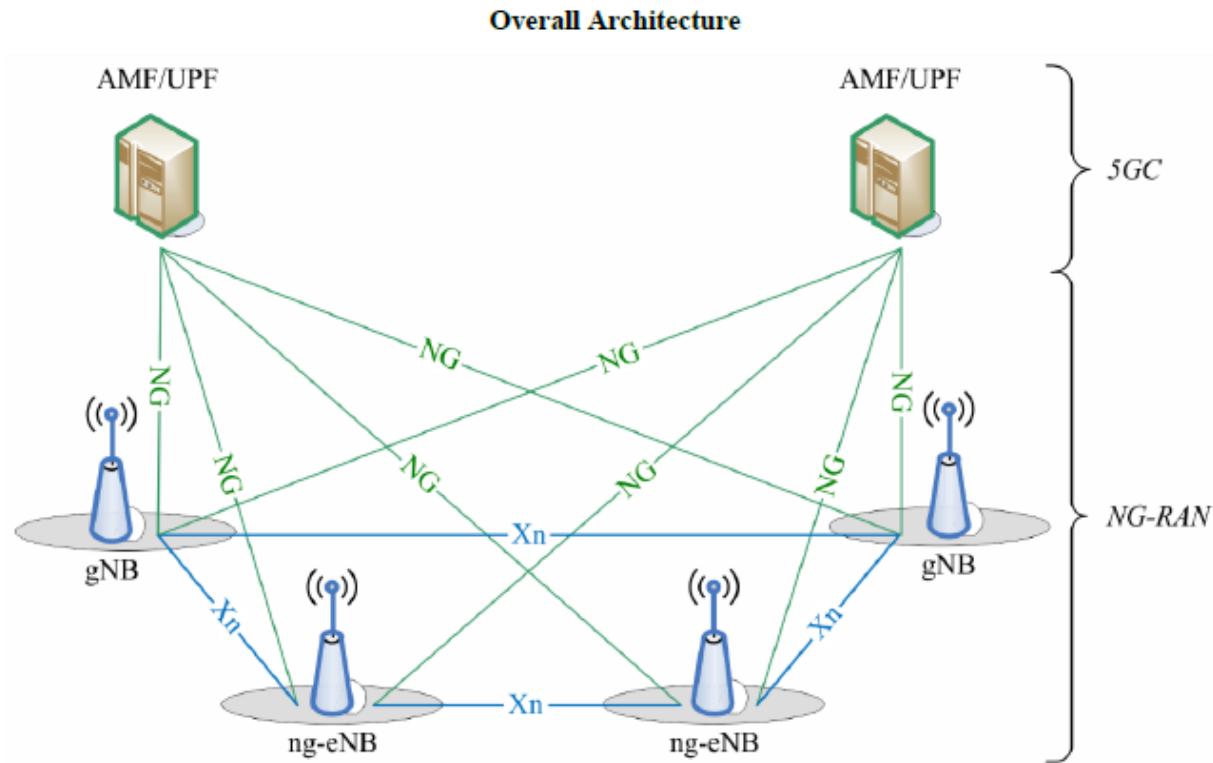
Option 5



Overall Access Architecture

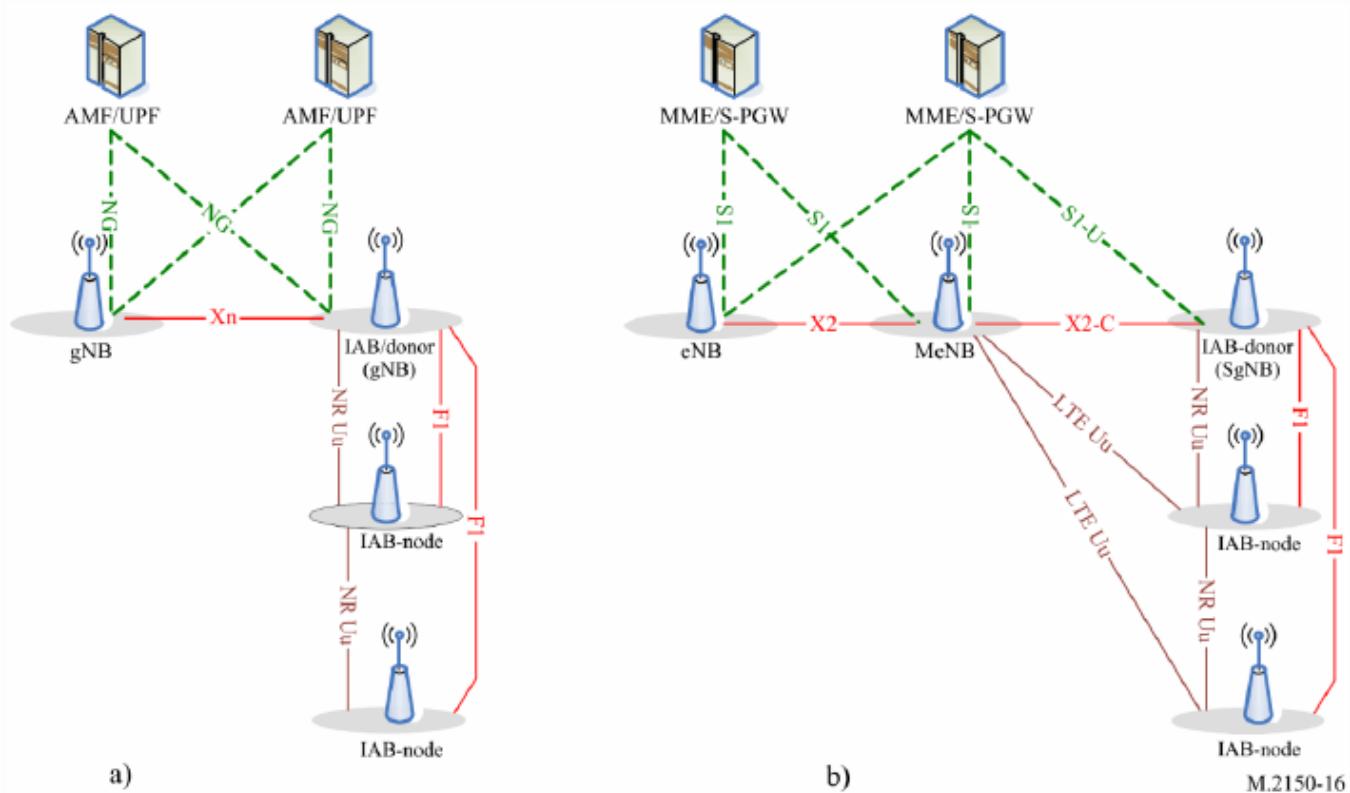
An NG-RAN node, is either:

- A gNB, providing NR user plane and control plane protocol terminations towards the UE;
- or
- An ng-eNB, providing E-UTRA user plane and control plane protocol terminations towards the UE.



Integrated Access and Backhaul (IAB) Architecture

IAB architecture; a) IAB-node using SA mode with 5GCN; b) IAB-node using EN-DC

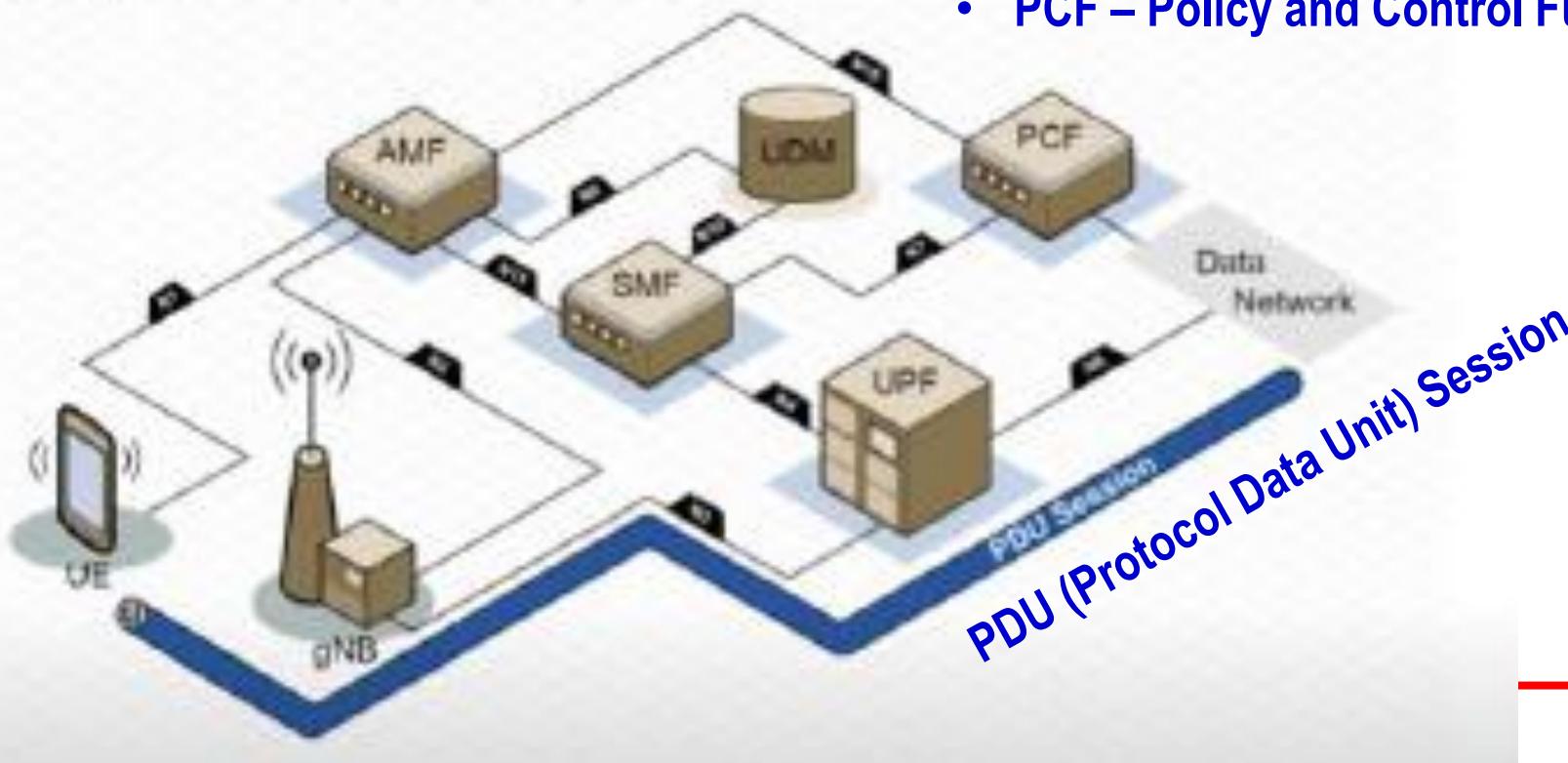


Arhitektura 5G jezgra mreže

Izvor:

What is 5G Core Network Architecture? Take a Look With Mpircial
<https://www.youtube.com/watch?v=YVoCpqnPwmQ&t=91s>

5G System Detailed Architecture



Elementi jezgra mreže:

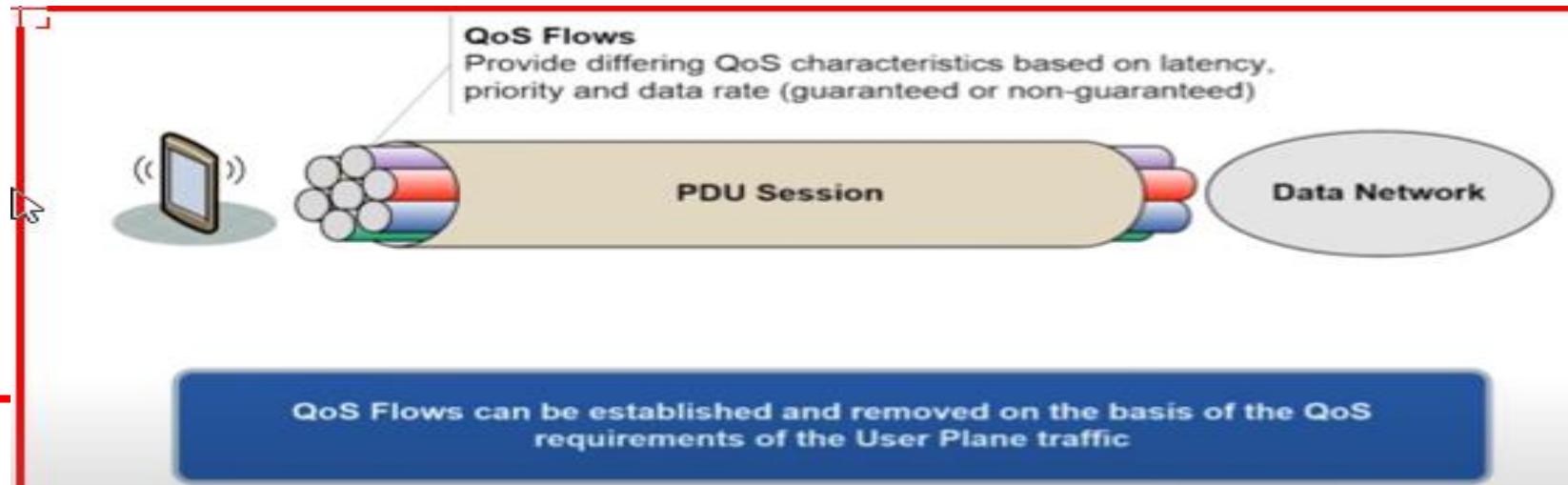
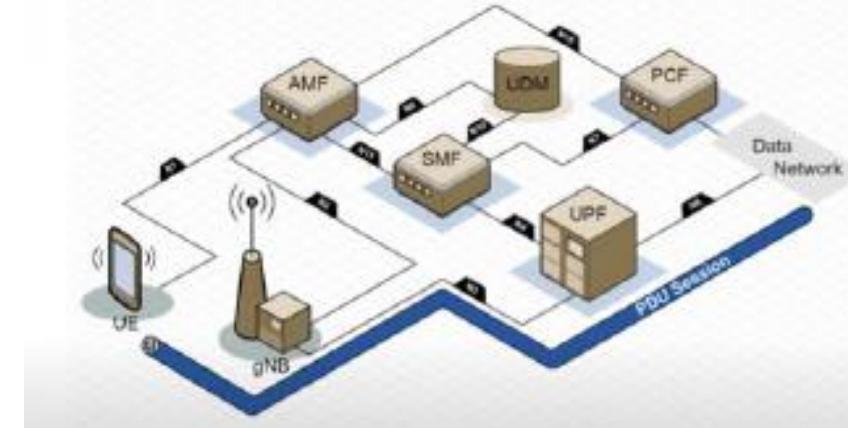
- **UPF – User Plane Function**
- **AMF – Core Access Mobility Management Function**
- **SMF – Session Management Function**
- **UDM – Unified Data Management**
- **PCF – Policy and Control Function**

PDU sesije i QoS tokovi

Važno u 5G:

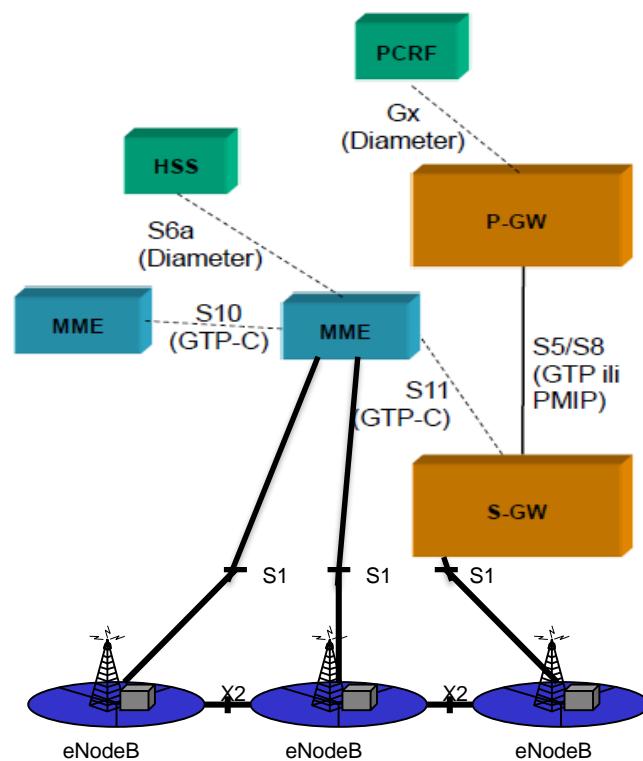
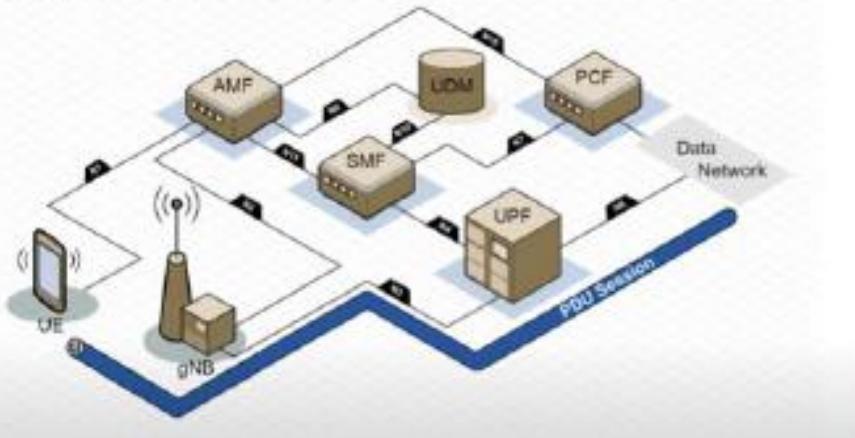
- PDU sessions
- QoS flows – tokovi QoS koji se stvaraju i raskidaju temeljeni na QoS zahtjevima prometa korisničke ravnine
- QoS tokovi imaju svoj ID koji označuje prioritet, dozvoljena kašnjenja i garantiranu ili ne-garantiranu brzinu prijenosa (bit rate)
- Primjeri QoS tokova koji se mogu dodati ili ukloniti u/iz PDU sesije:

podaci (data)	default QoS flow, best effort service	Internet
5G govor	1. signalizacija vezana za prijenos govora 2. paketi govora (korisnički podaci)	IMS



5G vs. 4G jezgra mreže

5G System Detailed Architecture



Elementi 5G jezgra mreže:

- UPF – User Plane Function
- AMF – Core Access Mobility Management Function
- SMF – Session Management Function
- UDM – Unified Data Management
- PCF – Policy and Control Function

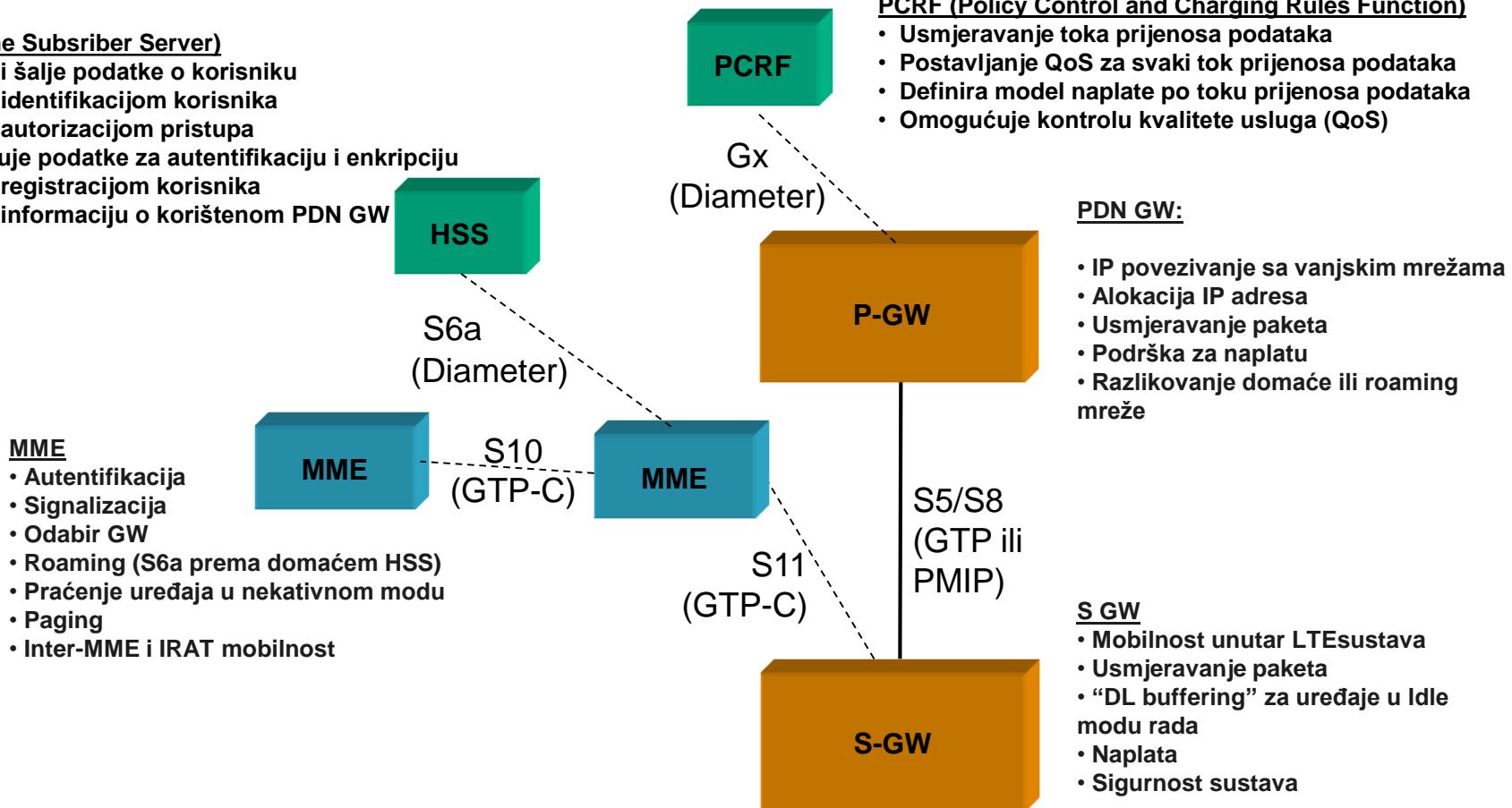
Elementi 4G jezgra mreže:

- P(PDN)-GW – Packet Data Network Gateway
- S-GW – Serving Gateway
- MME – Mobility Management Entity
- HSS – Home Subscriber Server
- PCRF – Policy Control and Charging Rules Function

Arhitektura jezgrene mreže (SAE/EPC)

HSS (Home Subscriber Server)

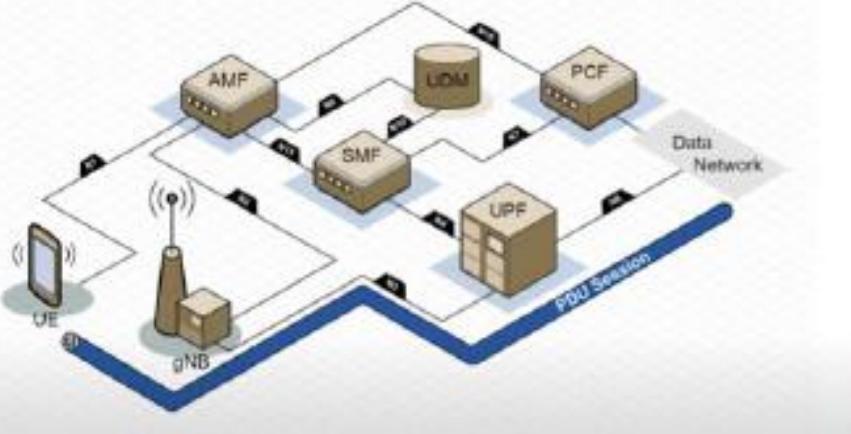
- Održava i šalje podatke o korisniku
- Upravlja identifikacijom korisnika
- Upravlja autorizacijom pristupa
- Omogućuje podatke za autentifikaciju i enkripciju
- Upravlja registracijom korisnika
- Održava informaciju o korištenom PDN GW



Elementi 5G jezgra mreže

AMF (Core Access and Mobility Management Function)

- Osnovne funkcije ovog elementa su registracija korisnika i sigurnost u mreži
- Uvijek zna gdje je korisnik – u kojoj ćeliji ako je u stanju „connected” ili u kojoj TA (Tracking Area) ako je u stanju „idle”
- Dodijeljuje korisniku privremeni identitet (Temporary Identity)
- Provjerava u bazama podataka da li korisnik smije pristupiti mreži
- Brine za sigurnost – procedure autentifikacije i identifikacije



U LTE MME odraduje i upravljanje mobilnošću (Mobility Management) i upravljanje sesijama (Session Management), dok je to u 5G razdvojeno

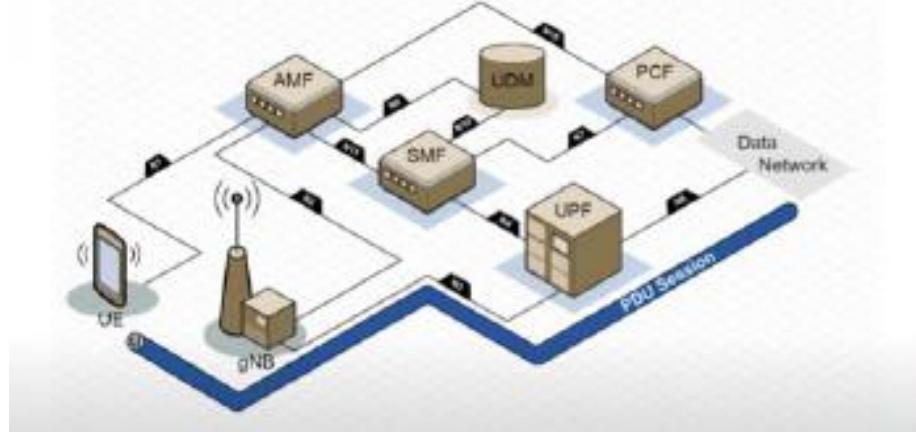
SMF (Session Management Function)

- Komunicira sa PCF (Policy and Control Function) od kojeg dobiva podatke da li se pojedina sesija može uspostaviti ili ne smije uspostaviti tj. radi na uspostavljanju PDU (Protocol Data Unit) sesija
- Komunicira sa UPF (Unified Data Management) tj. bira UPF za pojedinu sesiju ili za pojedinu PDU sesiju
- Ako je sesija koji tipa „IP podaci” i tada alocira IPv4 ili IPv6 pojedinoj sesiji (sesija može biti i čisti Ethernet ili strukturirani podaci)

Elementi 5G jezgra mreže

UPF (User Plane Function)

- „Sidro“ (anchoring point) za NG-RAN mobilnost. Drugim riječima – korisnik u NG-RAN mreži mijenja gNBs no u jezgra mreži podaci idu stalno istom PDU sesijom preko stalno istog UPF)
- S obzirom da je UPF u korisničkoj ravnini, to je idealno mjesto za uspostaviti određeni QoS flow za svaku sesiju



UDM (Unified Data Management)

- Centralni repozitorij (skladište) podataka o pretplatnicima
- Spremljeni su siguronosni ključevi svkog pretplatnika ovdje
- Mrežni profili korisnika su tu spremљeni – što pojedini korisnik može/smije raditi na kreži a što ne, QoS profil korinika, što je korisniku dodijeljeno (što mu pripada) kad se spoji na mrežu
- Pri upravljanju registracijom i mobilnošću pretplatnika slijedi se gdje je pretplatnik povezan na mrežu tj. na kojem AMF čvoru je povezan

PCF (Policy Control Function)

- Dinamički može mijenjati uvjete za pojedinog pretplatnika i to uvjete za mobilnost i za pojedinu sesiju
- Npr. SMF provjerava s PCF da li pojedini pretplatnik u nekom trenutku može ostvariti sesiju s obzirom gdje je (mobility) i s obzirom koja su pravila za pretplatinika na tom mjestu – da li može/smije ostvariti PDU sesiju

SDN (Software-Defined Networking)



SDN (*Software-defined Networking*) je tehnologija koja donosi mogućnost inteligentnog i fleksibilnog načina programiranja 5G mreže, njezinih aplikacija i usluga sa ciljem poboljšanja performansi mreže, te lakšeg mrežnog nadzora. *Open Network Foundation* grupa definira SDN kao fizičko odvajanje mrežne kontrolne ravnine od korisničke ili podatkovne ravnine i gdje kontrolna ravnina upravlja s nekoliko uređaja. Prema tome SDN je arhitektura koja je dinamična, upravljiva, isplativa i prilagodljiva, što je čini idealnom za dinamičnu prirodu današnjih primjena s velikom širinom pojasa. *OpenFlow* protokol kao prvi standard za SDN, temeljni je element za izgradnju SDN rješenja odvojene kontrolne i podatkovne ravnine.



SDN (Software-Defined Networking)



Prema ONF (Open Network Foundation) grupi, SDN arhitektura je:

- Direktno programirana – mrežna kontrola ravnina može se izravno programirati jer je odvojena od podatkovne ravnine tj. funkcija prosljeđivanja
- Dinamična – razdvajanjem kontrolne i podatkovne ravnine administratorima je omogućeno dinamičko prilagođavanje protoka u cijeloj mreži ovisno o potrebama
- Središnje upravljana – mrežna inteligencija logički je centralizirana u softverskim SDN kontrolerima koji imaju globalni pregled cijele mreže
- Programska konfigurabilna – omogućuje vrlo brzo konfiguraciju, dodjeljivanje i optimiziranje mrežnih resursa s pomoću dinamičkih i automatiziranih SDN programa. Administratori mreže ne ovise o vlasničkom softwareu jer mogu napisati vlastite programe
- Bazirana na otvorenim standardima – implementacijom otvorenih standarda, SDN pojednostavljuje dizajn i rad mreže jer umjesto više uređaja i protokola specifičnih za određenog dobavljača upute daju SDN kontroleri. [1]

[1] Open Networking Foundation, »Software-Defined Networking (SDN) Definition,« 2020. [Mrežno]. Available: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>. [Pokušaj pristupa Siječanj 2021]



NFV (Network Function Virtualization)

NFV (*Network Function Virtualization*) koncept virtualizira mrežne funkcije tj. odvaja softver od hardvera radi omogućavanja fleksibilnije mreže i dinamičnog rada. Mrežne funkcije koje su do sada ovisile o hardveru (npr. *firewall*, TCP optimizatori, NAT64, VPN) virtualiziraju se u obliku softverskih rješenja koja se pokreću na serverima. Softverska rješenja virtualnih mrežnih funkcija nazivaju se VNF (*Virtual Network Functions*) te se implementiraju u infrastrukturu za virtualizaciju mrežnih funkcija – NFVI (*Network Functions Virtualization Infrastructure*).

NFVI infrastrukturu čine sve hardverske i softverske komponente u okruženju u kojem je implementirana NFV tehnologija i njima se upravlja putem NFV-MANO (*Network Functions Virtualization Management and Orchestration Architectural Framework*) okvira.

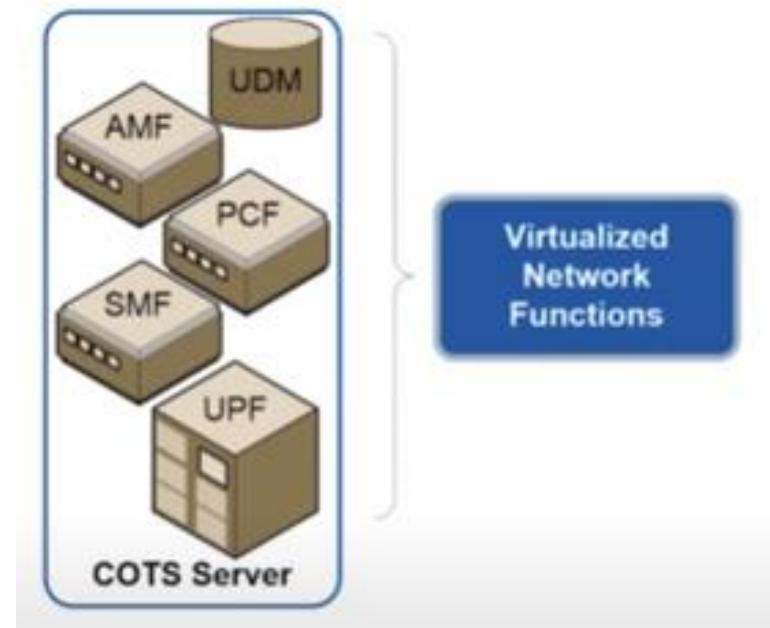
NFV je zamišljen kao nadopuna SDN (Software Defined Network) tehnologiji, ali ne ovisi o njoj, i obrnuto. Virtualizacija mrežnih funkcija može se provesti i bez potrebe za SDN-om, iako se dva koncepta i rješenja mogu kombinirati i stvoriti potencijalno najbolje rješenje. NFV može pružati podršku za SDN na način da omogući infrastrukturu na kojoj radi SDN. NFV je primjenjiv na sve funkcije obrade podatkovnih paketa i funkcije kontrolne ravnine u fiksnoj i mobilnoj mreži



NFV (Network Function Virtualization)

Neke od ključnih karakteristika NFV-a su:

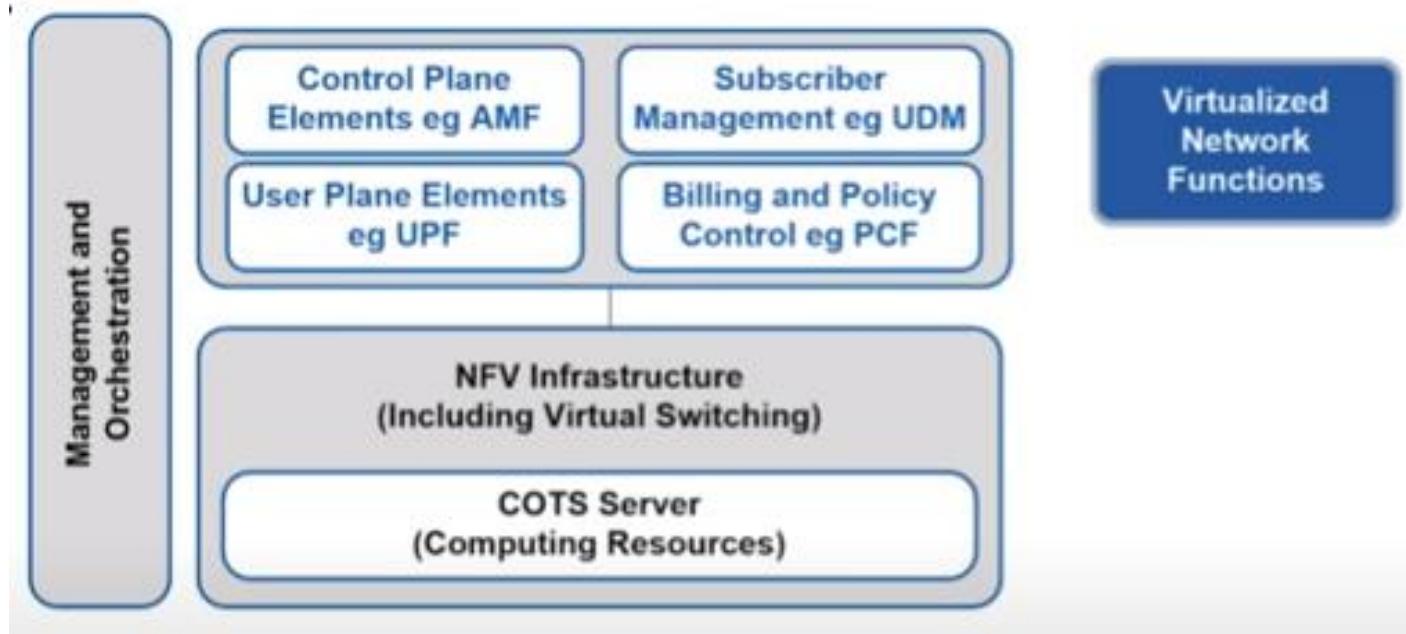
- Postizanje virtualiziranih mrežnih elemenata visokih performansi koji su prenosivi između hardvera različitih dobavljača
- Postizanje suživota s hardverskim mrežnim platformama
- Upravljanje i organiziranje mnogih virtualnih mrežnih elemenata uz istodobno osiguravanje od napada i pogrešne konfiguracije
- Primjena automatizacije kako bi se omogućila skalabilnost rješenja
- Osiguravanje odgovarajuće razine otpornosti na hardverske i softverske kvarove [2]



COTS – Commercial – of – the - shelf

[2] ETSI, »Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper,« October 2012. [Mrežno]. Available: https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf. [Pokušaj pristupa Siječanj 2021]

NFV (Network Function Virtualization)



Prednosti:

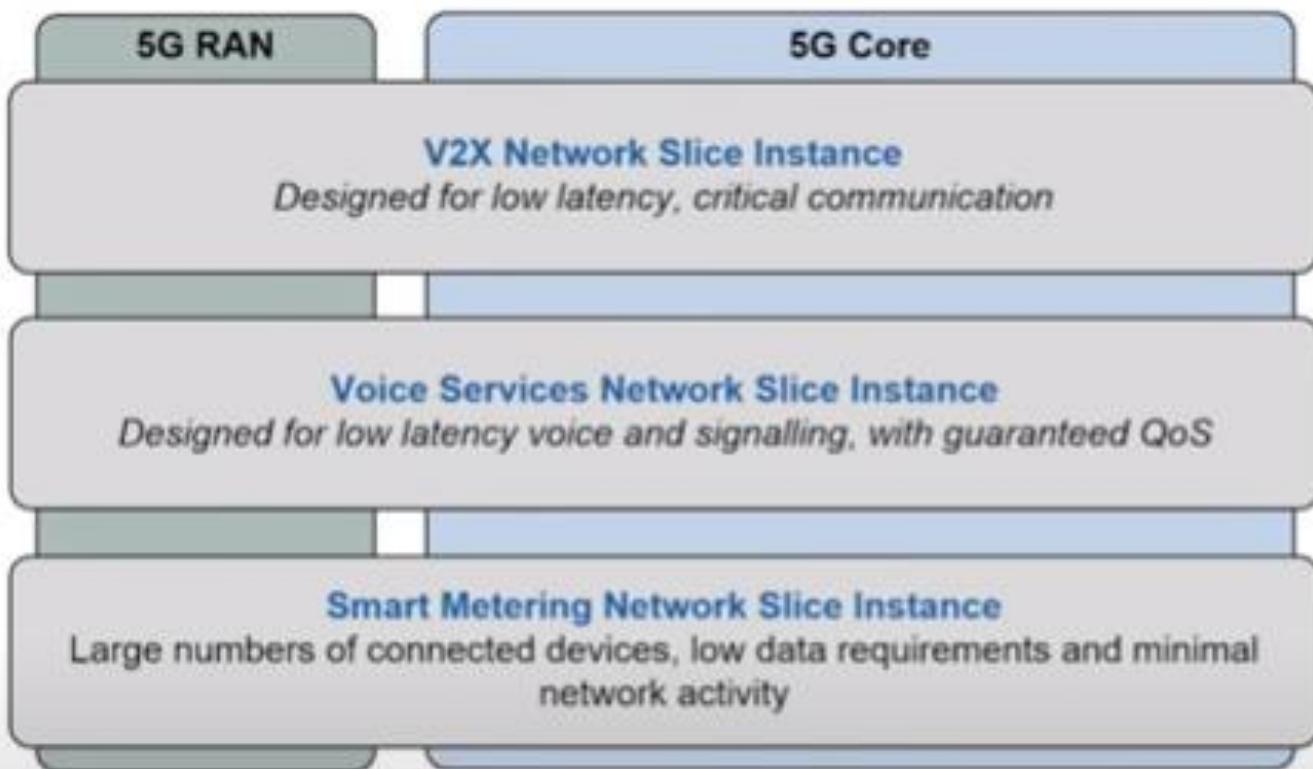
- Kupimo COTS, naselimo software i radimo
- Velika fleksibilnost – skaliranje (scales up and down quickly and easy)
- Za to trebamo MANO (Management and Orchestration)
- Jezgra mreža postaje „API (Application Programme Interfaces) driven“



Network Slicing

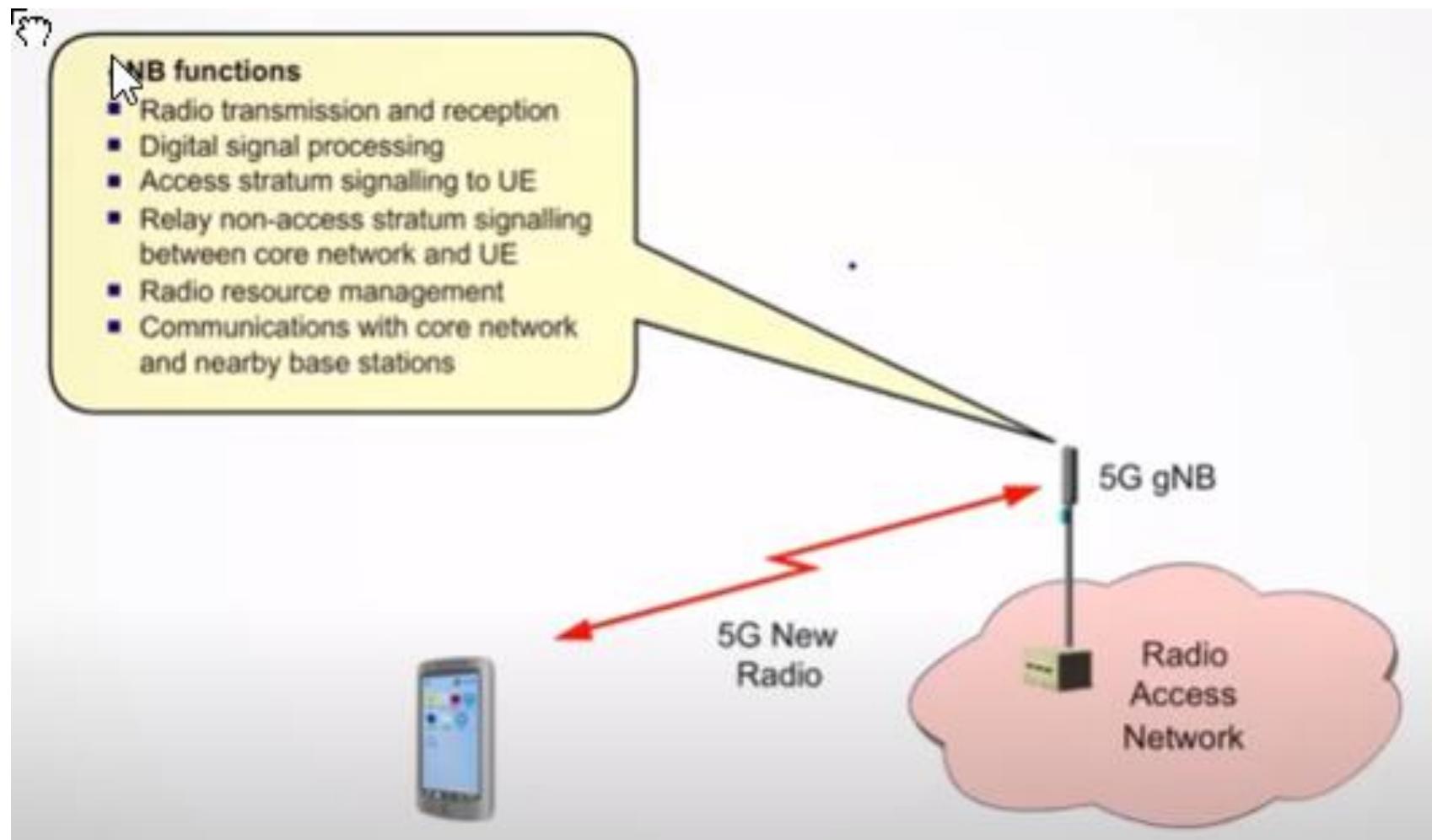
Network slicing allows the service provider to create multiple logical networks over the same physical infrastructure

By doing this, the service provider has more flexibility in terms of how it provides specific services or service environments to customers



5G RAN (Radio Access Network)

https://www.youtube.com/watch?v=iYt8Jv_go80

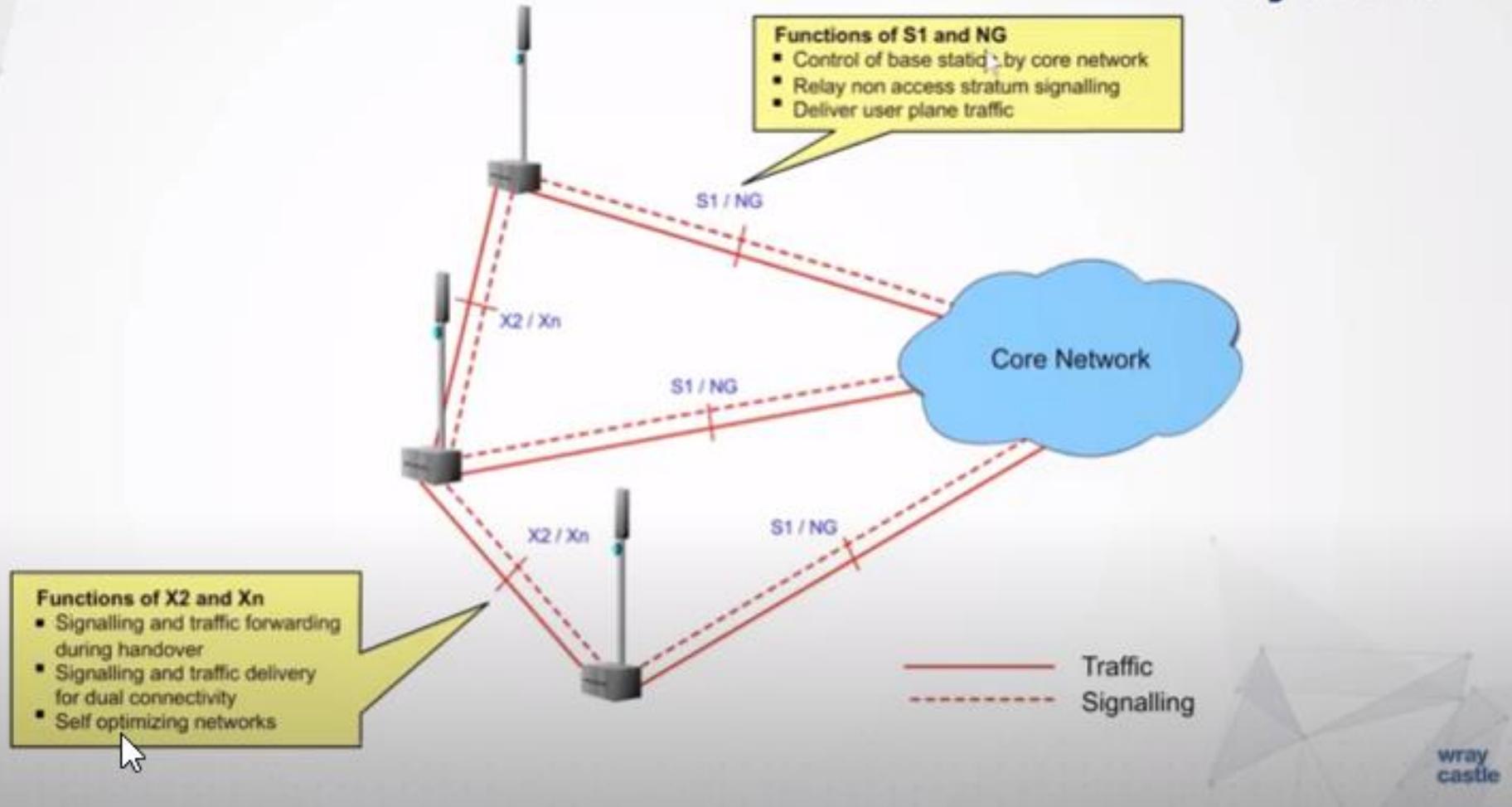


5G RAN (Radio Access Network)

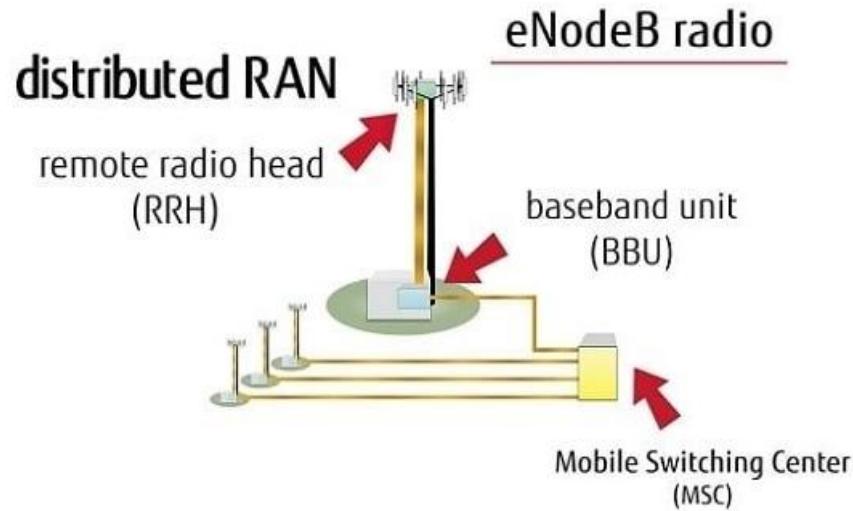


https://www.youtube.com/watch?v=iYt8Jv_go80

wray castle



D-RAN arhitektura mreže -dominira u korištenju u 4G LTE



Remote Radio Head (RRH) – primopredajnik za mobilne uređaje

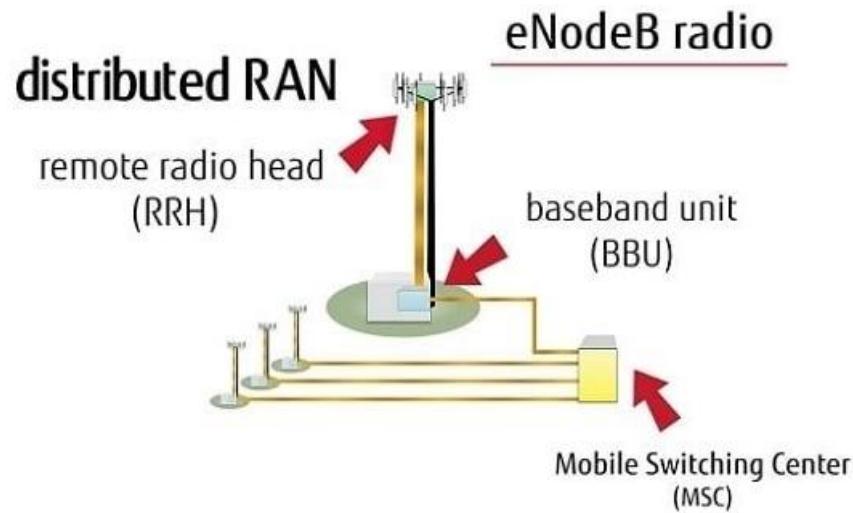
Baseband Unit (BBU) – obrađuje i proslijeđuje pozive i mobilni promet prema MSC-u putem *Ethernet* agregatne veze

Mobile Switching Center (MSC) – složeni komutacijski mehanizam za pružanje veze mobilnim korisnicima unutar mreže i korisnicima drugih mobilnih mreža. MSC također koordinira sve komunikacijske kanale i procese unutar mreže te uspostavlja komunikaciju s jezgrom mobilne mreže.

D-RAN – cijelokupna bazna stanica eNB ili gNB nalazi se na istoj lokaciji, te je povezana na jezgru mreže EPC ili NGC (*Evolved Packet Core/Next-Generation Core*).

RRU se nalazi na vrhu tornja pored antena, a BBU u prostoriji za smještaj opreme, u blizini samog tornja

RRU i BBU jedinice izravno su povezane putem CPRI-a (*Common Public Radio Interface*) sučelja, što znači da će za svaku RRU jedinicu biti povezana po jedna BBU jedinica za procesuiranje odnosno obradu podataka



Problem: upravljanja prostorom i kapacitetom potrebnim za bazne stanice.

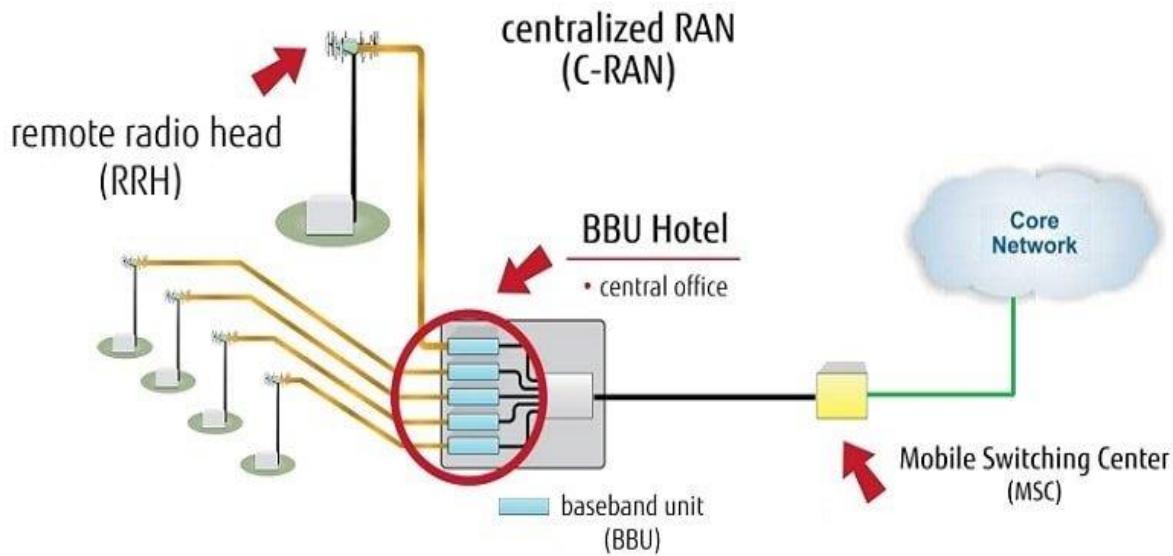
Većina baznih stanica raspoređena je kako bi se zadovoljila razdoblja vršnih opterećenja kapaciteta u određenoj regiji. Međutim, razdoblja vršnog opterećenja dolaze i odlaze, pa je često bilo slučajeva kada bi taj kapacitet odnosno snaga procesuiranja bila premalo iskorištena.

Problem: kako riješiti relativno kratkotrajne nalete jako velikog prometa, na primjer ako je u blizini koncert ili veliko okupljanje građana, RRH i BBU jedinice nisu dizajnirane za takvu vrstu fleksibilnosti

Transportna mreža koja povezuje između RAN mrežu s *core* mrežom, naziva se **backhaul**, te se uobičajeno koristi S1 ili NG sučeljem.

Distribuirana RAN arhitektura pogodna je za uporabu u svim područjima (gradskim, prigradskim i ruralnim) te može koristiti mnoga rješenja za transportne mreže. DRAN se koristi već uloženim sredstvima u infrastrukturu, poput postojećih lokacija, operativnosti i strukture održavanja, što je posebice važno u područjima gdje je mala gustoća naseljenosti, a korisnici distribuirani na širem području.





U centraliziranoj RAN (*Radio Access Network*) arhitekturi bazna stanica se razdvaja, RRU (*Remote Radio Unit*) jedinice ostaju na istom mjestu, dok su BBU (*Baseband Unit*) jedinice odvojene i agregiraju se na centraliziranu lokaciju, koja se ponekad naziva „BBU hotel“ sa centraliziranim kontrolerom.

Na taj način se kapacitet procesuiranja *basebanda* može rasporediti između RRU jedinica, pružajući mogućnost koordinacije radijskog sučelja i smanjenje troškova odnosno uštedu energije. Takav koncept prekida vezu 1:1 između RRU i BBU jedinica, virtualizira *baseband* procesuiranje i pomiče ključne funkcije na centraliziranu lokaciju, koja je operatorima puno bliža i prikladnija za upravljanje. Također, agregiranjem svih BBU jedinica, operatori mogu bolje organizirati resurse svoje opreme, što može smanjiti troškove održavanja 5G mreže.



Centralizacija BBU jedinica je preduvjet za buduću virtualizaciju funkcija BBU jedinice, ali donosi neposredne prednosti i bez korištenja virtualizacije. Te prednosti su:

Ekonomija razmjera – kod distribuirane RAN arhitekture, svaka lokacija ćelije zahtjeva vlastitu BBU jedinicu, zajedno uz pripadajuće napajanje, hlađenje i usmjeravanje (eng. *routing*). Centralizacija BBU jedinica na jednu lokaciju omogućuje da veći broj njih dijeli istu fizičku lokaciju, zajedničke baterije odnosno pomoćno napajanje, generatore i sustave hlađenja. Osim dijeljene fizičke infrastrukture, BBU *pool* može posluživati jedan snažniji *router* umjesto zasebnih, manjih routera potrebnih na svakoj lokaciji. Umjesto planiranja kapaciteta za vršna opterećenja svake pojedinačne stanice, operatori mogu planirati kapacitet cijelog *poola*, kako bi se opterećenje raspodijelilo između nedovoljno i preopterećenih BBU jedinica. Ukratko, fizičko udruživanje osigurava da se infrastruktura i resursi usmjeravanja koriste najučinkovitije i uz najmanje praznog hoda.

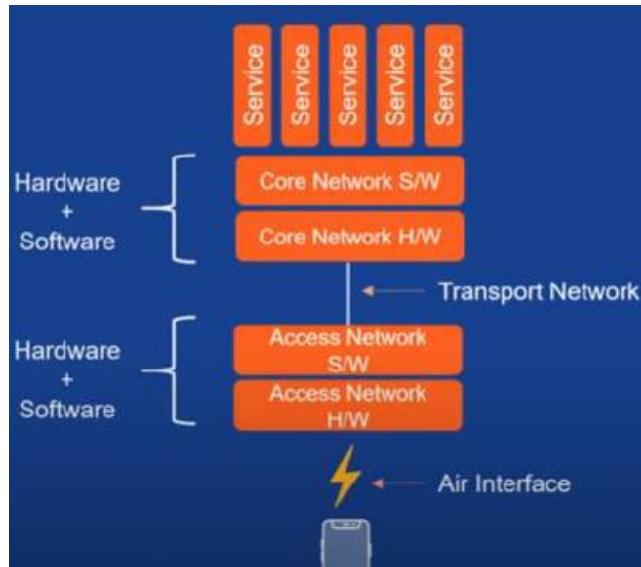
Manji operativni troškovi – održavanja opreme i prostorija. Kod centralizirane RAN arhitekture, tehničari ne trebaju ići do lokacije baznih stanica radi rutinskog održavanja ili rješavanja poteškoća.

Poboljšane performanse – radi bolje koordinacije između ćelija, čak i bez korištenja virtualizacije. Primjerice, China Mobile je pokazao povećanje performansi centraliziranih BBU jedinica do 30 posto, što uključuje niže stope prekida poziva i povećane brzine prijenosa u silaznom smjeru.

Početni fokus C-RAN arhitekture je centralizacija BBU fizičkih mrežnih elemenata, ali krajnji cilj je *cloud*, ili virtualizacija RAN mreže, te će implementacija 5G-a biti glavni pokretač toga. Kao što je ranije navedeno, dio učinkovitog korištenja resursa je zbog fizičke centralizacije BBU jedinica, ali učinkovitost se dodatno povećava kada se mrežne funkcije BBU-a virtualiziraju odnosno nisu više fizički vezane uz *hardware*. [10]

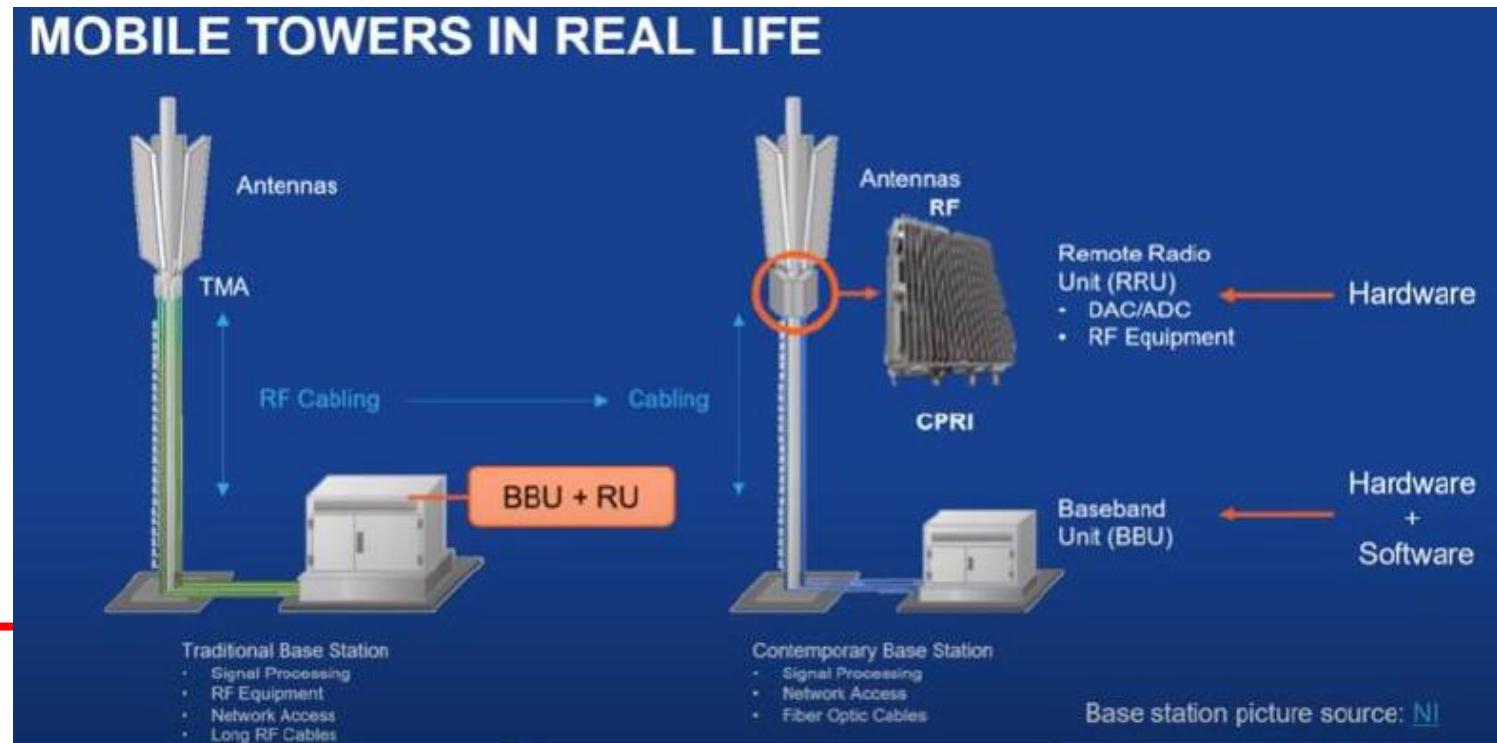


Što je to O – RAN (Open Radio Access Network)?



Izgled mreže po slojevima za NGN odn.
Next Generation Networks – koncept koji se
uvodi od 3G

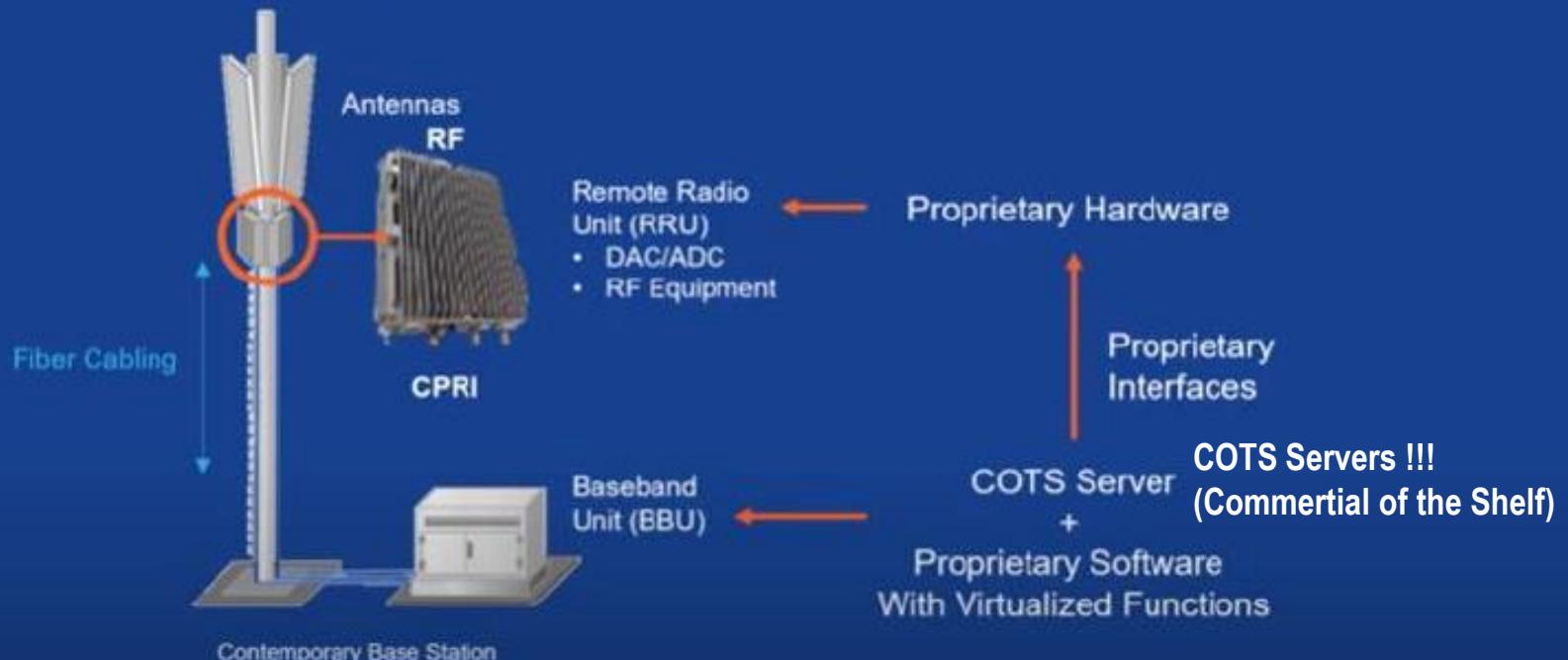
Izvor: An Introduction to the Open RAN Concept
https://www.youtube.com/watch?v=-fVHO_WCGF8



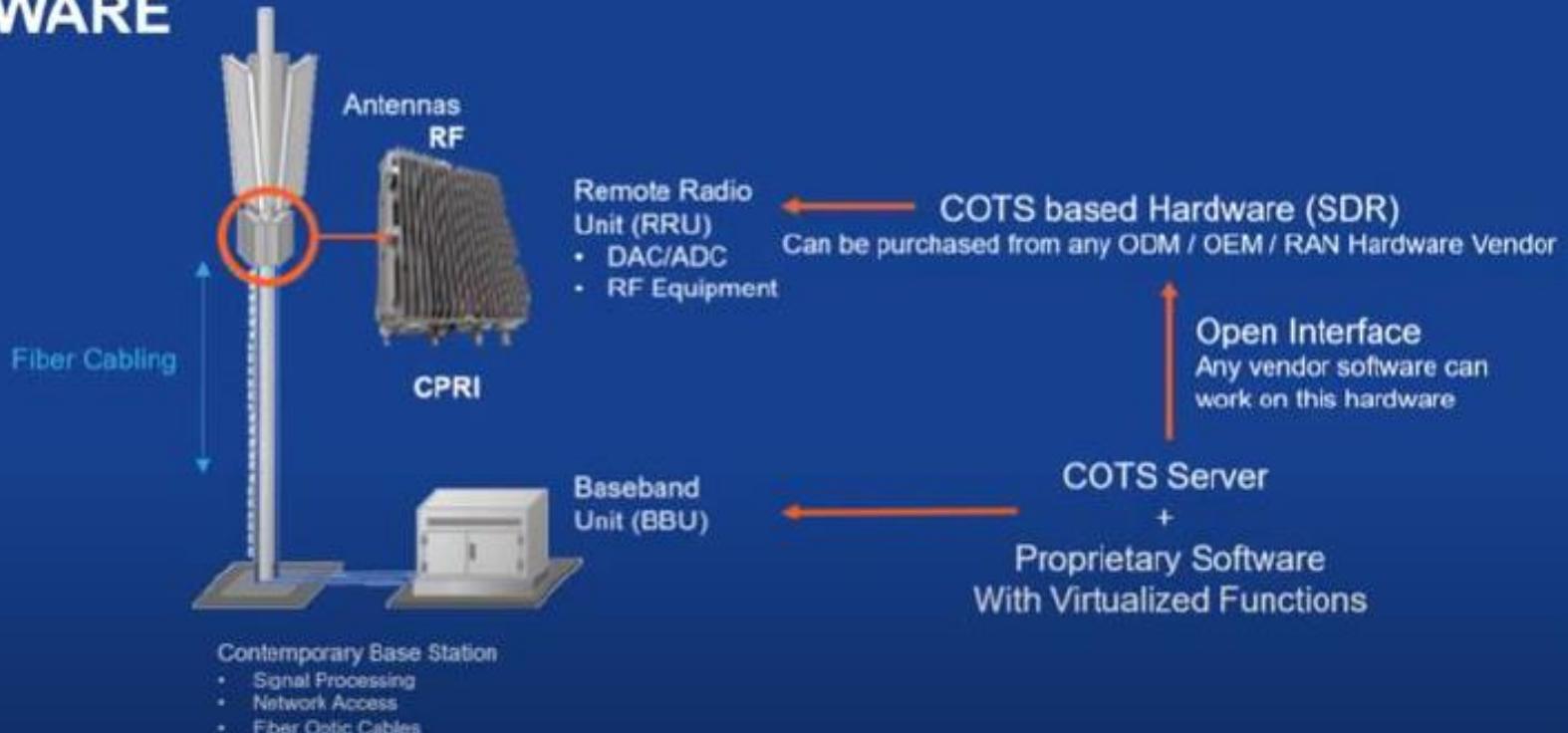
TRADITIONAL RAN



VIRTUALIZED RAN (vRAN) APPROACH



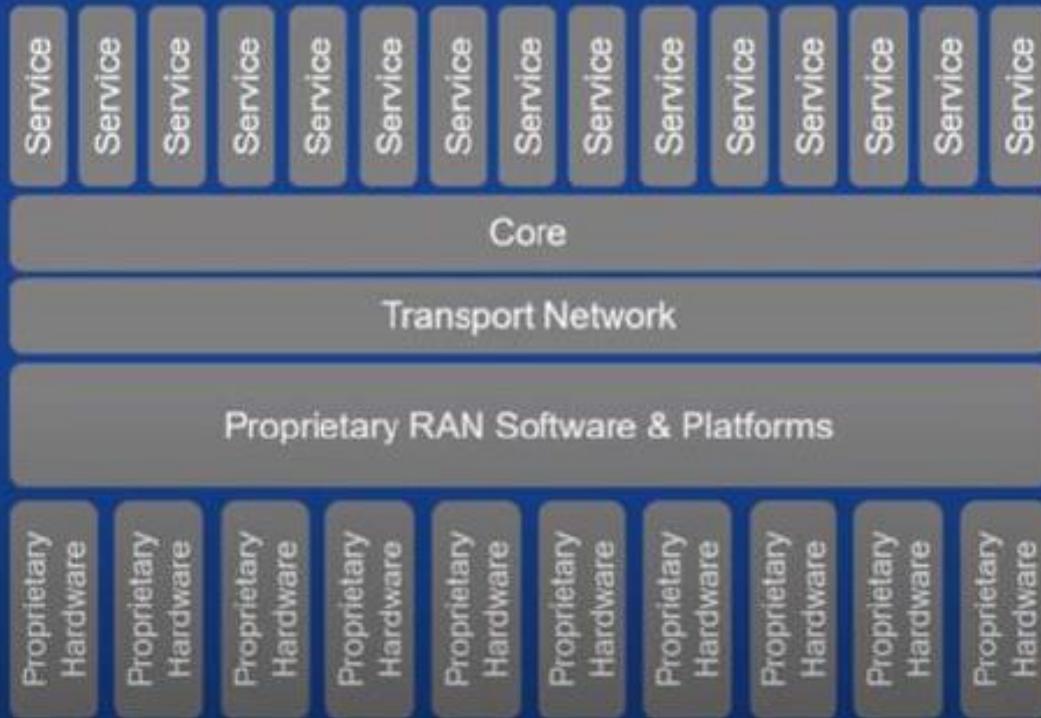
OPEN RAN: DISAGGREGATING HARDWARE AND SOFTWARE



Open RAN – Open interface – any vendor software can work on any vendor hardware

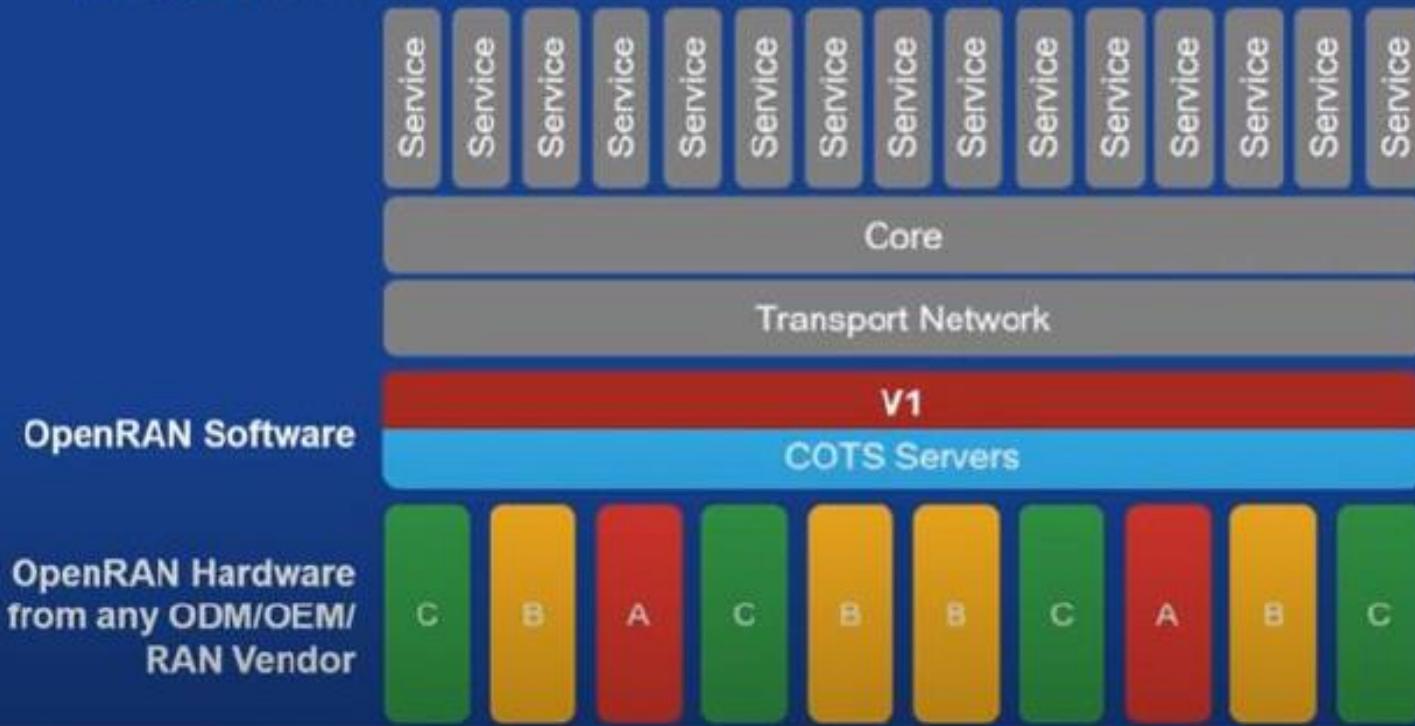


EXAMPLE SCENARIO: LEGACY DEPLOYMENT MODEL



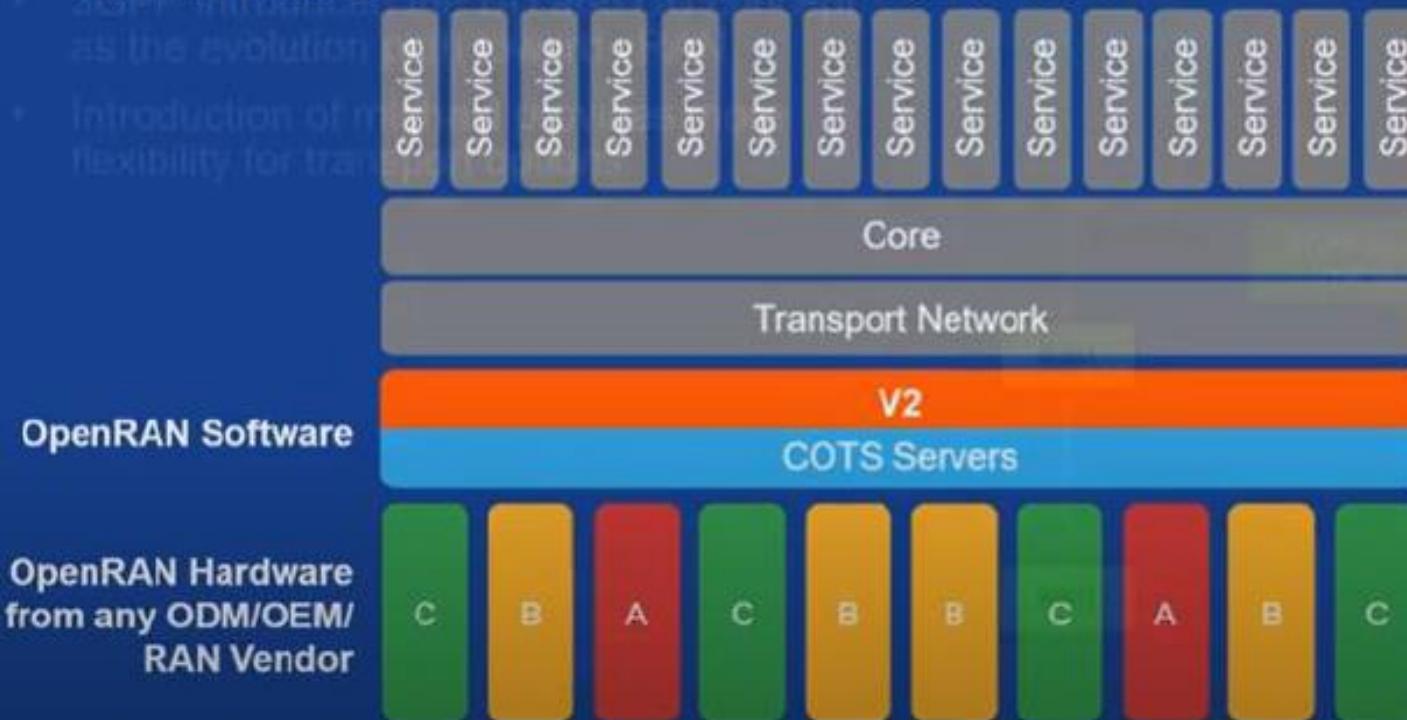
EXAMPLE SCENARIO: OPENRAN DEPLOYMENT MODEL

- Existing ODM/OEM A hardware could be swapped out easily when required with a new hardware either from ODM/OEM B or a newer ODM/OEM C



EXAMPLE SCENARIO: OPENRAN DEPLOYMENT MODEL

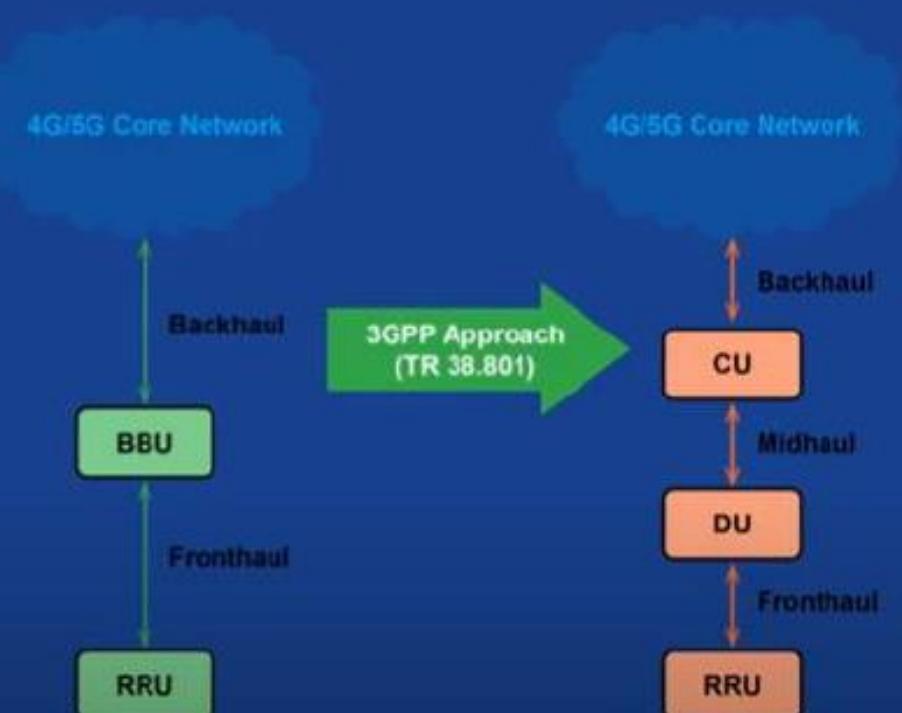
- SP/MNO could replace the OpenRAN software as easily as they did the hardware. Existing OpenRAN hardware continues to work with the new software from Vendor V2



EVOLUTION TO 5G OPENRAN

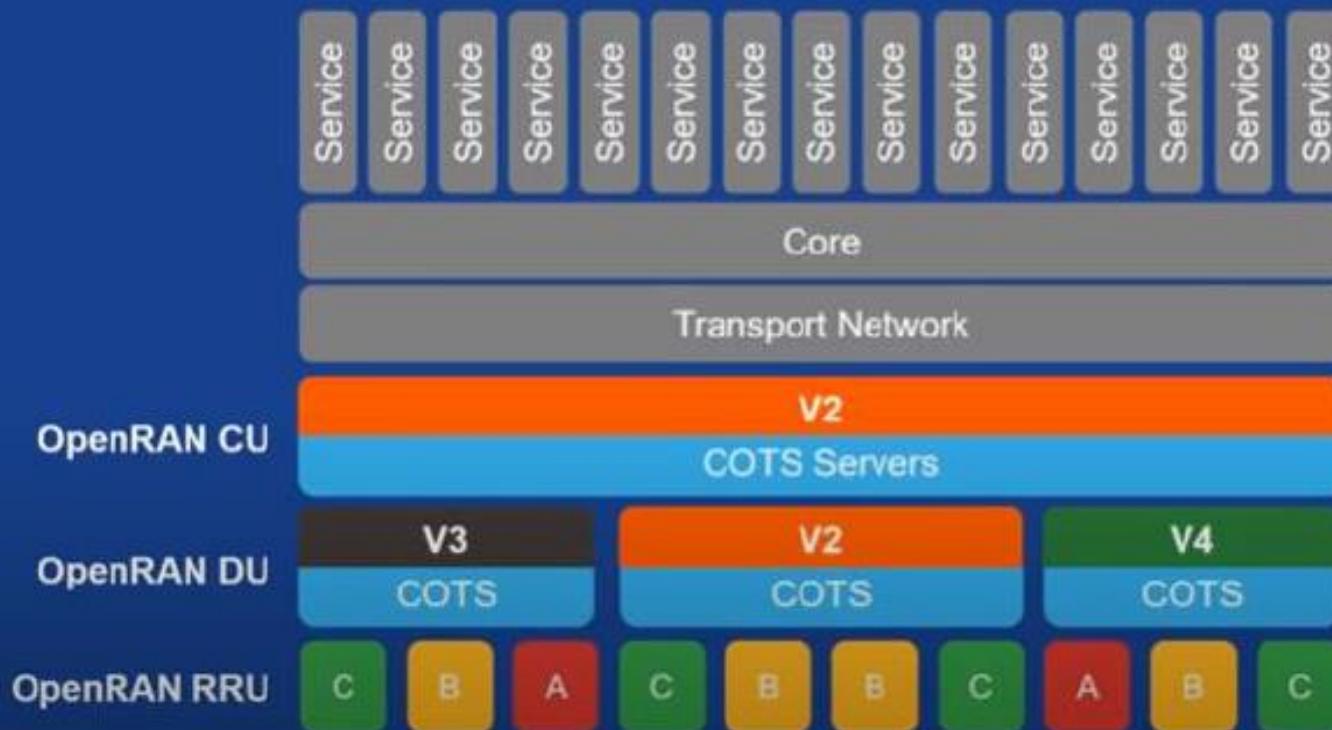
Distributed and Central Units

- 3GPP introduced the DU and CU concept as the evolution path toward vRAN
- Introduction of midhaul provides more flexibility for transport options

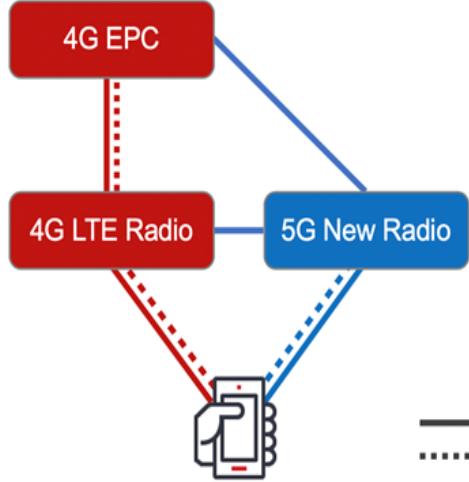


EXAMPLE SCENARIO: 5G OPENRAN DEPLOYMENT MODEL

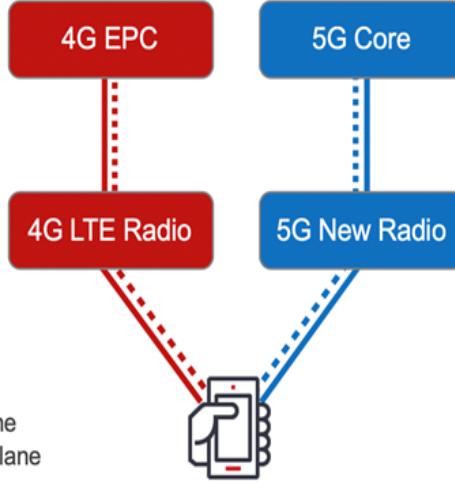
With CU, DU & RRU



5G Non-Stand-Alone (NSA) Mode



5G Stand-Alone (SA) Mode

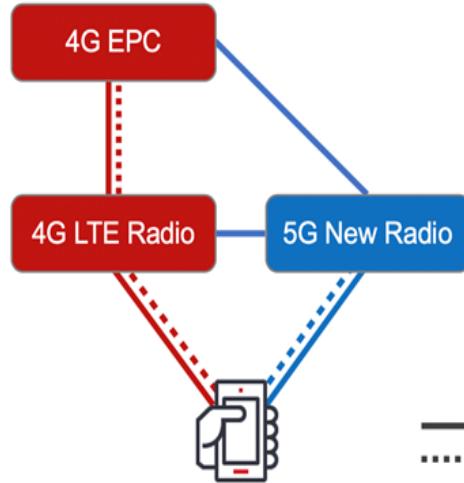


nesamostalni 5G ili NSA (*Non-standalone mode*)

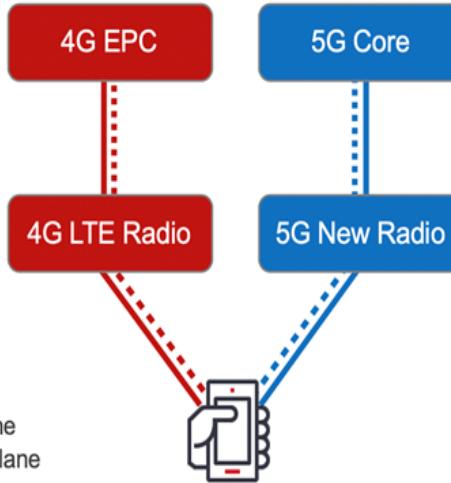
- 5G NR (New Radio) primarno se povezuje s postojećim 4G EPC (Evolved Packet Core) mrežama koje krajnjim korisnicima pružaju performanse nove 5G mreže u bežičnoj domeni, ali u domeni transportne mreže to su još uvijek performanse slične 4G mreži.
- takvu uslugu dobiva većina krajnjih korisnika 5G mreže danas
- Rezultat je djelomični 5G i privremeni način za ubrzavanje razvoja 5G NR dok se 5G jezgre (eng. 5G Core) i transportne mreže neprestano nadograđuju.
- specifikacije 3GPP Release 16 i 3GPP Release 17 olakšavaju komercijalizaciju i širenje standardizirane tehnologije.



5G Non-Stand-Alone (NSA) Mode



5G Stand-Alone (SA) Mode

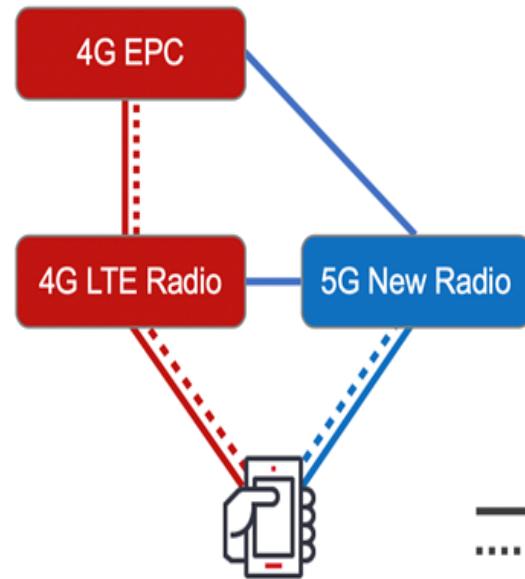


Non-standalone način rada primarno je usmjeren na slučajeve upotrebe eMBB-a (*Enhanced Mobile Broadband*), prvenstveno na video usluge, za koje se previđa da će do 2025. godine činiti gotovo 76% cjelokupnog prometa, prema *Ericsson Mobility Report June 2020* izvještaju.

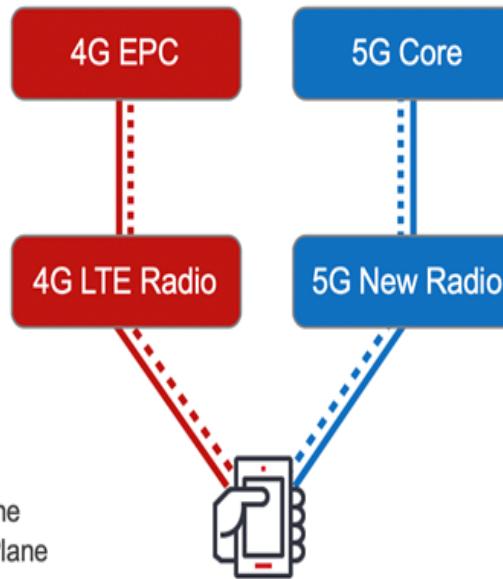
Međutim, nesamostalni 5G ne uključuje mogućnosti dijeljenja mrežnih resursa (eng. *network slicing*), 5G kvalitete usluge – QoS (*Quality of service*) niti nudi izrazito mala kašnjenja. Drugim riječima, eMBB je danas poput naprednog 4G-a i to je ono što će većina korisnika doživjeti dok se također ne razviju transportne mreže.



5G Non-Stand-Alone (NSA) Mode



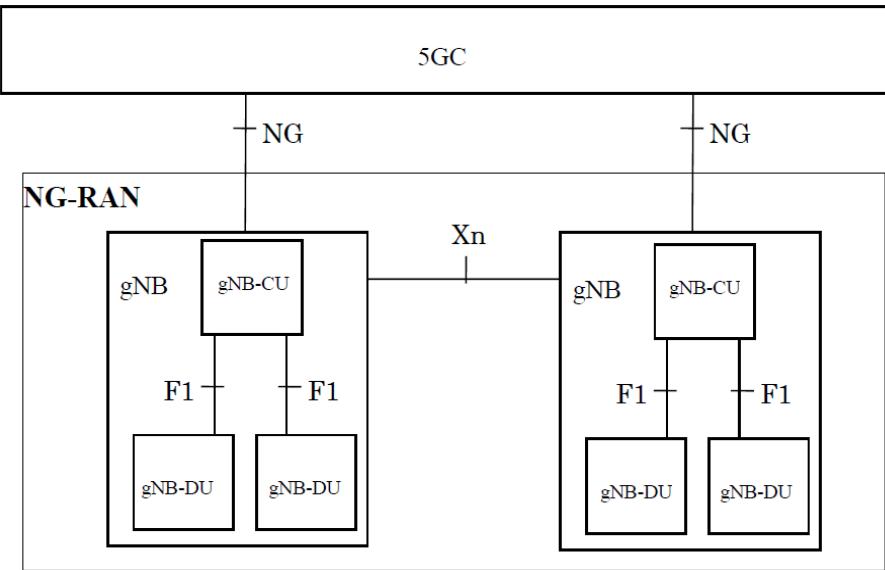
5G Stand-Alone (SA) Mode

**5G samostalni način rada (SA – Stand Alone), naziva se i "puni 5G,,**

- 5G New Radio sučelje povezano na 5G jezgrenu mrežu koja zamjenjuje trenutni 4G EPC koji se koristi u nesamostalnom 5G, te na taj način pruža 5G performanse od kraja do kraja (eng. end-to-end).
- To omogućuje dijeljenje mrežnih resursa preko bežičnih i žičnih domena te QoS okvir 5G koji omogućuje URLLC i mMTC kategoriju 5G slučajeva upotrebe.
- Vodeći operatori mobilnih mreža već su najavili komercijalno dostupne usluge samostalnog 5G. Široko dostupne i pune performanse 5G-a za masovnu upotrebu vjerojatno će biti višegodišnji proces jedinstven za svakog operatora mobilne mreže, zbog vlastitih početnih i krajnjih točaka, koje se temelje na različitim poslovnim ciljevima.



NG-RAN (*Next Generation Radio Access Network*) specificirana u 3GPP dokumentu TS 38.340



gNB se sastoji od gNB centralizirane jedinice - gNB-CU (*gNB-Centralized Unit*) i gNB distribuirane jedinice - gNB-DU (*gNB-Distributed Unit*).

Centralizirana jedinica procesuira protokole i usluge koje nisu u realnom vremenu, dok distribuirana jedinica procesuira protokole fizičkog sloja i usluge u realnom vremenu.

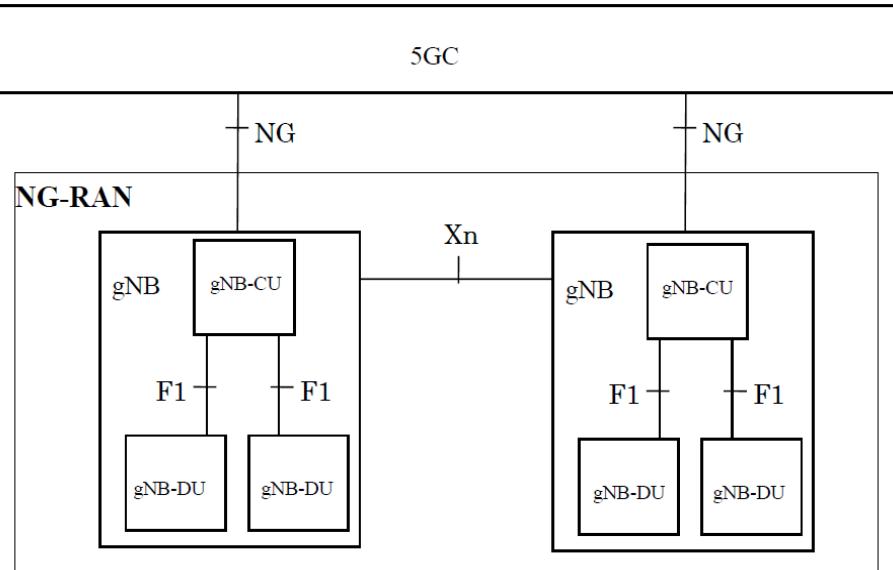
Jedna gNB-DU jedinica povezuje se samo s jednom gNB-CU jedinicom, no radi otpornosti mreže gNB-DU se odgovarajućom provedbom može povezati i s dodatnom gNB-CU jedinicom (u slučaju kvara primarne).

NG, Xn i F1 su logička sučelja, dok je *fronthaul* mreža između RRU (*Remote Radio Unit*) i DU jedinice (CPRI i eCPRI sučelja).

Midhaul mreža nalazi se između DU i CU jedinice (F1 sučelje),

Backhaul mreža – povezuje CU jedinicu s 5G jezgrenom mrežom (NG sučelje), i CU jedinice međusobno (Xn sučelje) naziva

• U nekim slučajevima CU i DU jedinice smještene su zajedno i tvore gNB. U tom slučaju, veza RRU i gNB je *fronthaul*, a veza gNB i 5GC *backhaul*.



Generalno 5G transportna mreža može sadržavati *fronthaul*, *midhaul* i *backhaul* mreže, ali operatori se mogu odlučiti i za drugačiji pristup postavljanja.

Tipično su četiri slučaja raspoređivanja elemenata RAN mreže:

- 1) Neovisne lokacije RRU, CU i DU jedinica - U ovom slučaju postoje *fronthaul*, *midhaul* i *backhaul* mreže. Udaljenost između RRU i DU je u rasponu od 0 - 20 km, dok je udaljenost između DU i CU do par desetaka kilometara.
- 2) Zajednički smještene DU i CU jedinice - DU i CU jedinice smještene su skupa, stoga nema *midhaul* mreže
- 3) Integrirane RRU i DU jedinice - ovom slučaju RRU i DU postavljene blizu jedna drugoj, na primjer na istoj zgradi. Kako bi se smanjio trošak, RRU je povezana s DU putem izravne svjetlovodne niti pa nije potrebna transportna oprema. U ovom slučaju postoji *midhaul* i *backhaul* mreža.
- 4) Integrirane RRU, DU i CU jedinice – ovakva struktura koristi se u slučaju *hotspota* ili malih ćelija. Postoji samo *backhaul* mreža.

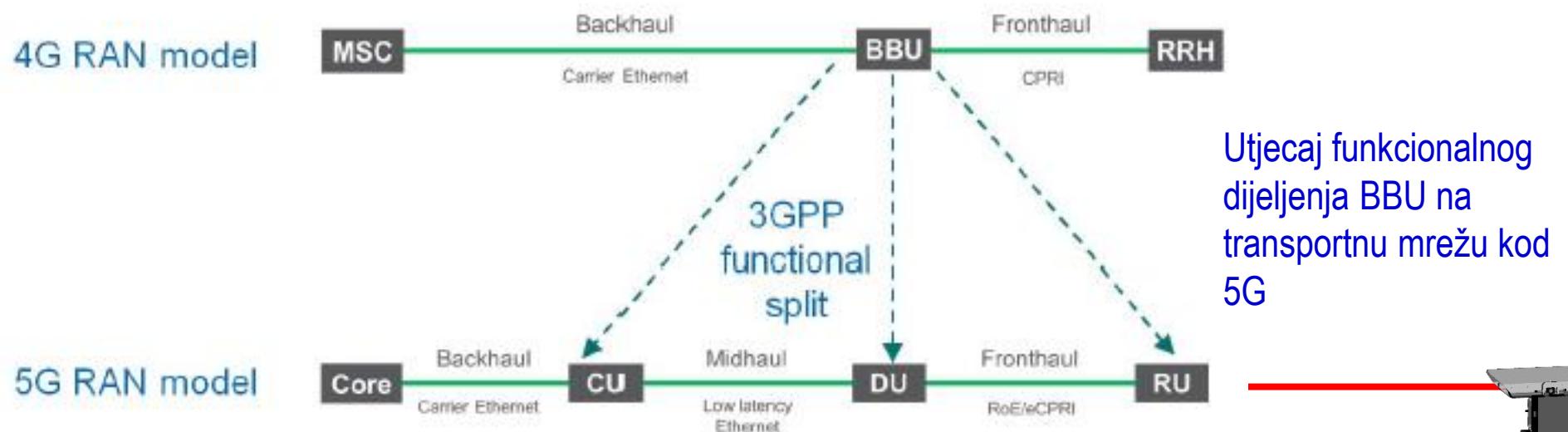
Gore navedena četiri slučaja primjene temelje se na trenutnim implementacijama bežične mreže i predviđenim funkcionalnim podjelama. Međutim, konačni slučajevi primjene bit će definirani specifikacijama pristupne mreže, primjenom (tj. eMBB ili URLLC), dostupnosti transportne mreže i zahtjevima operatora.



Razvoj transportne mreže po generacijama mobilnih mreža

TVZ

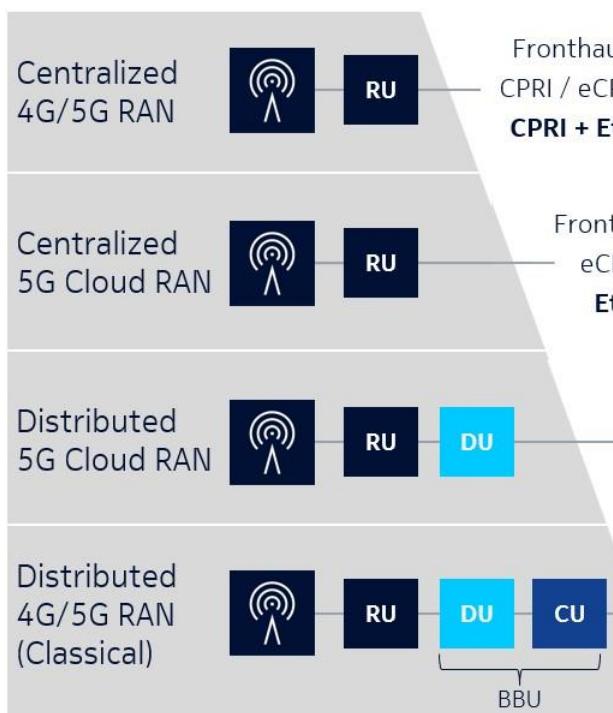
Generation	Capabilities	Service characteristics	Peak speed	Transport
1G	Analog Voice	<ul style="list-style-type: none"> • 1st wireless voice service • 'Luggable phones' 	2 Kbps	Analog
2G	Digital voice + SMS	<ul style="list-style-type: none"> • TDM voice, SMS • Smaller handsets 	64 Kbps	PDH/TDM
3G	Mobile data	<ul style="list-style-type: none"> • Voice + SMS + email • BlackBerry devices 	2 Mbps	Hybrid TDM, ATM
4G	Mobile broadband	<ul style="list-style-type: none"> • Internet + video + voice • iPhone, smart phones 	1 Gbps	All-IP, packet
5G	Extreme speed, connectivity, reliability	<ul style="list-style-type: none"> • eMBB • Fixed wireless • NB-IoT • Ultra-reliable, low latency services 	10 Gbps	Cloud-based, more capacity, KPIs for latency, security



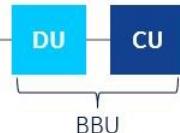
Elementi NG-RAN mreže i transportne mreže između njih – izvor Nokia



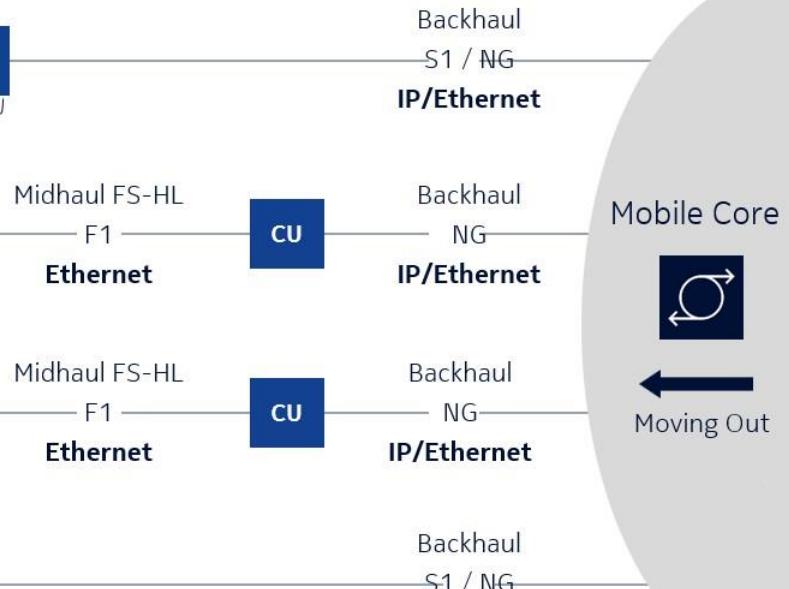
Radio Site



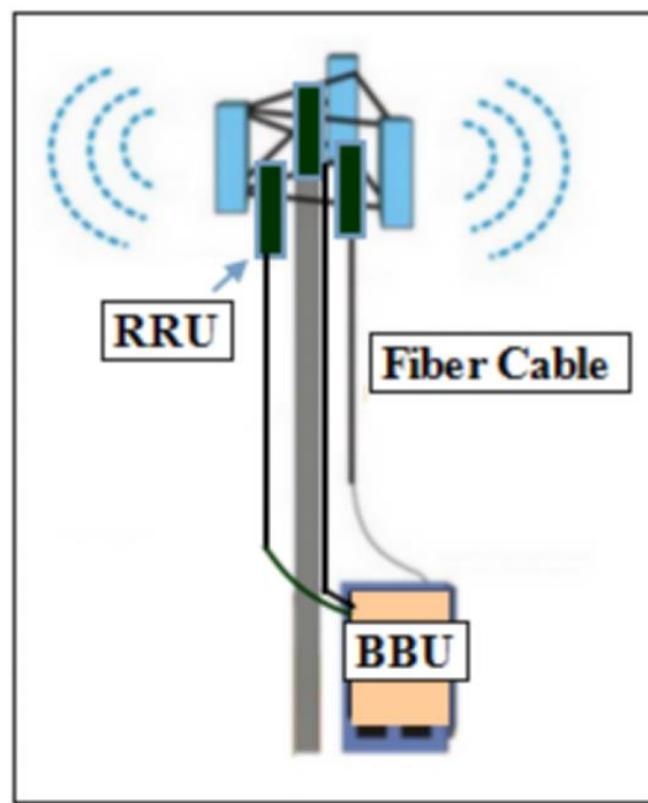
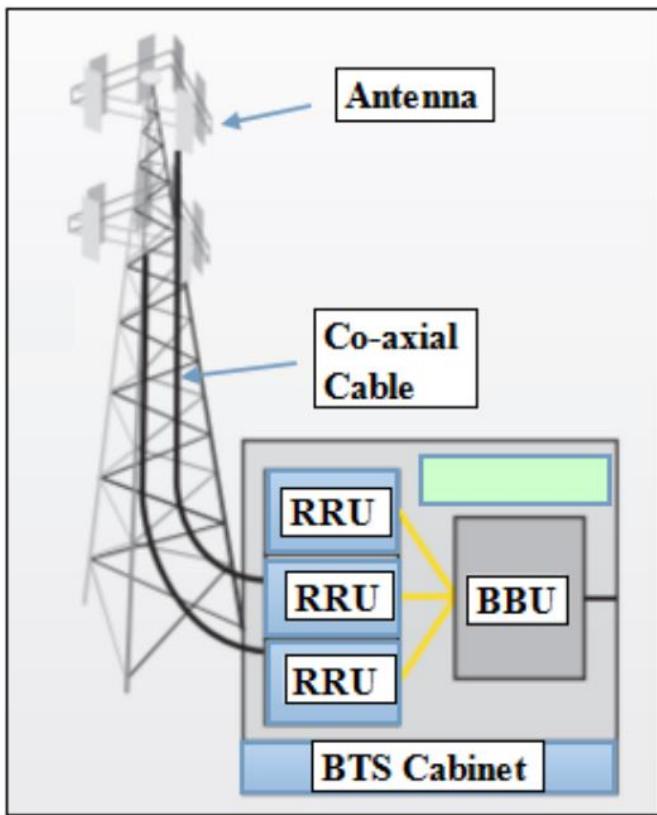
Edge Cloud (CO/Data Center)



Regional Cloud (Data Center)



Tradicionalna Bazna postaja vs. Moderna bazna postaja



Bakreni vodovi – koaks – veliki gubici:
Velika potrošnja energije, pojačala za
koaks, UPS-ovi, hlađenje itd.

Svetlovodni kabeli – veća skalabilnost,
moguće veće širine pojasa, bolje
pokrivanje, jeftinije (cost efficient)



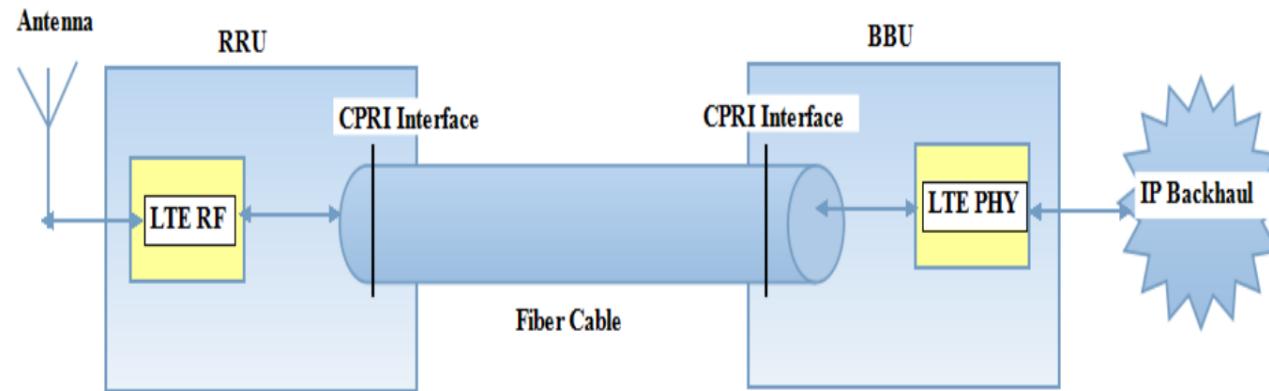
CPRI (Common Public Radio Interface)



Komunikacija svjetlovodnom niti između baseband unit (BBU) i radio jedinice - remote radio unit (RRU) se provodi preko protokola **CPRI - Common Public Radio Interface**. CPRI je 2003. uveli verdori-proizvođači baznih postaja od kojih su neki: Ericsson, Nokia Siemens Networks, Alcatel Lucent, NEC i Huawei Technologies.

Pojavom CPRI protokola javno su zadane specifikacije koje su standardizirale sučelje između uređaja bazne postaje (jedinice osnovnog pojasa BBU i udaljene radio jedinice RRU). Međutim CPRI protokol ostao je vezan uz pojedinog proizvođača opreme i nije bilo kompatibilnosti između njih.

CPRI je omogućio i koncept C-RAN (Centralized Radio Access Network) jer je uz pomoć CPRI moguće postaviti BBU na udaljeno mjesto od RRU a također i vezati više RRU na jednu BBU.



CPRI (Common Public Radio Interface)

TVZ

Prednosti CPRI protokola

- Efikasna implementacija mreže
- CPRI omogućuje linkove velikih brzina, velikih širina pojasa tako da se više RRU može spojiti na jednu BBU

CPRI hardware – najčešće SFP (small form-factor pluggable) transceiver tj. odašiljačko prijamna jedinica



Svaka BBU i RRU mora podržavati barem jednu od ovih linijskih brzina:

CPRI line bit rate option 1: 614.4 Mbit/s
CPRI line bit rate option 2: 1228.8 Mbit/s
CPRI line bit rate option 3: 2457.6 Mbit/s
CPRI line bit rate option 4: 3072.0 Mbit/s,
CPRI line bit rate option 5: 4915.2 Mbit/s
CPRI line bit rate option 6: 6144.0 Mbit/s
CPRI line bit rate option 7: 9830.4 Mbit/s
CPRI line bit rate option 7A: 8110.08 Mbit/s
CPRI line bit rate option 8: 10137.6 Mbit/s
CPRI line bit rate option 9: 12165.12 Mbit/s

Example: Flyin Optronics' 6.25G CPRI/OBSAI SFP Transceiver FPP-xx7-xxx(D) - designed to transmit and receive optical data over SM and MM Fiber, applied in serial data communications such as CPRI and OBSAI. Multi Rate up to 6.25Gbps, transmission distance 300 m to 80 km.



CPRI (Common Public Radio Interface)



	CPRI	eCPRI
redundancija, sigurnost, QoS		
Kašnjenja, brzine prijenosa, pouzdanost, eCPRI i povećana efikasnost		
Klasifikacija ulaza (ports)	Master i slave portovi, preko fibera se direktno nastavljaju na fizički nivo	Ne podržava master i slave port klasifikaciju na fizičkom nivou
Podržane logičke veze	p-t-p (REC prema RE) p-t-mp (REC prema više RE)	p-t-p (eREC prema eRE) p-t-mp(eREC prema više eRE) mp-t-mp (više eREC prema više eRE)
Mrežni čvorovi	Topologija ovisna o REC/RE funkcionalnostima	
Primjena u 5G		

REC – Radio Equipment Controller (DUS, BBU)

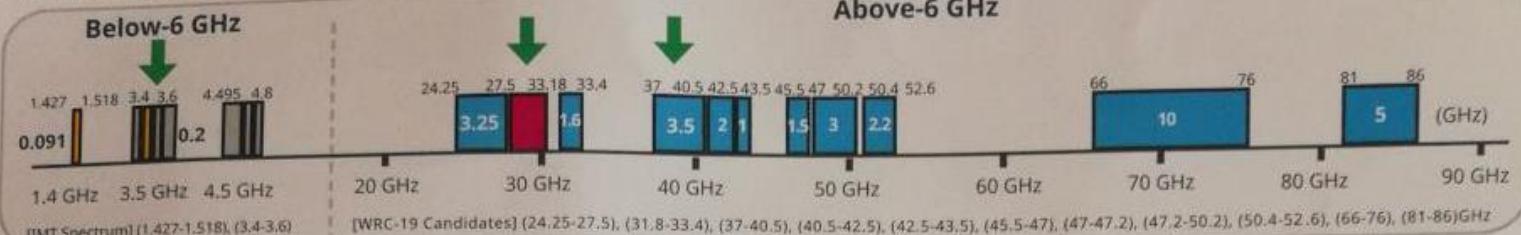
RE – Radio Equipment (RUS, RRU)

The CPRI standard offers today's wireless network equipment manufacturers with a standardized internal digital serial interface that provides both simplicity and flexibility. More importantly, it contributes to the reduction of base station infrastructure costs.

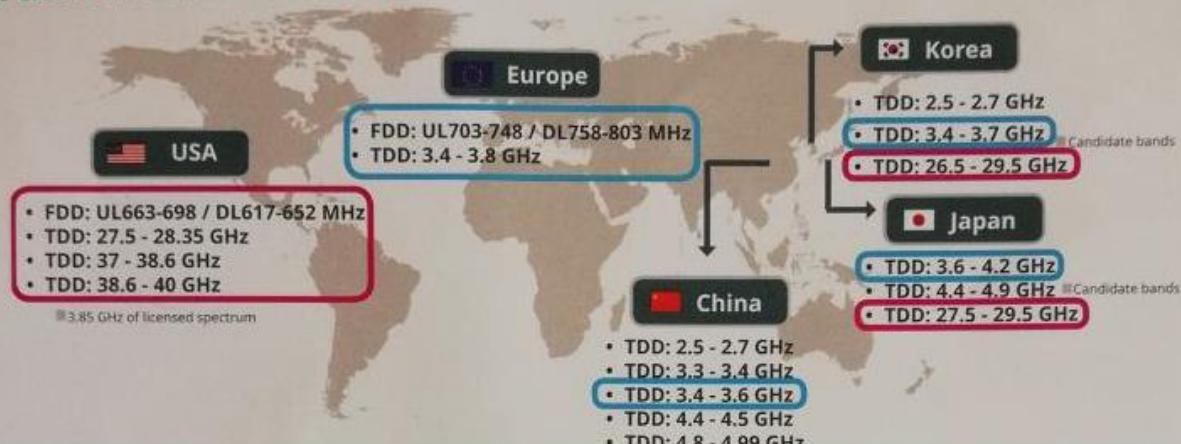


Frequency Bands for 5G

5G Candidate Frequency Bands at ITU WRC-15 (Nov,2015)



5G Spectrum Allocation Status

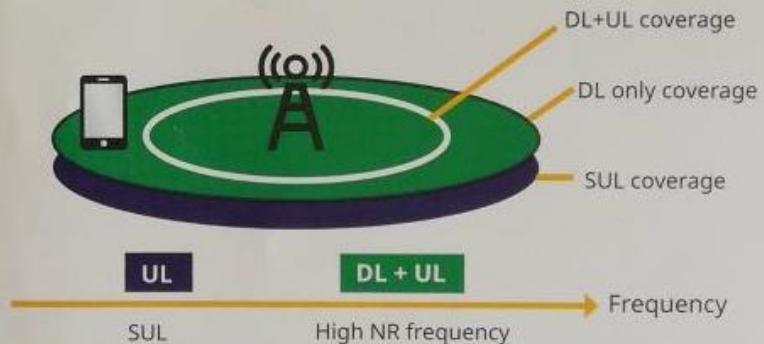


Supplementary Uplink (SUL)

To improve UL coverage for high frequency scenarios, SUL can be configured.

With SUL, the UE is configured with 2 ULs for one DL of the same cell as shown below:

Band	Common name	Uplink (MHz)
80	DCS	1710 - 1785
81	Extended GSM	880 - 915
82	EU Digital Dividend	832 - 862
83	APT	703 - 748
84	IMT	1920 - 1980
86	Extended AWS	1710 - 1780



Frekvenčijski pojasevi za 5G unutar EU



1. **700 MHz** područje. Ovo područje se oslobađa prelaskom digitalne televizije sa DVBT1 na DVBT2 standard emitiranja. U Republici Hrvatskoj ta je tranzicija završena krajem 2020. godine. U ovom području 5G će raditi u frekvenčijskom dupleksu (**FDD**) i koristiti će se za ostvarivanje pretplatničkih usluga u ćelijama koje će imati široko pokrivanje.
2. **3,4 do 3.8 GHz** područje. U ovom području tijekom 2020 godine vršilo se je eksperimentalno emitiranje u Republici Hrvatskoj. Uglavnom su se koristile bazne postaje koje su koristile radijski kanal širine 80 MHz s centralnom frekvencijom RF opsega 3,460 GHz. Čitavo ovo područje nije još u porabi jer u dvije županije na sjeveru Hrvatske je dio ovog područja zauzet sa sustavima WiMAX za fiksni bežični pristup. U ovom području kao i u svim ostalim višim RF opsezima predviđen je rad u vremenskom dupleksu (**TDD**). U ovom području predviđaju se vanjske ćelije za makro pokrivanje (iako ove ćelije mogu biti znatno manje nego ćelije na 700 MHz području), ali i za male ćelije, a vjerojatno će se pojaviti i rješenja za indor propagaciju na ovom RF području. U ovom području postoji mala varijacija oko odabranih frekvencija između pojedinih EU zemalja.
3. **26 GHz područje.** U ovom području sustavi će također raditi u vremenskom dupleksu (TDD). Postoji stanovita raznolikost između EU država oko korištenja frekvencija, pa je tako predviđeno kao u tabeli 5.2. Za sada u ovom području nema sustava 5G u radu, a koristilo bi se u budućnosti u indor propagaciji kako bi se pokrile velike sale sveučilišta, sportskih dvorana, teatara i drugih javnih ustanova gdje se očekuje veliki broj ljudi.



Tabela 5.2. Predviđena RF područja za rad 5.G sustava u pojedinim zemljama u 3,5 i 26 GHz području.

Država	Frekventni opseg 3,5 GHz TDD Mod rada	Frekventni opseg 26 GHz TDD Mod rada
Finska	3.4 - 3.8 GHz	26.5 - 27.5 GHz
Francuska	3.46 - 3.8 GHz	26 GHz
Njemačka	3.4 - 3.8 GHz	26 - 27.5 GHz
Irska	3.4 - 3.8 GHz	26 GHz
Italija	3.6 - 3.8 GHz	26.5 - 27.5 GHz
Rusija	3.4 - 3.8 GHz	26 GHz
Španjolska	3.4 - 3.8 GHz	26.5 - 27.5 GHz
Velika Britanija	3.4 - 3.6 GHz, 3.6 - 3.8 GHz (u 2019)	26.5 - 27.5 GHz



U sedmom srpnju 2021. godine HACOM je objavio dokument pod nazivom „Javna dražba za dodjelu prava uporabe radiofrekvencijskog spektra u frekvencijskim pojasevima 700 MHz, 3600 MHz i 26 GHz Dražbovna dokumentacija“ [3]

Na strani 8 ovog dokumenta govori se o predmetu javne dražbe to jest o ponuđenom radio frekvencijskom spektru, kao što je to prikazano u tabeli 5.3.

Tabela 5.3. Frekvencijski pojasevi u postupku javne dražbe za 5G sustave.

Frekvencijski pojas	Donji pojas (FDD) [MHz]	Gornji pojas (FDD) [MHz]	Neupareni pojas (TDD) [MHz]
700 MHz	703-733	758-788	
3600 MHz			3400-3800
26 GHz			26500-27500

Frekvencijski pojasevi za 5G – terminologija na svjetskom nivou

- tzv. Low-band: 500 MHz – 1 GHz
- tzv. Mid-band: 1 – 6 GHz
- tzv. High-band:



Frekvenčijski pojasevi za 5G – tzv. Low-band



Frekvenčije 0.5 - 1 GHz

- Rabi se preoblikovan spektar ranijih moblinih generacije (1G, 2G) i prethodno neiskorištene pojaseve
- Temelj za nacionalnu pokrivenost (outdoor kao i dobra indoor pokrivenost sa vanjskog site-a)
- Macro lokacije
- FDD
- U RH 700 MHz (703 – 788 MHz, BW 2x10 MHz) – svakom od operatora A1, HT i Telemach Hrvatska dodijeljeno po 2 bloka od 10 MHz
- T-mobile u SAD
 - pokrivenost 90% stavnovništva SAD-a do kraja 2021.
 - 97% stanovništva u 2022.



Frekvencijski pojasevi za 5G – tzv. Mid-band



Frekvencije 1 – 6 GHz

- Mid band I (1 do 2.6 GHz)
 - Mid band II (3.5 do 6 GHz)
-
- Uključuje 3G/4G bandove, te novo licencirani spektar
 - FDD i TDD
 - Kompromis pokrivenosti i kapaciteta
 - Massive MIMO 64x64
 - Carrier aggregation – low-band
-
- U RH 3600 MHz (3600 – 3800 MHz) - Jednom operatoru (HT) dodijeljen je BW tj. jedan blok širine 120 MHz, A1 i Telemach Hrvatska dobili svaki BW 100 MHz
-
- T-Mobile u SAD
 - Pokrivenost 42% stanovništa SAD-a u početkom 2021.
 - Plan je 90% pokrivenosti do kraja 2023.



Frekvencijski pojasevi za 5G – tzv. High-band



Frekvencije 24 – 52 GHz

-mmWave

-Visoka propusnost, veliki kapaciteti, ali manja (mala) pokrivenost signalom

-Velegradska područja

--TDD

-U RH 26 GHz (26.5 – 27.5 GHz, BW 200 i 400 MHz) - Jednom operatoru (HT) dodijeljen je BW tj. jedan blok širine 400 MHz, A1 i Telemach Hrvatska dobili svaki BW 200 MHz

-Carrier aggregation – FDD low-band?

- Dodatna poboljšanje izvedbe 5G NR mreža leže u tome da je sustav skalabilan, uparivanjem više badova zajedno.
- Razmatra se mogućnost upravljanja NR high-banda s low-bandom što će čak utrostručiti pokrivenost high-band celija.
- Trenutno za tu je svrhu NR high band uparen s LTE-om



Mjerenja Verizon iz 2020.g. - Mjerena je maksimalna dosegнута brzine na LTE i NR u DL i medijalna brzina prijenosa u DL na 5G Ultra Widebandu (mmWave spektar koji pripada High-band pojasu frekvencija)

Peak downlink (Mbps)

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

4G
Chicago

780.1

271.6

Median downlink (Mbps)

300

250

200

150

100

50

0

106.7

45.2

247

36.6

4G
Los Angeles

627

169.6

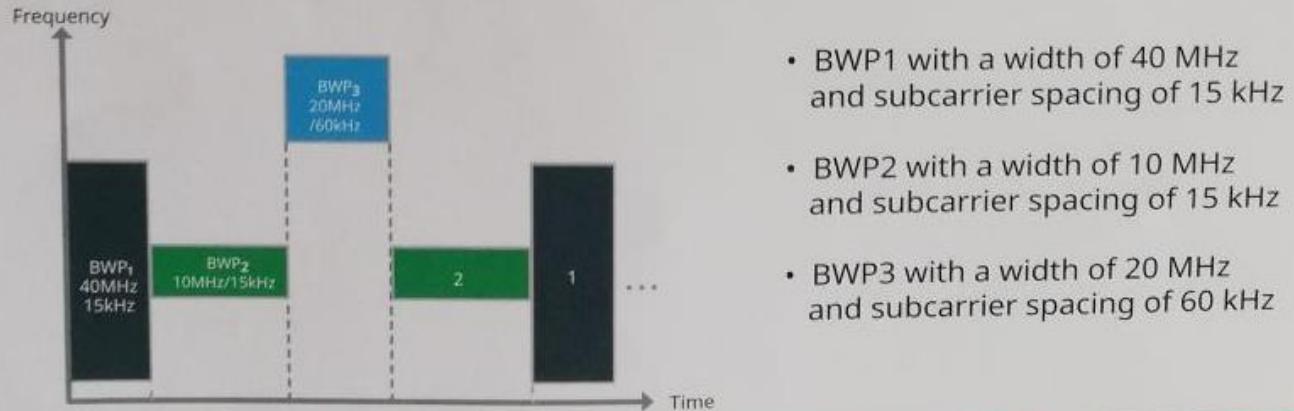


Bandwidth Adaptation

The receive and transmit bandwidth of a UE and the cell can be adjusted:

- the width can be ordered to change (e.g. to shrink during period of low activity to save power)
- the location can move in the frequency domain (e.g. to increase scheduling flexibility)
- the subcarrier spacing can be ordered to change (e.g. to allow different services)

A subset of the total cell bandwidth of a cell is referred to as a Bandwidth Part (BWP) and BA is achieved by configuring the UE with BWP(s) and telling the UE which of the configured BWPs is currently active.



Frequency Range 1 (Below 6 GHz) and Frequency Range 2 (Above 6 GHz)

Frequency Range 1 (Sub 6 GHz)

NR Band	Data SCS = 15 kHz								Data SCS = 30 kHz								Data SCS = 60 kHz (for more than 1 GHz bands)							
	0 MHz	15 MHz	20 MHz	40 MHz	50 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz	10 MHz (NOTE)	15 MHz	20 MHz	(40 MHz)	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz			
3.3-4.2 GHz	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
4.4-4.99 GHz			Yes	Yes						Yes	Yes	Yes	Yes	Yes				Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

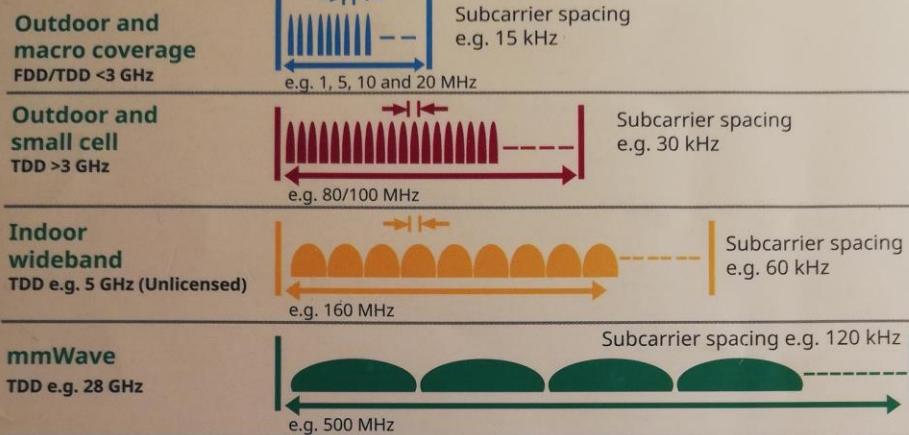
NOTE: 90% spectrum utilization may not be achieved

Frequency Range 2 (mmW)

NR Band	Data SCS = 60 kHz				Data SCS = 120 kHz			
	50 MHz	100 MHz	[200 MHz]	50 MHz	100 MHz	[200 MHz]	400 MHz	
24.25 - 29.5 GHz	Yes	Yes	Yes	[Yes]	Yes	Yes	Yes	
31.0 - 39.4 GHz	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
37 - 40 GHz	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	

- Improve spectral efficiency and deployment flexibility below 6 GHz for existing IMT radio bands
- New waveforms for wideband high data rate new applications above 24 GHz, based on availability of new IMT radio bands

Scaling of Subcarrier Spacing



Example usage models and channel bandwidths

Change of subcarrier spacing is possible, changing numerology " μ ".

12 subcarrier = $(15 \times 12) = 180 kHz$

12 subcarrier = $(30 \times 12) = 360 kHz$

12 subcarrier = $(60 \times 12) = 720 kHz$

12 subcarrier = $(120 \times 12) = 1440 kHz$

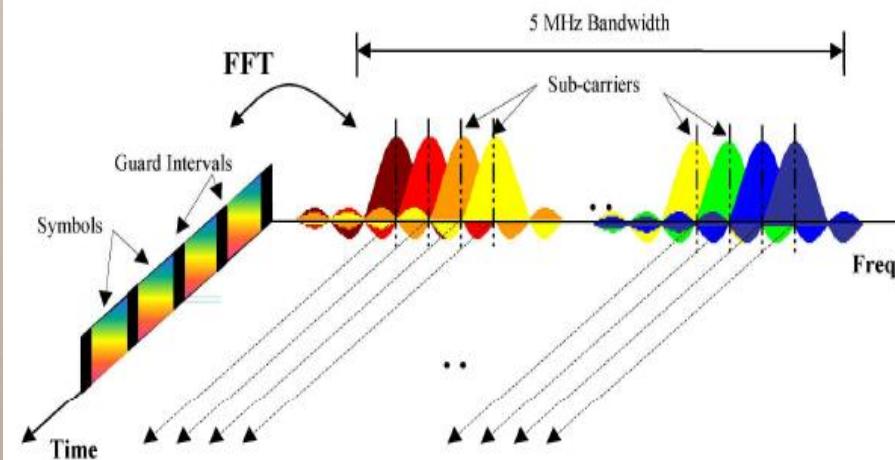
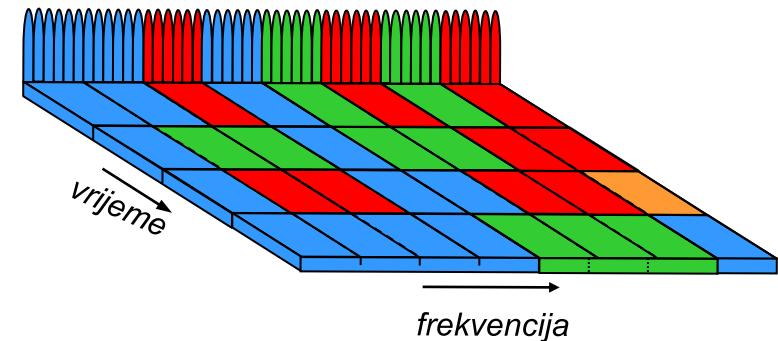
12 subcarrier = $(240 \times 12) = 2880 kHz$

Change of " μ " changes data rate on the subcarrier, hence symbol (bit) rate.

Supported transmission numerologies

μ	$\Delta f = 2\mu \cdot 15[\text{kHz}]$	Cyclic prefix	Supported for data	Supported for synch
0	15	Normal	Yes	Yes
1	30	Normal	Yes	Yes
2	60	Normal, Extended	Yes	No
3	120	Normal	Yes	Yes
4	240	Normal	No	Yes

iz LTE prezentacije:

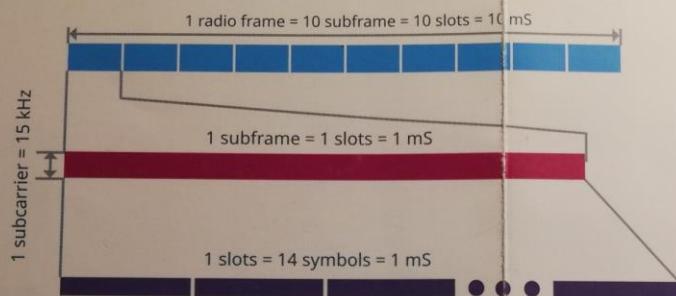


Subframe Alignment of all Numerologies

<38.211 - v2.0.0 Table 4.3.2-1>

μ	$N_{\text{slot symb}}$	$N_{\text{frame, } \mu}$	$N_{\text{Subframe, } \mu}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16
5	14	320	32

- Radio frame is always 10 ms
- Subframe is always 1 ms
- Always 14 symbols per slot
- Number of slots per subframe is adjusted to give same subframe alignment for all numerologies



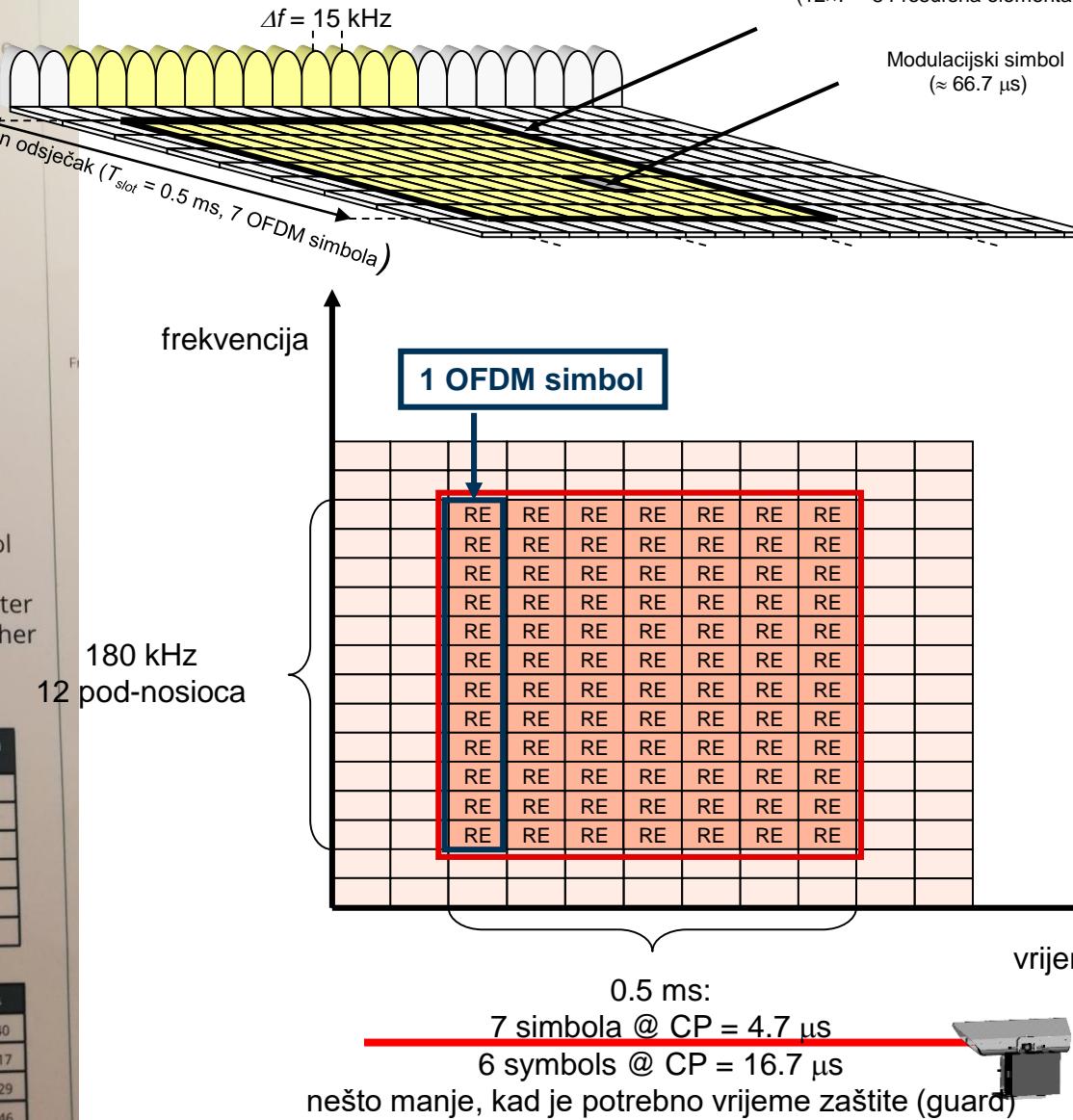
- Wider carriers have shorter symbol length (Nyquist sampling theory)
- Also shorter CP, suited to the shorter propagation range and LOS at higher frequencies

<38.211 - v2.0.0 Table 4.3.2-1>

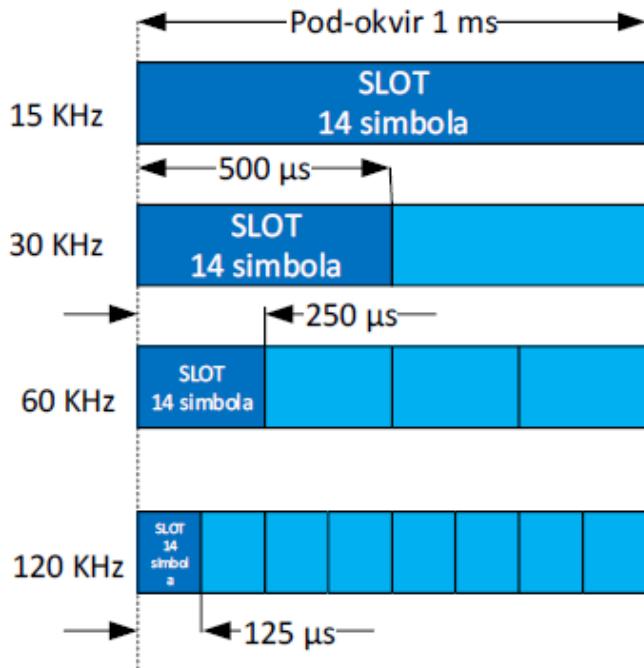
μ	$N_{\text{slot symb}}$	$N_{\text{frame, } \mu}$	$N_{\text{Subframe, } \mu}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16
5	14	320	32

OFDM Symbol Duration

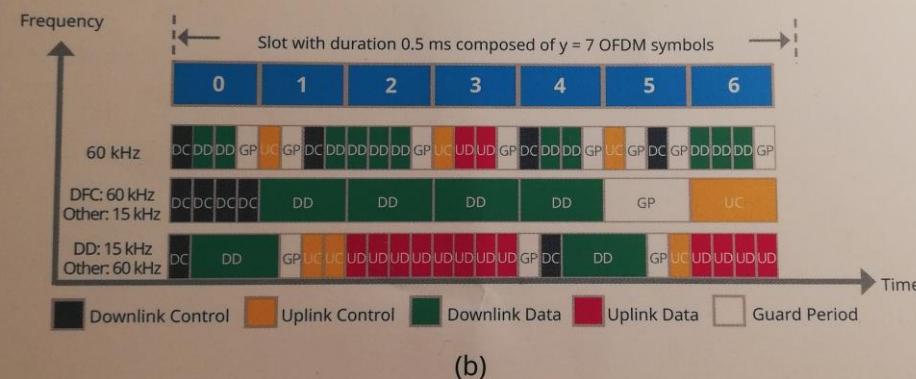
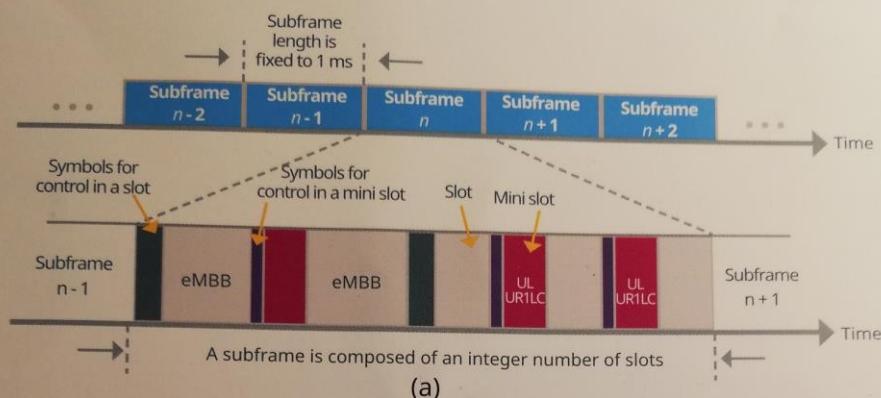
Parameter/Numerology (μ)	0	1	2	3	4
Subcarrier Spacing (Khz)	15	30	60	120	240
OFDM symbol Duration (us)	66.67	33.33	16.67	8.33	4.17
Cyclic Prefix Duration (us)	4.69	2.34	1.17	0.57	0.29
OFDM Symbol including CP (us)	71.35	35.68	17.84	8.92	4.46



5G NR – trajanje podokvira i dalje 1ms, a svaki vremenski odsječak (time slot) ima i dalje TOČNO 14 simbola



5G Flexible Frame Structure



Glavne karakteristike 5G NR:

Razmak između podnositelja	15 KHz	30 KHz (2x15 KHz)	60 KHz (4x15 KHz)	15x2 ⁿ KHz (n=3, 4, ...)
Trajanje OFDM simbola	66,67 µs	33,33 µs	16,67 µs	66,67/2 ⁿ µs
Trajanje cikličkog prefiksa (CP)	4,69 µs	2,34 µs	1,17 µs	4,69/2 ⁿ µs
OFDM simbol uključujući CP	71,35 µs	35,68 µs	17,84 µs	71,35/2 ⁿ µs
Broj OFDM simbola po slotu	14	14	12 ili 14	14
Trajanje slota	1000 µs	500 µs	250 µs	1000/2 ⁿ µs

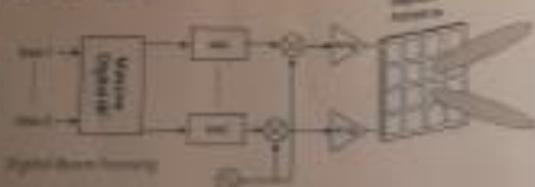
MIMO Evolution for 5G

Massive-MIMO is being used as a new technology for improving MIMO characteristics, targeting the 5G network. Massive-MIMO uses up to 100 antenna elements to support simultaneous communications with multiple mobile terminals, greatly improving the spectrum usage efficiency.



Sub-Array Massive-MIMO

In a massive MIMO configuration, a TDD is connected to each antenna element so that it can be digitally controlled without using high-performance DR using digital signal processing.



Evolution from current MIMO

- Higher data rates:• Higher Spatial Layers• Higher SINR transmission
- Cell-Splitting using SDR, allowing for increased 3D beamforming
 - More subcells at higher frequencies, such as mmWave due to smaller form factors.
- Support multiple Service evolution-ready
 - User specific beams
 - Reconfigurable Beam Antennas with smart number of beams

Evolution of Beam Forming

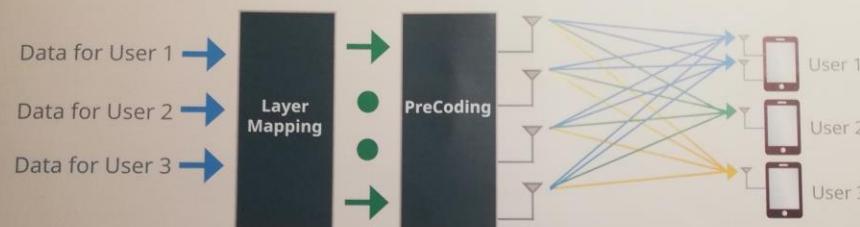
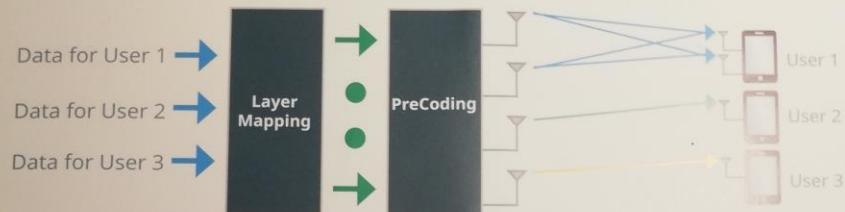


When using a large number of Tx elements versus number of required beams, we can create and steer a number of beams simultaneously (M>N).

Massive Mimo Key Concepts

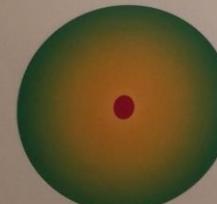
Traditional 'Spatial Multiplexing' MIMO uses similar number of Tx and Rx beams, and creates multiple data streams by using channel estimation/coding.

MU - MIMO



Beam Steering

Single Antenna Low Frequency



A few antenna Low/Mid Frequency



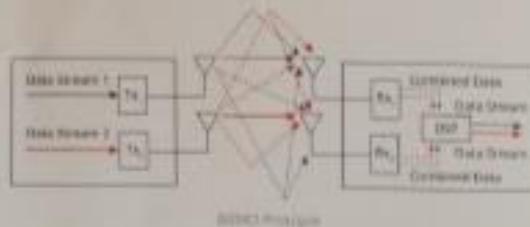
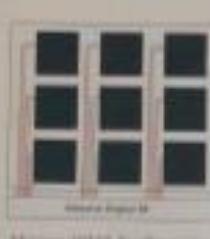
Many Antenna Very High Frequency



Using a large number of antenna elements, we can create a narrow beam. Can be applied to both Tx and Rx antennas.

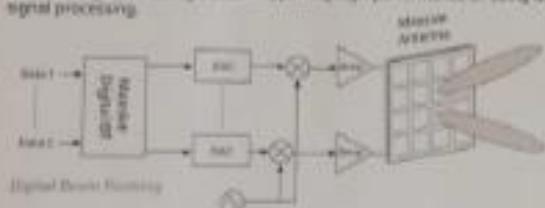
MIMO Evolution for 5G

Massive-MIMO is being used as a new technology for improving MIMO characteristics, targeting the 5G rollout. Massive-MIMO uses upward of 100 antenna elements to support simultaneous communications with multiple mobile terminals, greatly improving the spectrum usage efficiency.



Sub-Array Massive-MIMO

In a Massive-MIMO configuration, a DAC is connected to each antenna element to form a digital BF configuration supporting high-performance BF using digital signal processing.



Evolution from current MIMO:

Higher data rates from:

- Multiple Spatial Layers
- Higher SNR from diversity

Use large array (e.g. 3G, 4G) for enhanced DOF leveraging:

- Most suited to higher frequencies such as mmW due to smaller form factor

Support multiple beams simultaneously

- User specific beams
- Requires many more antennas than number of beams

Evolution of Beam Forming

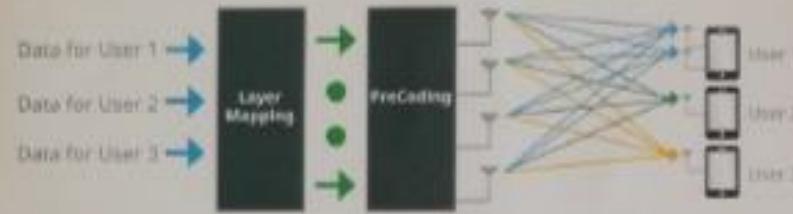
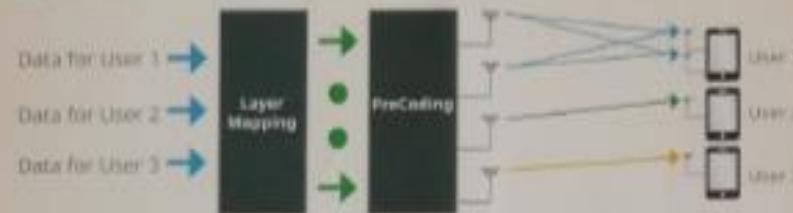


When using a massive number of Tx elements versus number of required beams, we can create and steer a number of beams simultaneously. ($M \gg K$)

Massive Mimo Key Concepts

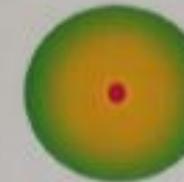
Traditional 'Spatial Multiplexing' MIMO uses similar number of Tx and Rx beams, and creates multiple data streams by using channel estimation/coding.

MU - MIMO



Beam Steering

Single Antenna
Low Frequency



A Few Antenna
Low/Mid Frequency



Many Antenna
Very High Frequency



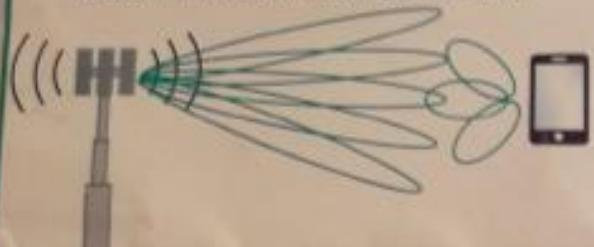
Using a large number of antenna elements, we can create a narrow beam.
Can be applied to both Tx and Rx antennas.

Korištenje Beamtracking-a u 5G NR:

Beam Acquisition and Beam Tracking - Procedures P1, P2, P3

Beam Management Concepts

TRP sweeps beams in space, UE determines best beam pair to use.



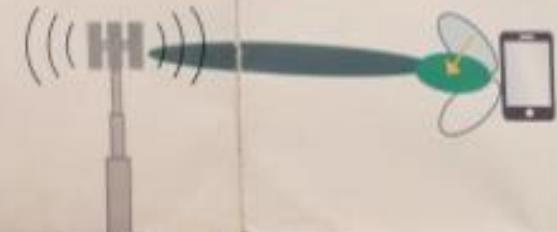
P1 is used to enable UE measurement on different TRP Tx beams to support selection of TRP Tx beams and UE Rx beams. For beamforming at TRP, it typically includes a intra/inter-TRP Tx beam sweep from a set of different beams. For beamforming at UE, it typically includes a UE Rx beam sweep from a set of different beams.

Switching TRP beams based on UE measurements.



P2 is used to enable UE measurement on different TRP Tx beams to possibly change inter/intra-TRP Tx beam(s), from a possibly smaller set of beams for beam refinement than in P1. Note that P2 can be a special case of P1.

UE switches beams based on UE measurement.



P3 is used to enable UE measurement on the same TRP Tx beam to change UE Rx beam in the case UE uses beamforming.

TRP – Transmission/Reception Point



Usporedba osnovnih karakteristika zračnih sučelja 4G LTE sustava i potpunog 5G NR sustava:

	4G LTE	5G NR
Maksimalna širina kanala	20 MHz	50MHz (@15KHz), 100MHz (@30KHz), 200MHz (@60KHz), 200MHz (@120KHz),
Razmak podnosioca	15 KHz	$2^n \times 15$ KHz za TDD i FDD mod rada
Maksimalni broj podnositelja	1200	3300
Valna forma	CP-OFDM za DL, SC-FDMA za UL	CP-OFDM za DL, CP-FDMA i DFT-s-OFDN za UL
Vremensko trajanje pod-okvira	1ms (podijeljen na 2 TS od 0,5ms)	1ms
Kašnjenje u zračnom sučelju	0,5 ms	0,5 ms
Vremenska dužina TS	7 OFDM simbola svakih 500μs	14 simbola (trajanje ovisi broju podnosioca) 2, 4 i 7 simbola za mini slot
Kodiranje u kanalu	Turbo kod (podatci prometa); TBCC (podaci kontrole - signalizacije)	Polar kod (conteola-signalizacija); LDPC (podaci)
Inicijalni pristup	PVS ¹ Formiranje latice u digitalnoj domeni	Formiranje latice
MIMO	8x8	8x8
Dupleks	FDD, polu dupleks FDD, Polu statički TDD, Dinamički TDD	FDD, polu dupleks FDD, Polu statički TDD, Dinamički TDD





- 1. Uvod o svjetlovodnim komunikacijama**
- 2. Topologija mreža**
- 3. Zašto svjetlovodne komunikacije?**
- 4. Svjetlovodne niti**
- 5. Svjetlovodni kabeli**
- 6. Razdjelnici**
- 7. Prespojne i završne vrpce – *pigtails* i *patchcords***
- 8. Konektori**
- 9. Zaključno – SFP transcievers, Instrumenti za mjerjenje svjetlovodnih mreža, otvoreni pristup mreži**



Podatkovni izvori i usluge → Davatelji sadržaja (Content Providers)



(H/S)D TV
TVoD, VoD

Igre, poslovni
backup, ERP

Glasovna
i video telefonija

Internetske usluge (browsing, mail,
social networking, cloud
computing i sl.)

facebook

Twitter

YouTube

flickr

digg

Technorati

LinkedIn

vimeo

del.icio.us

GU

myspace.com



Podatkovni centri
(DC; Data Centre)

Mrežno povezivanje →

Mrežni operatori

(Network Access Providers)

DC

LH (Long-haul)

GLOBAL
WAN (Wide Area Networks)

Globalne/nacionalne

Elektroničke komunikacijske
mreže (EKM)

MAN (Metropolitan Area Networks)

Ježgra/agregacija

MAN (Metropolitan Area Networks)

Mobile Back-

haul

Mobilni
korisnici

Mobile

ACCESS
Pristupne

Prstup/rub (Access/Edge)

bakar (parice, koaks),

svjetlovodi i bežično

Lokalne korisničke mreže
(Local/Area Network)



Veliki
poslovni
korisnici

METRO

Gradske/regionalne



Bussiness
(DC)

Mali/srednji
poslovni korisnici



Stambeni
korisnici

Korištenje usluga/podataka → (Krajnji) korisnici/preplatnici (Customers/Subscribers)

↑broj korisnika

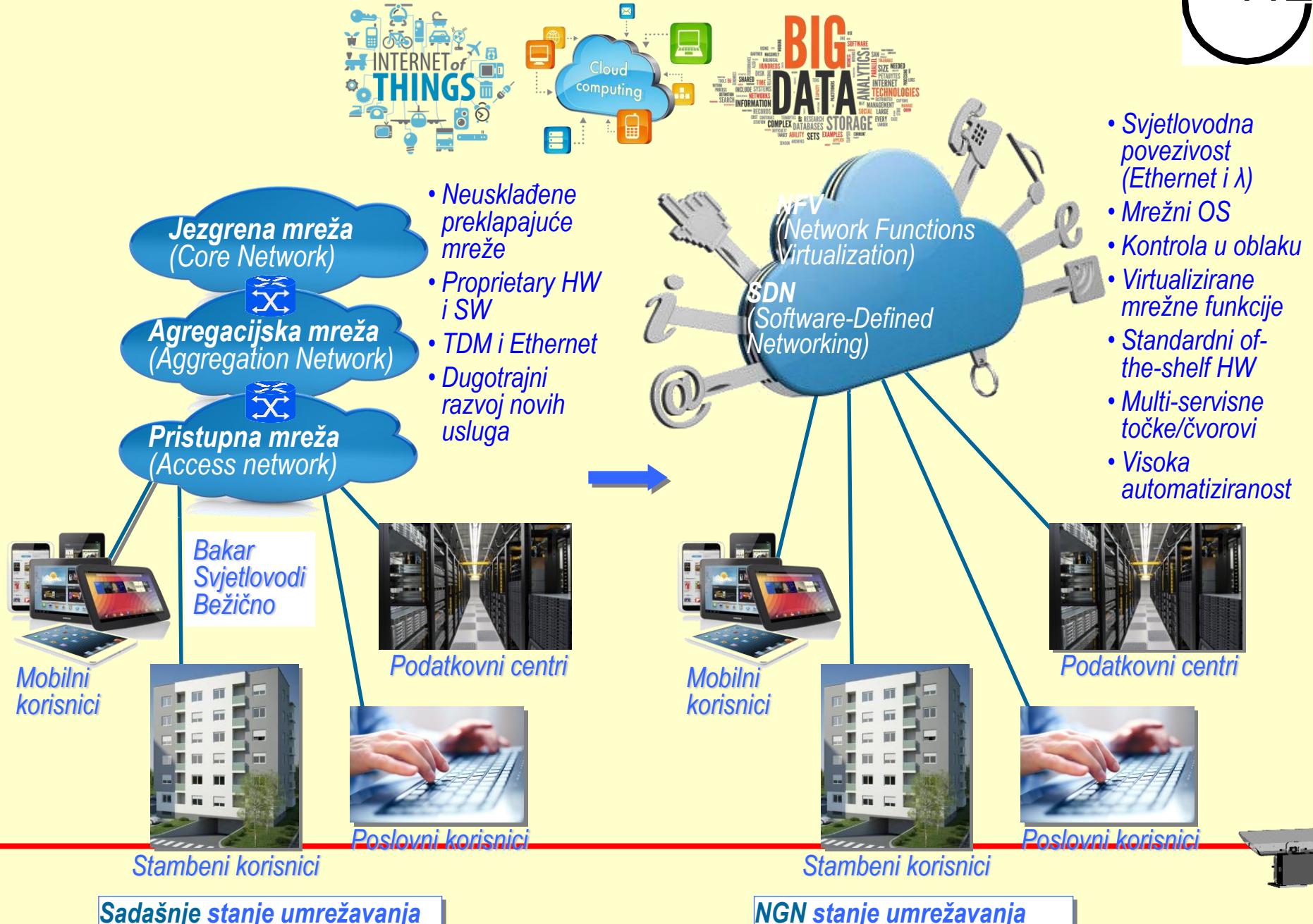
✗ ↑pristupne/rubne brzine

✗ ↑broj novih usluga

potrebe širine pojasa u
agregaciji/jezgri/DCima

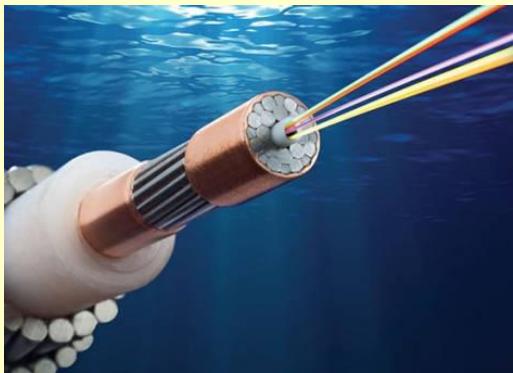


Konvergencija fiksnih i mobilnih mreža



GDJE SE KORISTE SVJETLOVODNE KOMUNIKACIJE?

- Prekoceanske veze, prekomorske veze



<http://www.submarinecablemap.com/#/>

Submarine Cable List **Italy-Croatia**

RFS: 1994

Cable Length: 230 km

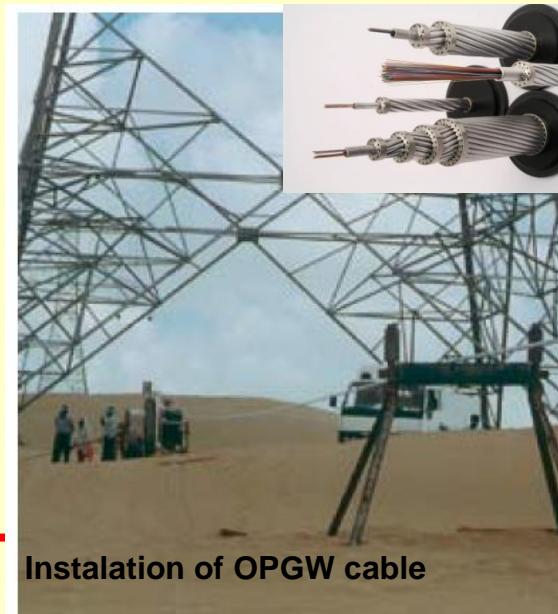
Owners: Telecom Italia Sparkle,
T-Hrvatski Telekom

Landing Points

Mestre, Italy

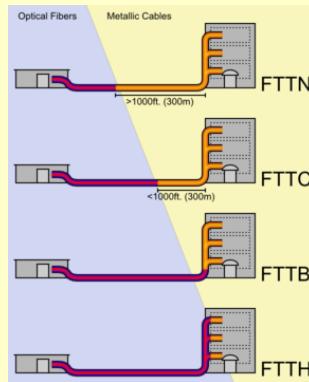
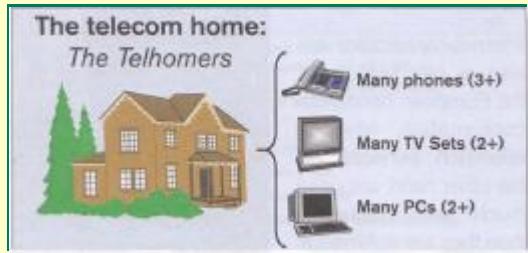
Umag, Croatia

- Komunikacije na velike udaljenosti x*100 km – x*1000 km (WDM, DWDM, EDFA)
- WAN mreže i METRO mreže (WDM, Ethernet, SONET/SDH)
- FTTx (FTTH) – PON mreže do 60 km
- LAN mreže – MM fiber
- Spremanje podataka
(Data centar) – MM fiber



GDJE SE KORISTE SVJETLOVODNE KOMUNIKACIJE?

- FTTx (Telekom operateri, davatelji usluga kabelske televizije, Triple play usluga (podaci, glas, slika), IPTV, VoIP)



- Jezgra mreže javnih mobilnih operatera
- Od baznih postaja do jezgra mreže u 4G i 5G mrežama

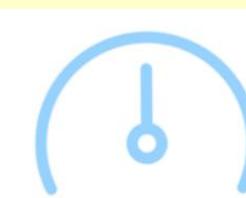


- Jezgra mreže brzih računalnih mreže
- Komunikacija s udaljenim objektima
- Mjerenja električnog polja



3.5G

42 Mbps
Max Theoretical Speed



4G

1 Gbps
Max Theoretical Speed



5G

10 Gbps
Max Theoretical Speed

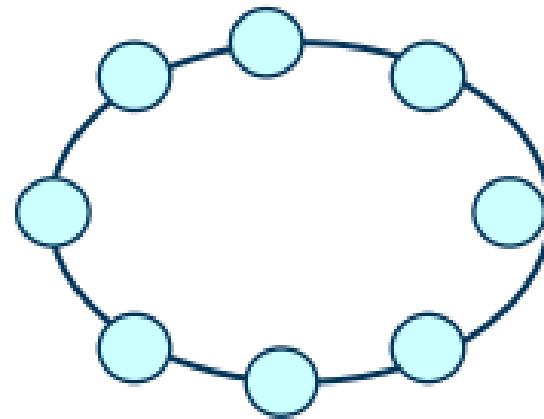
TOPOLOGIJA FIKSNIH MREŽA



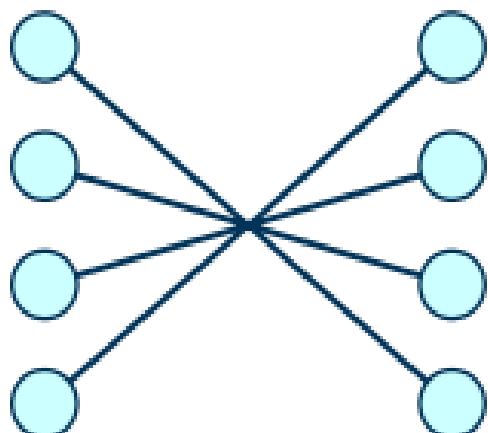
Točka-točka (Point to point)



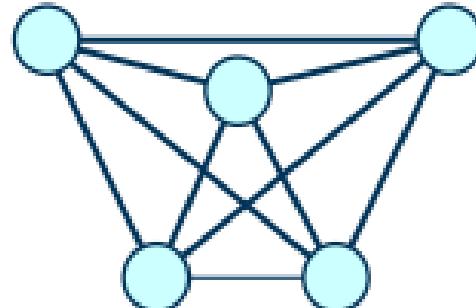
Sabirnica (Bus)



Prsten
(Ring)

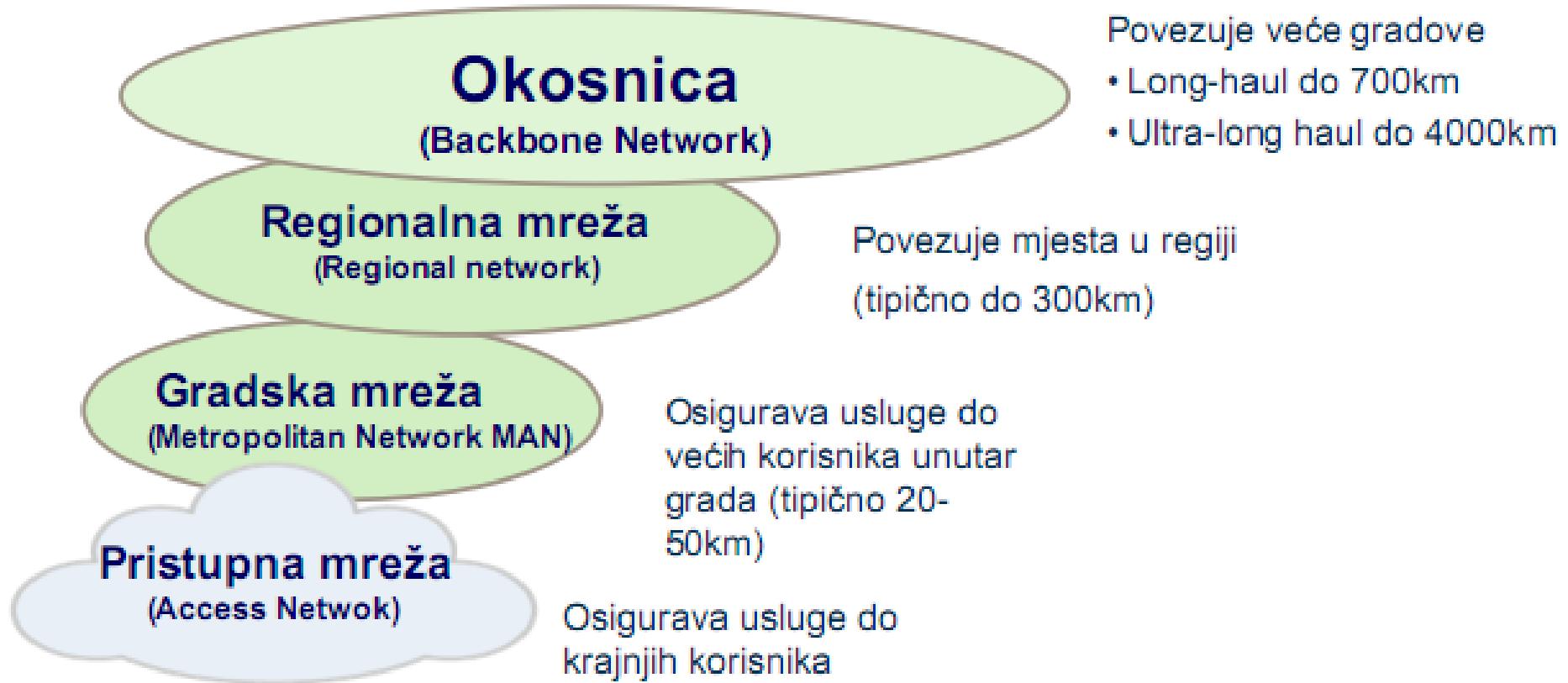


Zvijezda
(Star)

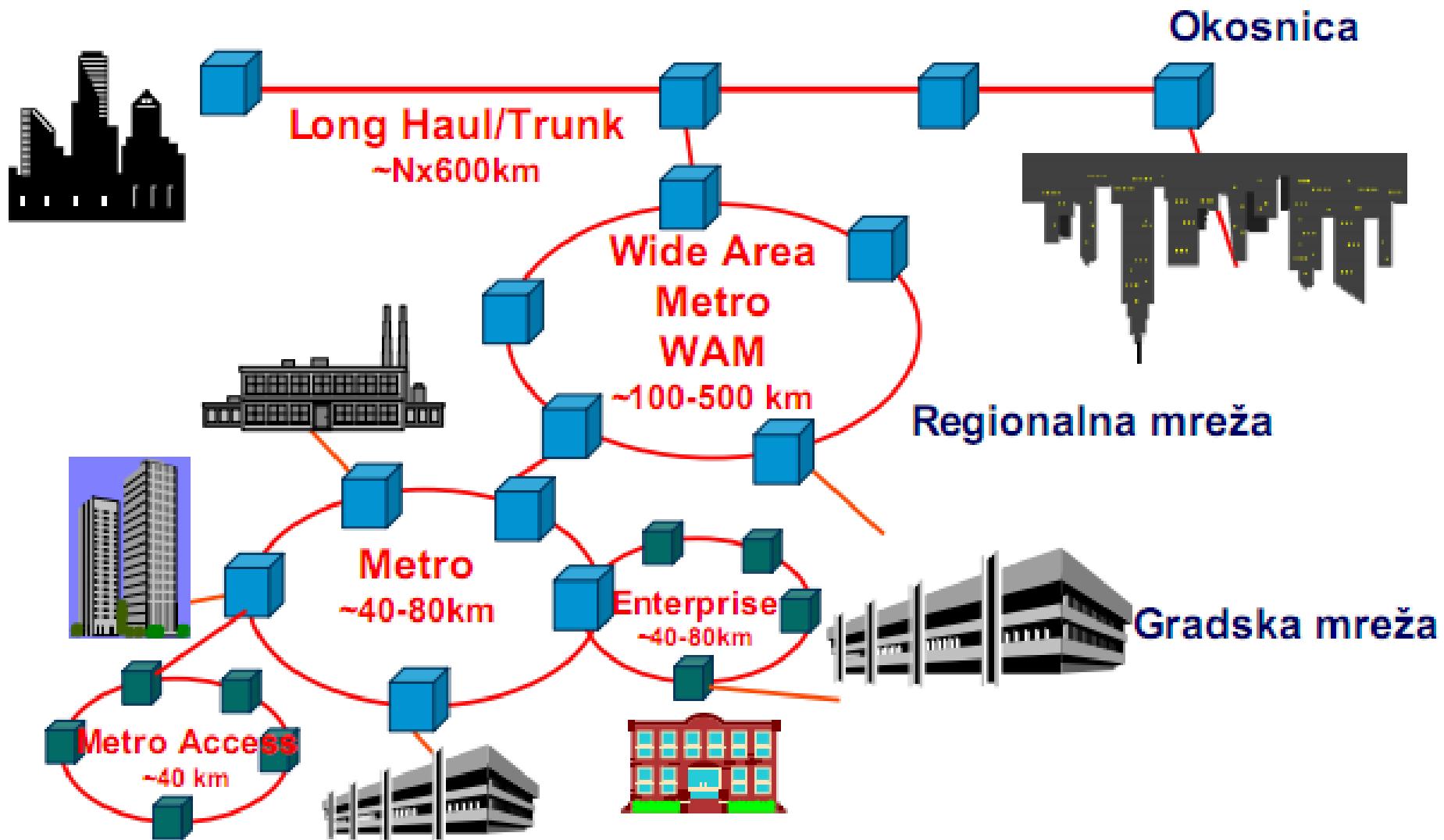


Povezana
mreža
(Mesh)

MREŽE KOJE KORISTE SVJETLOVODNE KABELE

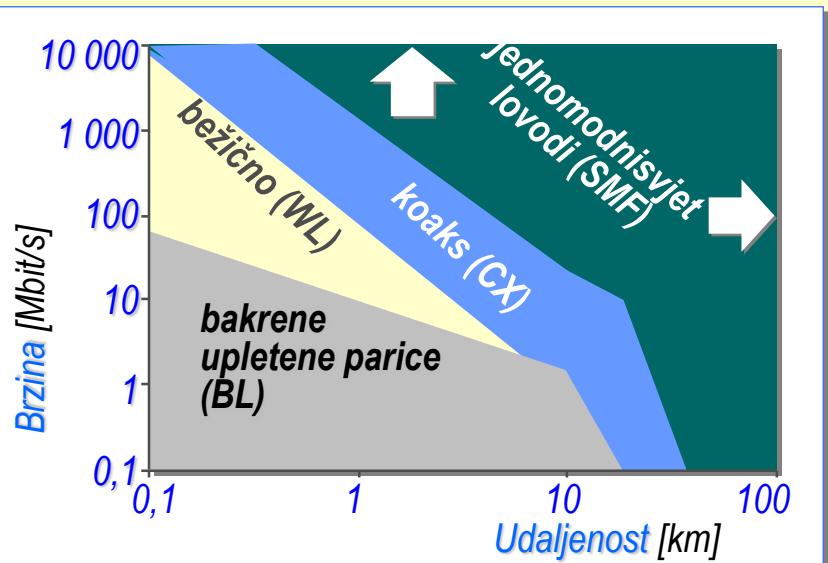


TIPIČNA (SVJETLOVODNA) MREŽA

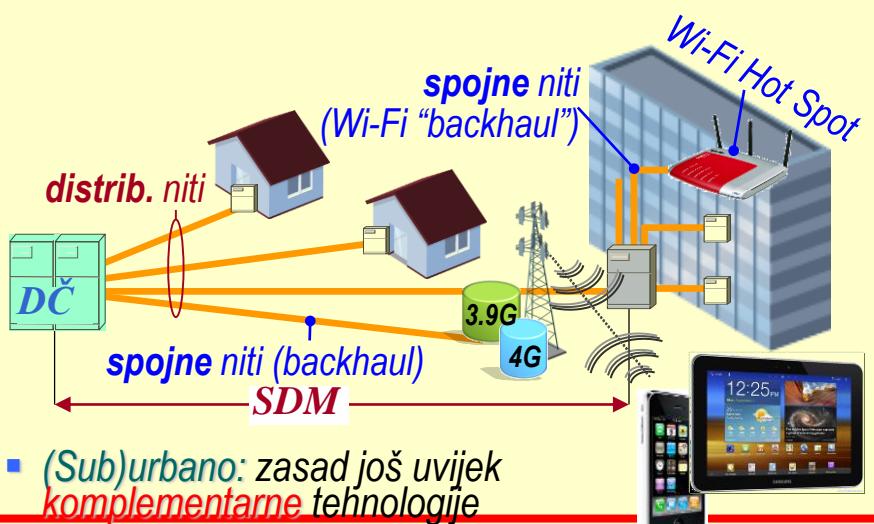


Potencijal mrežnih prijenosnih medija

Bežične tehnologije - LTE & Wi-Fi



Bežične tehnologije - LTE & Wi-Fi



- (Sub)urbano: zasad još uvijek **komplementarne** tehnologije
- Tешко dostupno ruralno: **konkurentne** tehnologije $\leftrightarrow \uparrow$ Cijena pristupa!

Naziv	Obitelj (specifikacija)	Maks. brzina D/U (Mbit/s)
LTE	3GPP (UMTS Rel-8/9)	10/5 (Cat 1) 50/25 (Cat 2) 100/50 (Cat 3) 150/50 (Cat 4) 300/75 (Cat 5)
	ITU-T 3.9G/4G (IMT-2000)	10/5(Cat 1) 50/25(Cat 2) 100/50(Cat 3) 150/50 (Cat 4) 300/75 (Cat 5) 300/50 (Cat 6) 300/150 (Cat 7) 1200/600 (Cat 8)
LTE- Advanced	3GPP (UMTS Rel-10)	10/5(Cat 1) 50/25(Cat 2) 100/50(Cat 3) 150/50 (Cat 4) 300/75 (Cat 5) 300/50 (Cat 6) 300/150 (Cat 7) 1200/600 (Cat 8)
	ITU-T 4G (IMT-Advanced)	10/5(Cat 1) 50/25(Cat 2) 100/50(Cat 3) 150/50 (Cat 4) 300/75 (Cat 5) 300/50 (Cat 6) 300/150 (Cat 7) 1200/600 (Cat 8)

LTE = Long Term Evolution; Cat = kategorija korisničkog uređaja

Wi-Fi IEEE 802.11.x x (širina kanala/modulacija)	Frekvencija	MIMO tokova	Maks. agr. brzina (teor.)
n (20/40MHz; 64-QAM)	2,4/5 GHz	do 4	600 Mb/s
ac (40/80/160MHz; 256-QAM)	5 GHz	do 8	6,770 Gb/s

- stvarna brzina često puno niža od teoretski mogućih:
 - brzina na razini bazne postaje je **dijeljena** $\rightarrow \downarrow$ ostvariva pojedinačna pristupna brzina pri \uparrow broju korisnika koji u području pokrivanja istovremeno ostvaruju pristup
 - u pokretnim mrežama govorna komunikacija ima **prednost** pred ostalim uslugama $\rightarrow \downarrow$ ostvariva pristupna brzina pri opterećenju mreže govornim prometom
- LTE propagacija u zgradama/pokrivanje slabiji u području 1,8/2,6GHz \rightarrow 700/800 MHz (digitalna dividenda)/900 MHz

ZAŠTO SVJETLOVODNE KOMUNIKACIJE?



Velika širina pojasa

- ⇒ veća brzina prijenosa
- ⇒ veća količina prenesenih podataka

$$f_c = \frac{C}{\lambda}, \quad B \ll f_c \rightarrow B \approx 0.01f_c$$

$\lambda \approx 850\text{-}1680 \text{ nm}$ $f \approx 350 \text{ - } 180 \text{ THz}$

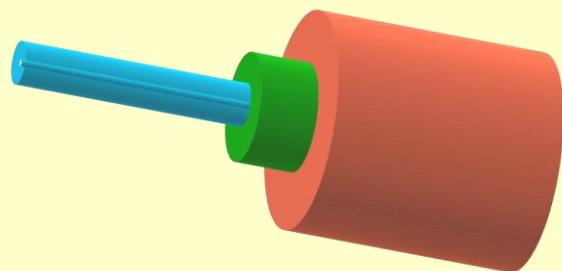
$B \approx 3.6 \text{ - } 1.8 \text{ THz}$

Tehnika ekstrema:

Male snage – generatori – LD i LED – 1 mW do 10 mW

Velike gustoće zračenja – promjer zračenja μm^2

Svjetlovodi – staklo promjera 9-62,5 μm , vanjske dimenzije 125/250 μm , konektori točno jezgra na jezgru



jezgra plašt
 $n_1 > n_2$ primarna izolacija



Mjere opreza



- Nikada ne gledati okom u izvor laserskog zračenja niti u aktivnu optičku nit! Svjetlost lasera trajno će i neizlječivo oštetiti oko i vid!
- IR svjetlost je oku nevidljiva stoga niti nema smisla pogledom provjeravati ima li signala ili nema – za to koristiti potrebnu opremu i instrumente kao što je mjerač optičke snage



Frekvencije na kojima rade svjetlovodne mreže

Prvi optički prozor oko $\lambda = 850 \text{ nm}$, središnja frekvencija tog pojasa (banda) $f = 352,94 \text{ THz}$

Drugi optički prozor oko $\lambda = 1300 \text{ nm}$, središnja frekvencija tog pojasa (banda) $f = 230,77 \text{ THz}$

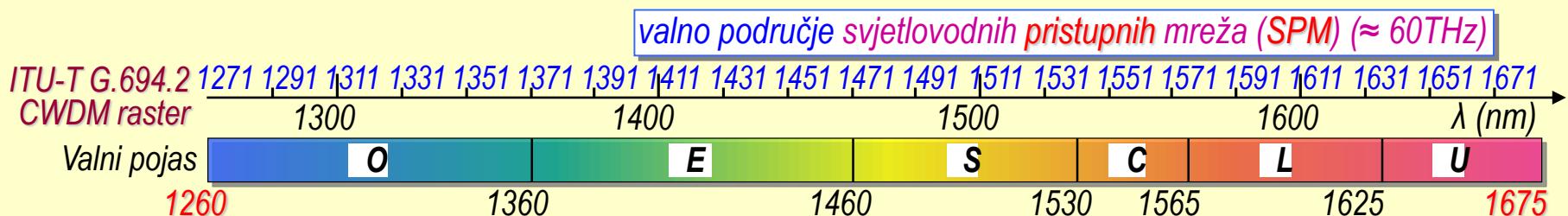
Treći optički prozor oko $\lambda = 1550 \text{ nm}$, središnja frekvencija tog pojasa (banda) $f = 193,55 \text{ THz}$

Naziv	Raspon (nm)
O Original	1260÷1360
E Extended	1360 ÷ 1460
S Short wavelengths	1460 ÷ 1530
C Conventional	1530÷1565
L Long wavelengths	1565÷1625
U Ultralong wavelengths	1625÷1675

$$f_c = \frac{C}{\lambda}, \quad B \ll f_c \rightarrow B \approx 0.01 f_c$$

$$\lambda \approx 850-1680 \text{ nm} \quad f \approx 350 - 180 \text{ THz}$$

Teoretski moguća širina pojasa $B \approx 3.6 - 1.8 \text{ THz}$



Koje brzine prijenosa možemo postići?

80-90% linkova koristi OOK modulaciju (on-off keying) – AM

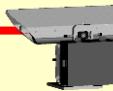
Za AM približno 1 Hz spektra $\approx 1 \text{ b/s}$, bolje modulacije veća iskoristivost spektra i po 3-4 b/s/Hz

CWDM razmak kanala 20 nm u pojasu 1550 nm – moguće koristiti u jednoj svjetlovodnoj niti do 18 kanala istodobno – 18xveći kapacitet niti

DWDM razmak kanala može biti: $200 \text{ GHz} = 1.6 \text{ nm}$ ili $100 \text{ GHz} = 0.8 \text{ nm}$ ili $50 \text{ GHz} = 0.4 \text{ nm}$ ili $25 \text{ GHz} = 0.2 \text{ nm}$ – moguće koristiti standardno 32, 64 ili čak 128 kanala istodobno u jednoj svjetlovodnoj niti

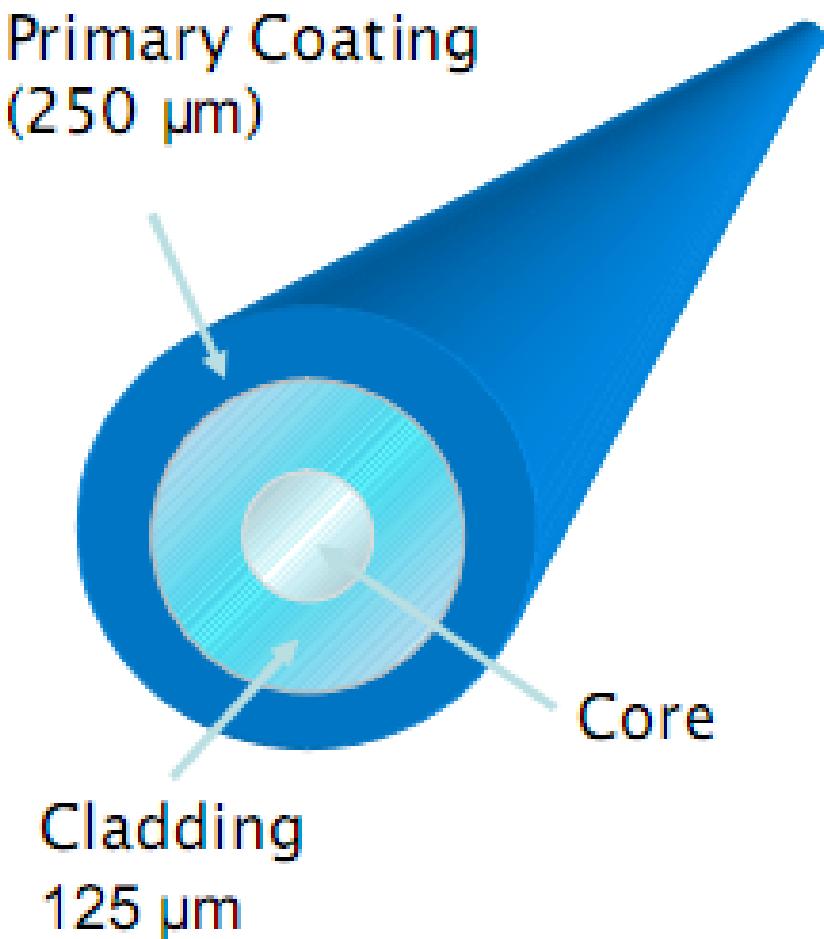
Standardne brzine prijenosa u jednom kanalu su:

- $1 \text{ Gb/s} \rightarrow \text{vrijeme trajanja jednog impulsa } T=1/10^9= 1 \text{ ns}$
- $2,5 \text{ Gb/s} \rightarrow \text{vrijeme trajanja jednog impulsa } T=1/(2,5*10^9)=400 \text{ ps}$
- $10 \text{ Gb/s} \rightarrow \text{vrijeme trajanja jednog impulsa } T=1/10^{10}=100 \text{ ps}$
- $40 \text{ Gb/s} \rightarrow \text{vrijeme trajanja jednog impulsa } T=1/(40*10^9)= 25 \text{ ps}$



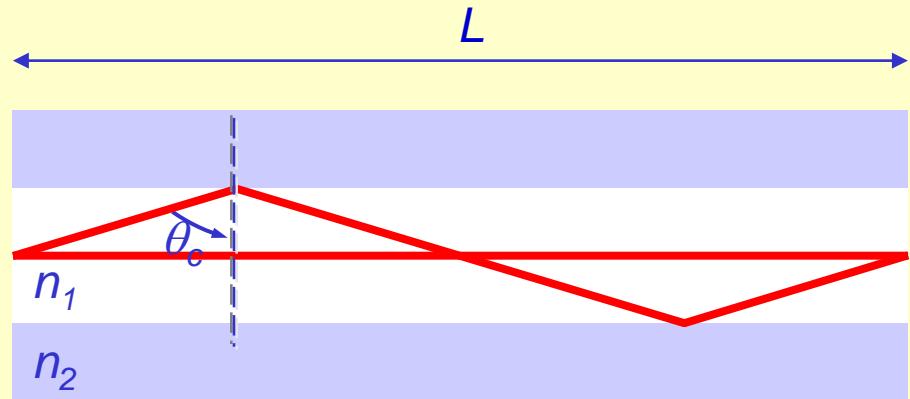
Struktura optičke niti (fiber-a)

- Core – Jezgra
Staklena jezgra po kojoj putuje svjetlo
- Cladding - Ovojnica
Staklena ovojnica s drugim indeksom loma koja reflektira svjetlo tako da ono ostaje unutar jezgre
- Primary Coating -Primarni pokrivni sloj
 - tanki sloja materijala koji štiti staklenu nit koji je obojen sukladno kolor kodiranju svj. niti



Svjetlovodno vlakno:

Svjetlovodno vlakno, svjetlovod, optička nit ili fiber je dielektrični cilindrični valovod kojim se EM val širi totalnom refleksijom na granici jezgra – plašt

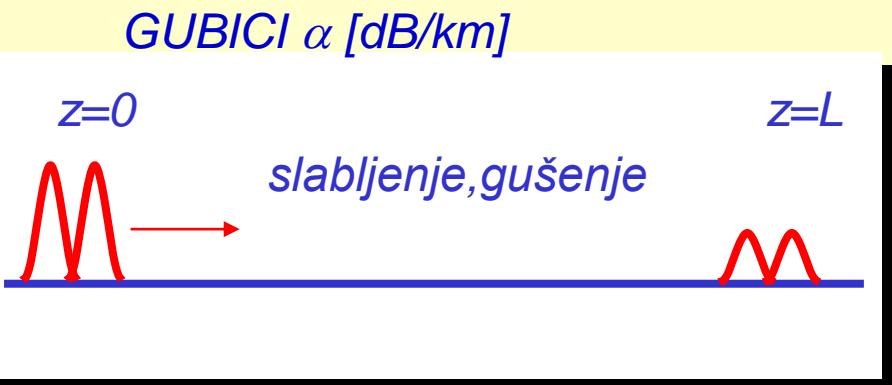


Snellov zakon loma:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Mogućnost širenja: $\theta \geq \theta_c$

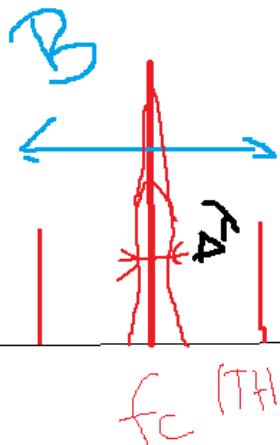


DISPERZIJE [međumodalna, kromatska i polarizacijska]

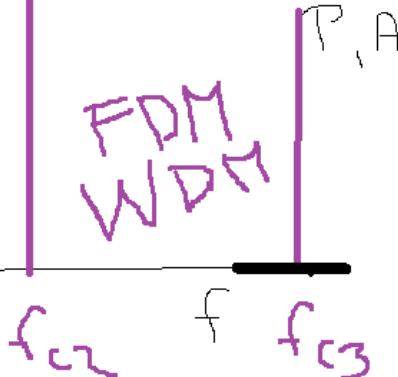


NELINEARNI EFEKTI [Kerr-ov, SRS, SBS], $P_{uk} > 10 \text{ mW}$



P_A 

90% AM (00W) \rightarrow 16QAM



101

L



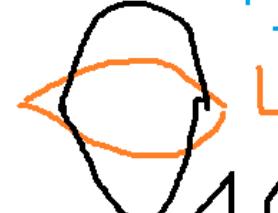
$$(x \cdot 1\text{ THz}) \cdot B \ll f_c (x \cdot 100\text{ THz})$$

SM



$$\Delta t = D_{CR} \cdot L \cdot \Delta \lambda$$

$\frac{\text{ps}}{\text{km} \cdot \text{nm}}$



$$10\% = \Delta t$$

$$B = 1 \frac{G}{s} \quad T = 1 \text{ ns} = \frac{1}{10^9 \frac{s}{b}} \quad \Delta t = 100 \text{ ps}$$

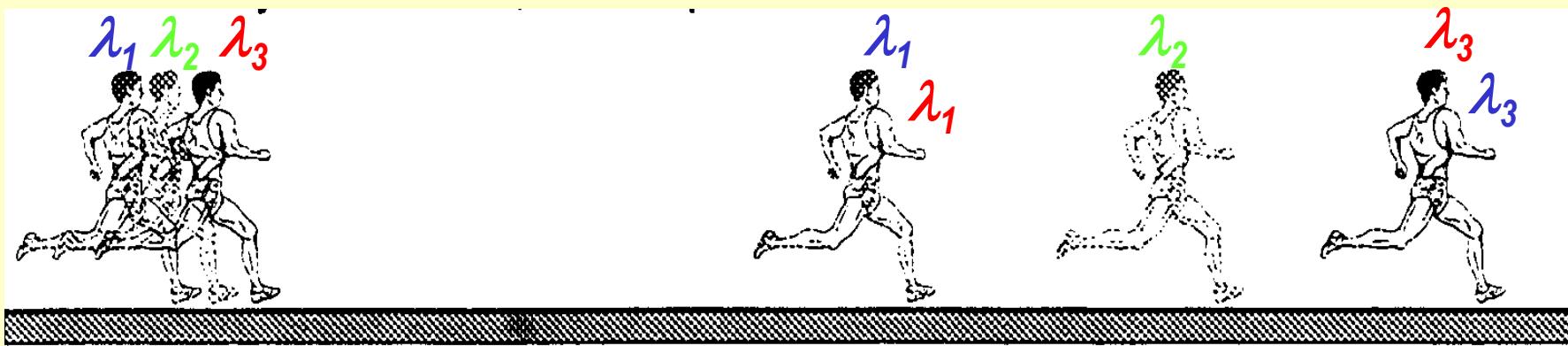
Vrste disperzije:

Nekromatska (ne ovisi o valnoj duljini):

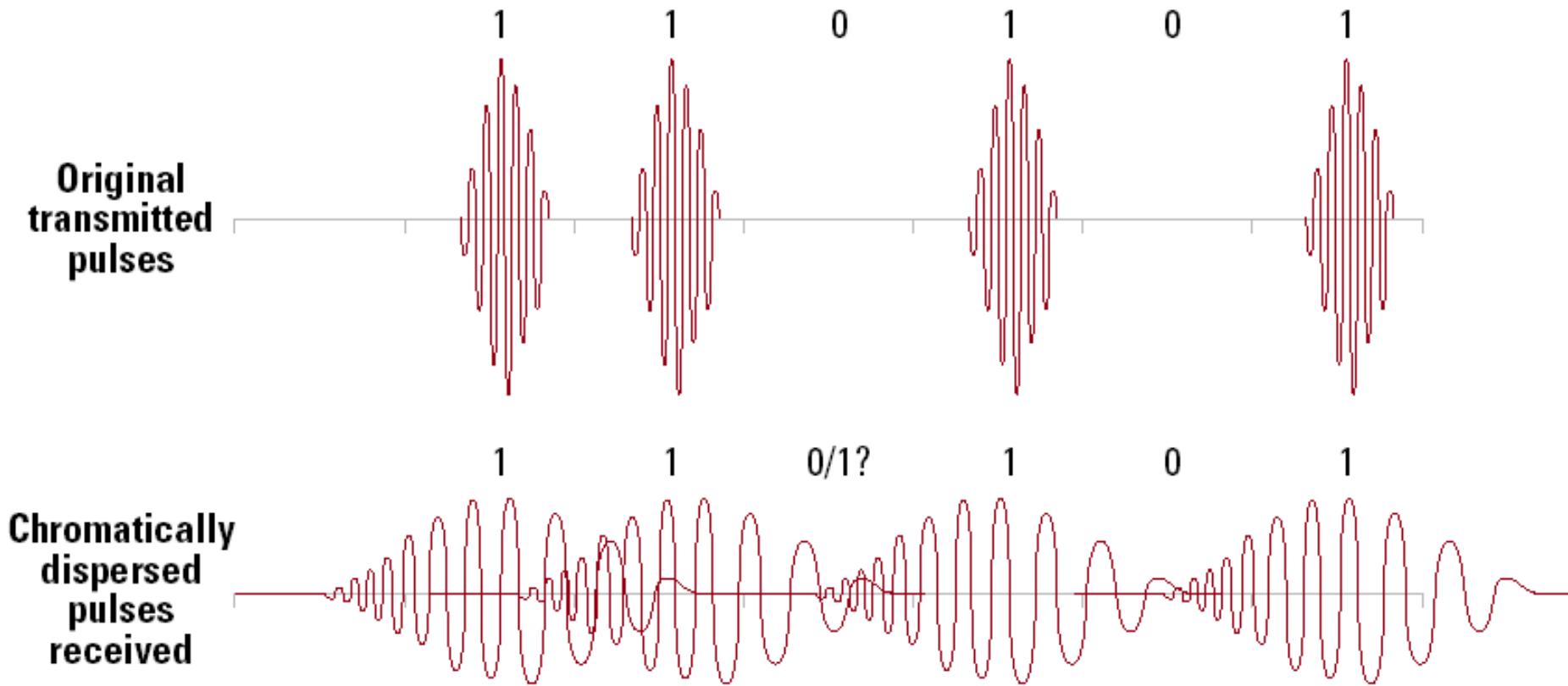
- Međumodalna
- Polarizacijska

Kromatska (ovisi o valnoj duljini):

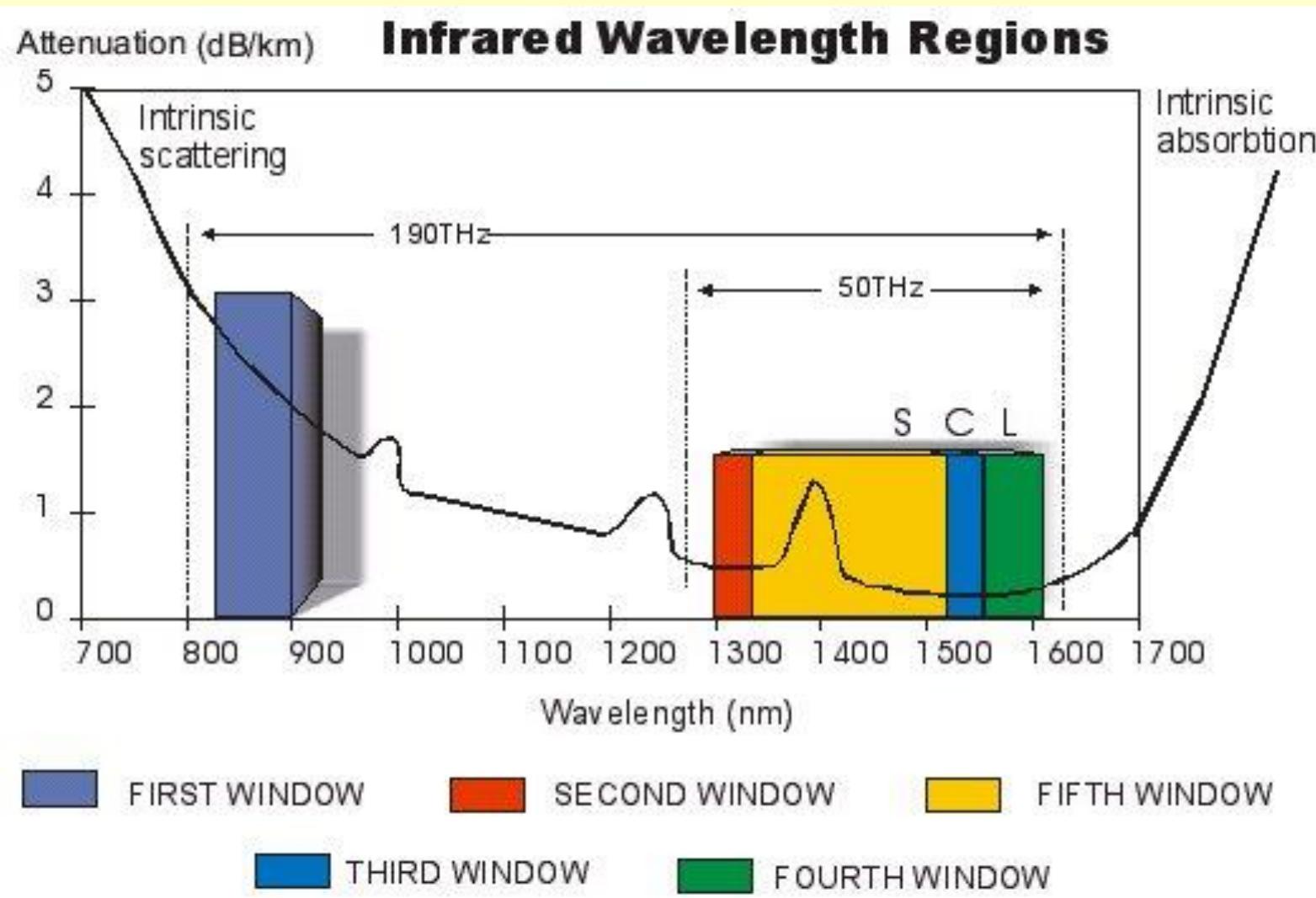
- Materijalna (indeks loma ovisan o valnoj duljini)
- Valovodna (propagacijska konstanta ovisna o valnoj duljini)



Kromatska disperzija u vremenskoj domeni:

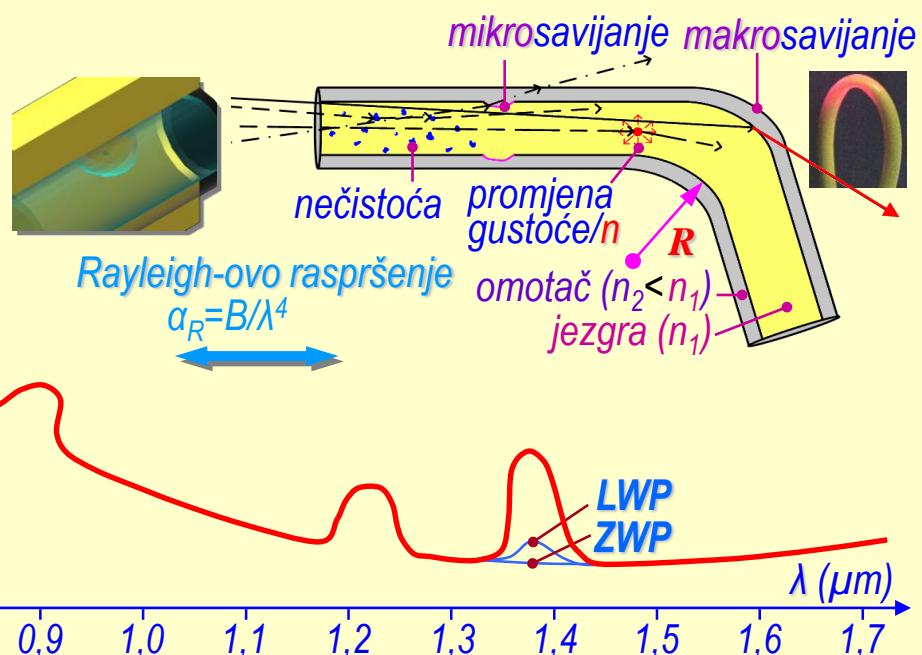


Slabljenje (gubici) u svjetlovodu – ovisno o λ

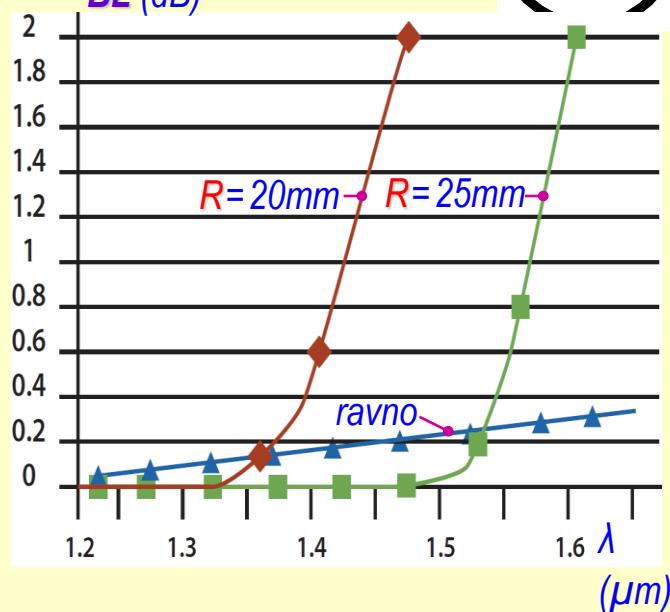


Mikro i makro savijanja

Udjecaj makrosavijanja polumjera R



BI (Bend Insensitive OF) =
svjetlovod **tolerantniji** na
male polumjere savijanja



- ❖ Tehnološki/geometrijski/mehanički uzroci slabljenja:
 - ✓ **Proizvodne neregularnosti:** geometrijske varijacije promjera/kružnosti jezgre, šupljine u staklu, defekti na granici jezgra/omotač, loša implementacija dopanda i sl.
 - ✓ **Mikrosavijanja:** nagnjećenja i sl.
 - ✓ **Makrosavijanja:** premali polumjer savijanja (R) pri manipuliranju i instalaciji (dinamički i statički) → **slabljenje makrosavijanja (BL; Bending Loss)**

ITU STANDARDI:

serija G: Transmisijski sustavi i mediji, digitalni sustavi i mreže

- svjetlovodna vlakna i kabeli: G.650 – G.655
- ITU-T G.651 multimodno vlakno (MM)
- ITU-T G.652 jednomodno vlakno (SMF)
- ITU-T G.653 jednomodno vlakno s pomaknutom disperzijom (DSF)
- ITU-T G.654 jednomodno vlakno s pomaknutom cut-off vrijednošću
- ITU-T G.655 jednomodno vlakno s pomaknutom disperzijom i bez nulte disperzije (NZ-DSF)
- ITU-T G.657 jednomodno vlakno neosjetljivo na savijanje (bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network)

- podmorski svjetlovodni kabeli i sustavi: G.631, G.971-976
- karakteristike optičkih komponenti i podsustava: G.661, G.662, G.663, G.671, G.681, G.692
- parametri optičkog sustava-pouzdanost i raspoloživost G.911
- optička sučelja za sustave i uređaje: G.957, G.959.1
- optički linijski sustavi za pristupnu mrežu (PON, G-PON): G. 981, G.982, G.983.1, G.984.1, G.984.2

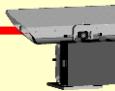


ITU-T G.651 multimodno vlakno (MM)

- Višemodna nit sa gradijentnim indeksom loma (MM-GI multimode, graded indeks)
- Promjer jezgre $50\mu\text{m}$ i plašta $125\mu\text{m}$
- Tipično prigušenje (gubici) iznosi $0,8\text{ dB/km}$ na 1330 nm
- Nit optimizirana za rad u pojasu 1300 nm , može se koristiti i u pojasu 850 nm

ITU-T G.652 standardni jednomodni svjetlovod (SMF)

- SMF – single mode fiber – najčešće se koristi danas, u RH najprimjenjivanija nit
- Stepeničasti indeks loma jezgre (SI – Step Indeks)
- Promjer jezgre $9\mu\text{m}$ i plašta $125\mu\text{m}$ (9/125)
- Radi u 2. i 3. komunikacijskom prozoru (pojas 1300 nm i 1550 nm)
- Tipično prigušenje u pojasu 1300 nm $0,3\text{-}0,4\text{ dB/km}$, u pojasu 1550 nm $0,17\text{-}0,25\text{ dB/km}$
- Nit optimizirana za rad u pojasu 1300 nm i oko te valne duljine ima nultu kromatsku disperziju
- Tipična kromatska disperzija na 1550 nm iznosi oko $17\text{ ps}/(\text{km nm})$ te se mora kompenzirati za aplikacije viših brzina prijenosa
- Polarizacijska disperzija manja od $0,1\text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$



ITU-T G.653 jednomodni svjetlovod sa pomaknutom disperzijom (DSF)

- DSF – dispersion shifted fiber
- Stepeničasti indeks loma jezgre (SI – Step Indeks)
- Promjer jezgre $9\mu\text{m}$ i plašta $125 \mu\text{m}$ (9/125)
- Radi u 3. komunikacijskom prozoru (1550 nm) pa do 1600 nm
- Tipično prigušenje ispod $0,35 \text{ dB/km}$, najčešće $0,19-0,25 \text{ dB/km}$
- Nulta kromatska disperzija oko 1550 nm
- Loše za WDM sustave jer kod njih radi nelinearnih efekata miješanja četiri vala (FWM) ne smije biti nulta disperzija u području rada

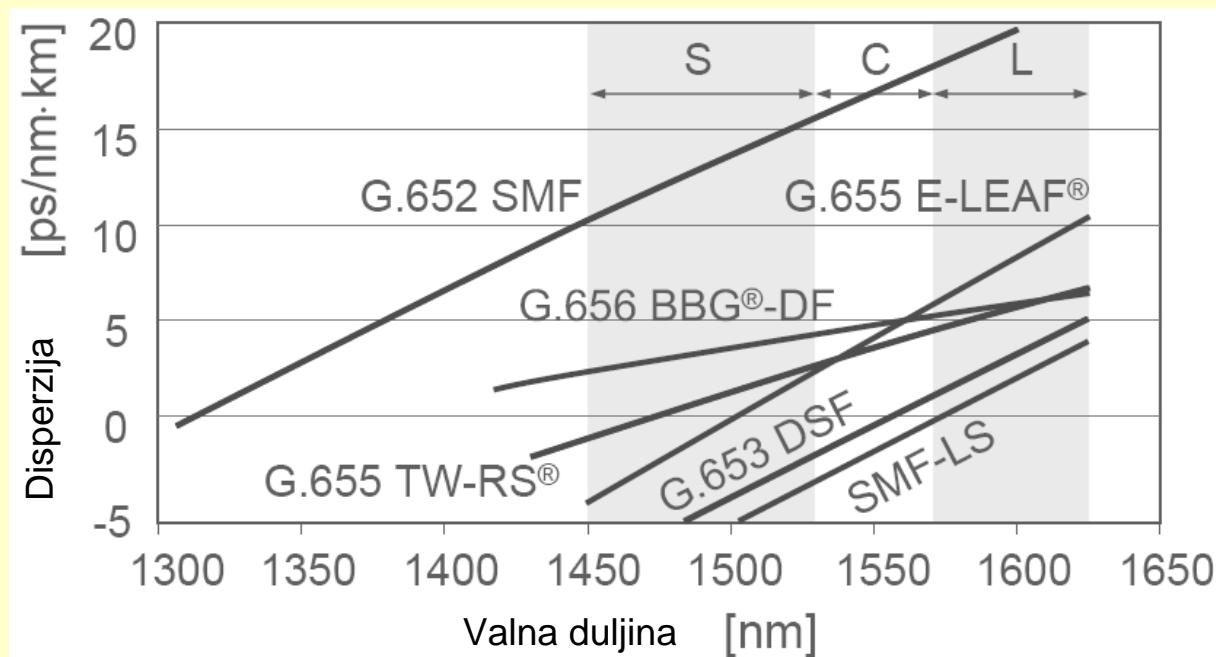
ITU-T G.654 jednomodni svjetlovod s pomaknutom cut-off vrijednošću

- Promjer jezgre $9\mu\text{m}$ i plašta $125 \mu\text{m}$ (9/125)
- Jezgra od čistog silicija → + mali gubici u pojasu 1550 nm, ali – velika kromatska disperzija u tom području

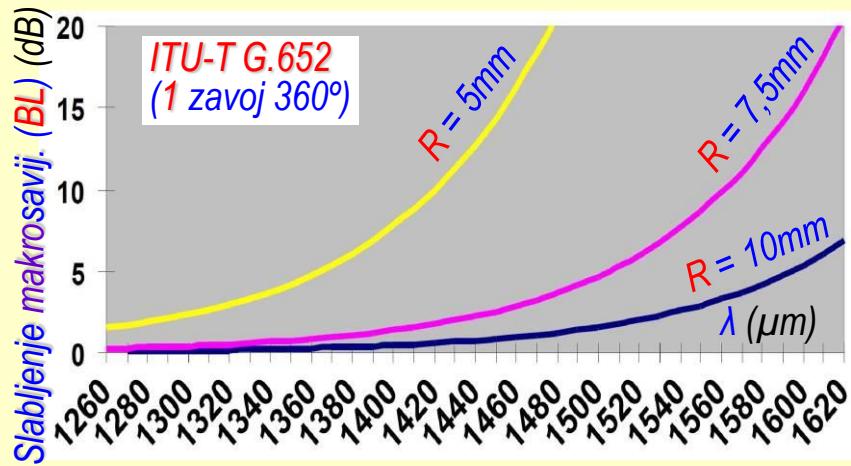


ITU-T G.655 SM svjetlovod s pomaknutom non-zero disperzijom (NZD)

- Promjer jezgre $9\mu\text{m}$ i plašta $125 \mu\text{m}$ (9/125)
- Mogu umanjiti nelinearna izobličenja tako da izbacuju nultu disperziju izvan 3. optičkog prozora (band 1550 nm)
- Mogu biti NZD+ ili NZD- ovisi da li je nulta disperzija poslije ili prije 1550 nm
- Gubici $0,2 \text{ dB/km}$ i polarizacijska disperzija ispod $0,1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$



Tko želi znati više (ne pita se na ispit u i kontrolnim zadaćama)!!!!



ITU-T G.657
jednomodno vlakno
neosjetljivo na
savijanje (bending-
loss insensitive
single-mode optical
fibre and cable for
the access network)

ITU-T G.657	Gubici za 1 zavoj (dB@1550nm)		
	Polumjer zavoja (mm)	Kategorija BI SMFa	
10	A1	A2/B2	B3
7,5	-	≤0,5	≤0,08
5	-	-	≤0,15



Norma	Sadašnja generacija	Sljedeća generacija na istoj FTTH inst.	Generacijski porast BL-a
IEEE	1G-EPON D	1490 nm	10G-EPON D
ITU-T	G-PON D	XG-PON D	1577 nm
SCTE	RF-video D	1550 nm	RFoG U
			3x
			2x

U/D = Upstream/Downstream (uzlazni/silazni podatkovni tok)



Uz dozvolu mr.sc.Miljenko Dimitrijević

Optičke niti se „pakiraju” i štite u OPTIČKIM KABELIMA: TVZ

Standardne tvorničke dužine isporuke optičkih kabela: $2000\text{m} \pm 100\text{m}$ i $4000\text{m} \pm 100\text{m}$, ali kada su u pitanju veće količine moguće je u dogovoru s dobavljačem ugovoriti i druge potrebne dužine, s obzirom na razmake između zdenaca TK kanalizacije u kojima se nalaze spojnice. Kabeli se isporučuju pakirani u bubenjeve.



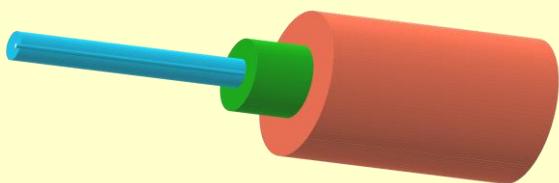
MECHANICAL AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

Test	Standard	Value	Acceptance criteria
Tensile Strength	EN 187000 - 501	2,300 N	$\Delta\alpha$ reversible
		500 N	$\Delta\alpha \leq 0.05 \text{ dB}/100 \text{ m}$
Crush resistance	EN 187000 - 504	150 N/cm	$\Delta\alpha \leq 0.05 \text{ dB}$
Impact resistance	EN 187000 - 505	5 N·m, r = 300 mm, 3 impacts	$\Delta\alpha$ reversible
Repeated bending	EN 187000 - 507	220 mm, 10 x	No damage
Torsion resistance	EN 187000 - 508	1 m, $\pm 360^\circ$, 100 N	$\Delta\alpha \leq 0.05 \text{ dB}$
Bending radius	EN 187000 - 513	165 mm, 5 turns	$\Delta\alpha \leq 0.05 \text{ dB}$
Temperature range	EN 187000 - 601	-20 ... +70 °C	For SM fibers: $\Delta\alpha \leq 0.05 \text{ dB/km}$
			For MM fibers: $\Delta\alpha \leq 0.2 \text{ dB/km}$
Water penetration	EN 187000 - 605	3 m cable, 1 m water, 24 h	No water leakage

- *Podmorski kabeli*
- *Ukopani kabeli*
- *Zračno „položeni“ kabeli*



Svjetlovodna nit štiti se u svjetlovodnom kabelu



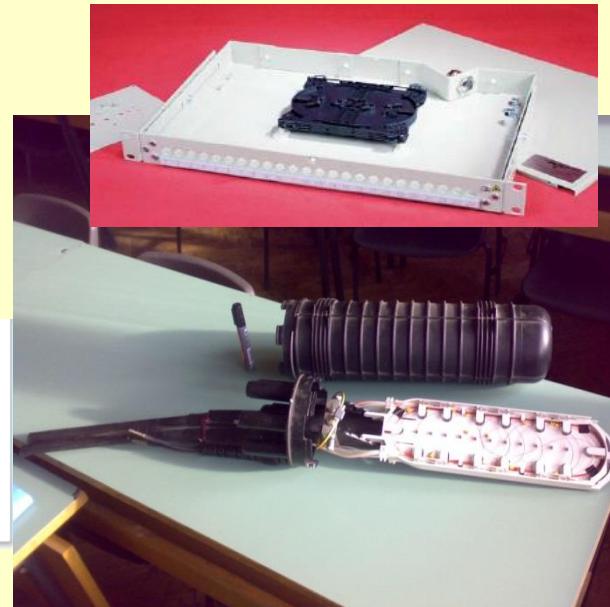
jezgra plašt
 $n_1 > n_2$

primarna
izolacija



Svjetlovodni kabeli dio su telekomunikacijske infrastrukture zajedno sa:

- Spojnicama, razdjelnicima, konektorima
- Distributivnom kabelskom kanalizacijom DTK
- Zdencima i cijevima



DISTRIBUTIVNA KABELSKA KANALIZACIJA



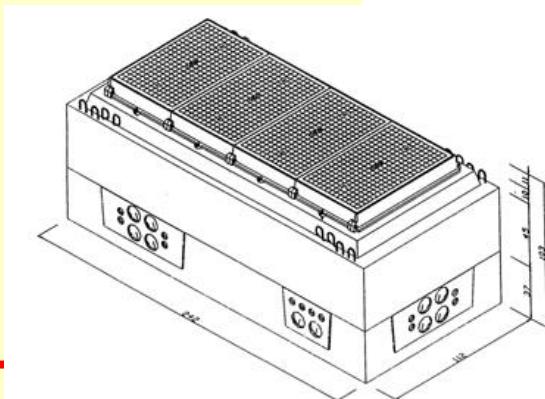
Kabelska kanalizacija je dio električke komunikacijske infrastrukture koja se sastoji od mreže podzemnih cijevi od pogodnog materijala, kabelskih zdenaca i kabelskih galerija, koja služi za postavljanje i zaštitu električkih komunikacijskih kabela (iz Pravilnika o tehničkim uvjetima za kabelsku kanalizaciju NN 114/10, NN 29/13)

Kabelska kanalizacija gradi se radi lakše ugradnje, i što je još bitnije, radi lakšeg održavanja komunikacijskog sustava.

1. Kabelske cijevi



2. Kabelski zdenci



MZ D4

3. Kabelske galerije



Konstrukcije kabela u primjeni za vanjske instalacije

Hrvatska regulativa preferira polaganje u kabelsku kanaliz. (KK)



Prema EN 60794-2	
Boja niti	R. br. niti
plava	01
žuta	02
crvena	03
bijela	04
zelena	05
ljubičasta	06
narančasta	07
siva	08
tirkizna	09
crna	10
smeda	11
ružičasta	12

- pSDM: ne dopušta kabele s metalnim dijelovima i izravno ukapanje, a zračnu mrežu samo ako dopuštaju dokumenti prostornog uređenja
- pKK: dopušta izravno ukapanje samo izvan urbanih zona
- pEKMPSZ: dopušta izravno ukapanje/zračno za posebne slučajeve (ruralne zone, problematičan teren i sl.)

niz EN 60794-1
(opći zahtjevi)

niz EN 60794-2
(nutarne polaganje)

niz EN 60794-3
(vanjsko polaganje)

konstrukcija za kabele velikog kapaciteta (npr. 6 cijevi s po 12 12-nitnih traka svaka = ukupno 864 niti)



Konstrukcije kabela u primjeni za kućne FTTH instalacije

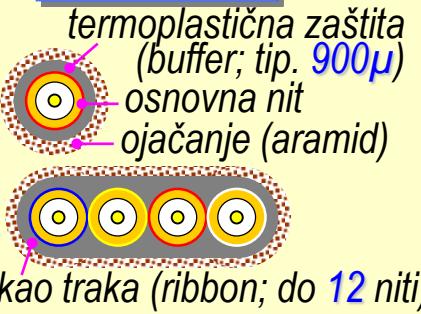
TVZ



Loose Tube



Tight Buffer



Prema EN 60794-2

Boja niti	R. br. niti
plava	01
žuta	02
crvena	03
bijela	04
zelena	05
ljubičasta	06
narančasta	07
siva	08
tirkizna	09
crna	10
smeđa	11
ružičasta	12

niz EN 60794-1

(opći konstrukcijski zahtjevi)

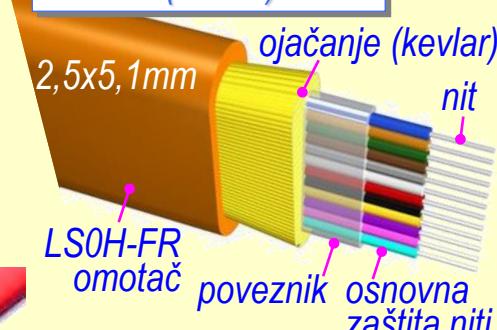
niz EN 60794-2

(za nutarnje polaganje)

niz EN 60794-3

(za vanjsko polaganje)

Trakasti (ribbon) kabeli

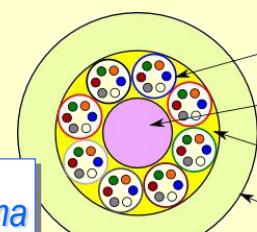


LS0H-FR μ-cijevna struktura

μ-kabeli/μ-cijevi



Kabeli s izvlačivim optičkim elementima

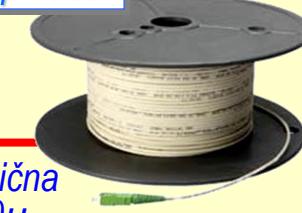


5 \div 9 mm \varnothing

3/5mm drop-kabeli



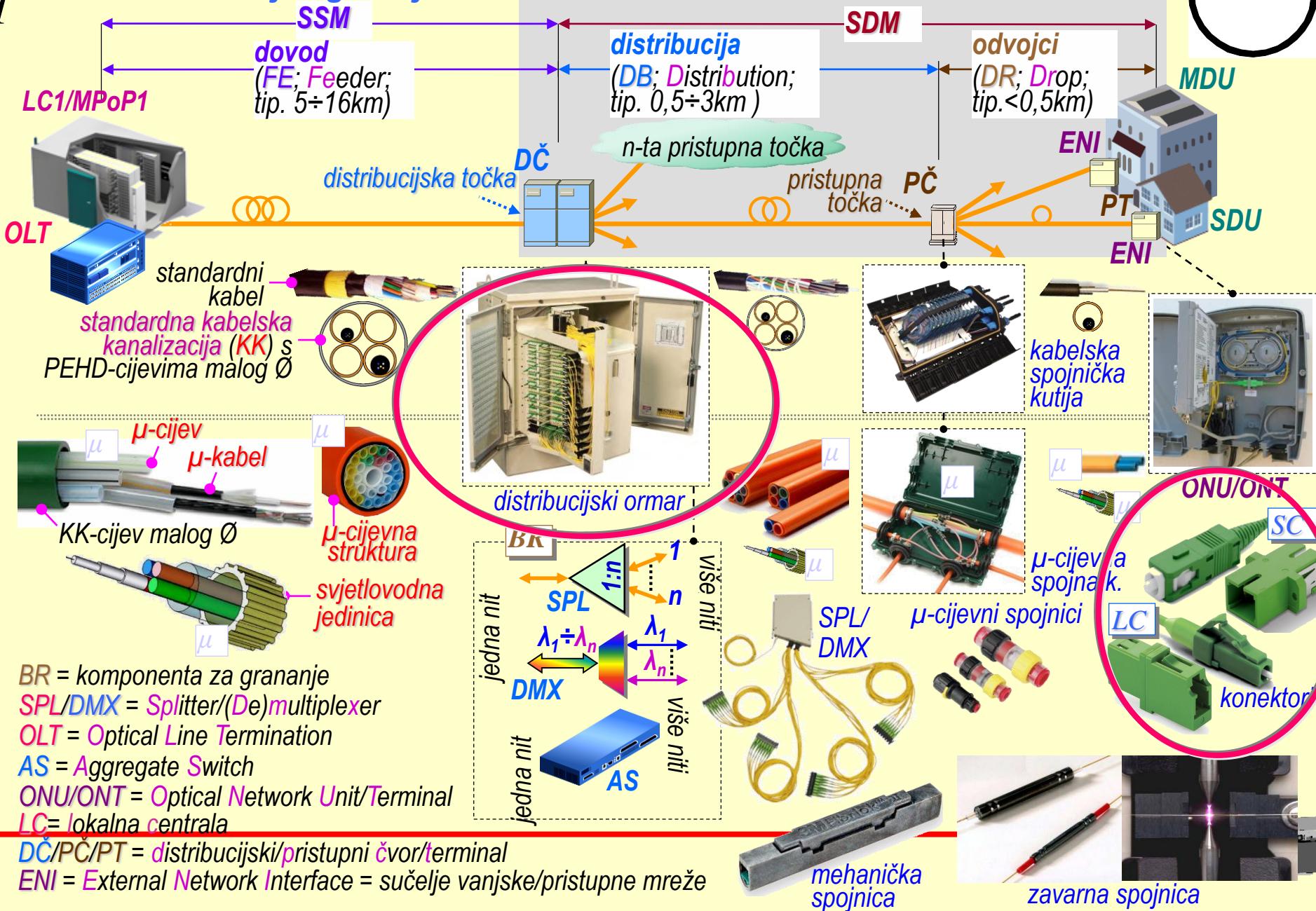
Integrirane strukture



Osnovni pojmovi



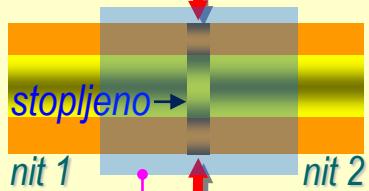
Osnovne značajke gradnje



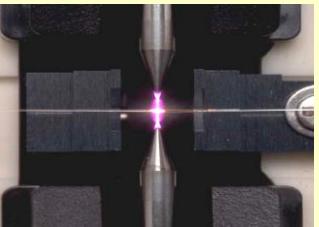
Svetlovodne spojnice

Zavarna spojnica (FS; Fusion Splice)

električni luk



RL tip. $\geq 65 \text{ dB}$
IL tip. $\leq 0,06 \text{ dB}$



uvod u vodilice splicer-a i prihvati niti



Fusion splicer

program splicer-a: pregled kala, namještanje, pripremi el. luk (čišćenje i predgrijavanje niti), poravnanje jezgri, glavni el. luk/stapanje, provjera i ocjena ILa, termostezanje zaštitne navlake

Koju vrstu spojnica odabrati i kada?

*ako su fusion splicer + obučeno osoblje u sastavu investitora/izvođača, ne predstavljaju značajniji dio budžeta projekta ili se za izradu zavarnih spojica može angažirati profesionalac s normalnim cijenama (ne nastoji trošak svoje opreme povratiti u roku "odmah"), izbor su zavarne spojnice

Mehaničke spojnice

- ✗ $IL \uparrow / RL \downarrow$
- ✗ lakše degradira s vremenom
- ✗ osjetljivije na okolinu
- ✗ skuplj materijal
- ✓ \downarrow zahtjevi na instalacijsku okolinu
- ✓ ne treba napajanje pri montaži
- ✓ lako rastavljive (upotrebljive i više puta)
- ✓ ne zahtijeva skupu opremu i osoblje



Zavarne spojnice

- ✓ $IL \downarrow / RL \uparrow$
- ✓ vremenski stabilne
- ✓ otpornije na okolinu
- ✓ jeftiniji materijal
- ✗ \uparrow zahtjevi na instalacijsku okolinu
- ✗ nužno napajanje/baterija pri montaži
- ✗ stalan/nerastavljiv spoj (ako ne trebamo baš to)
- ✗ zahtijeva skupe uređaje (\uparrow početna ulaganja) i osoblje



RAZDJELNICI

- Razdjelnici su elementi mreže na kojima su smješteni završeci svjetlovodnih kabela
- Osnovni tipovi su:
 - Veći razdjelnici unutar kojih se vrši prespajanje unutar razdjelnika i/ili među razdjelnicima od nekoliko desetaka do nekoliko tisuća niti, uglavnom smješteni na lokacijama centrale
 - Završne kutije na kojima se spaja korisnička oprema



RAZDJELNICI

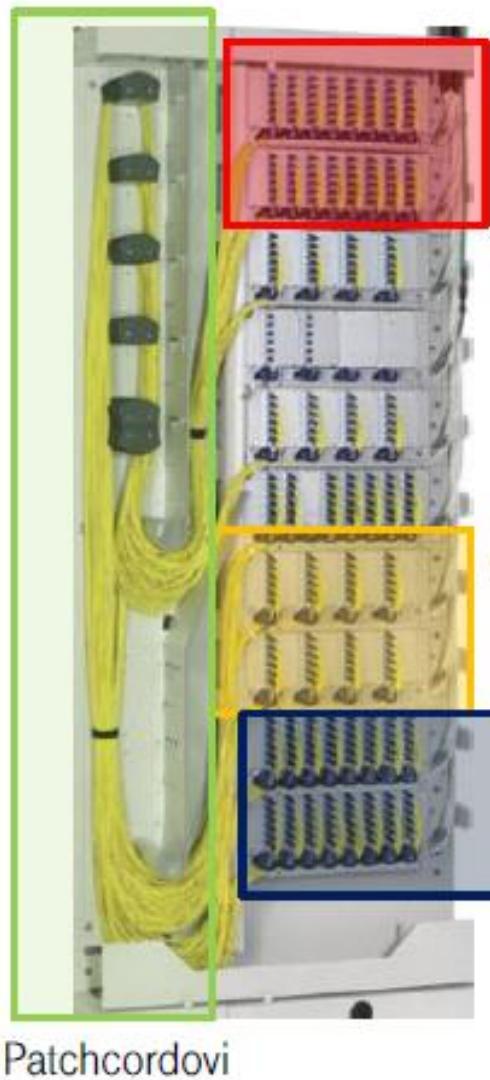
- Osnovni elementi su
 - Ormar za smještanje polica i vodilica
 - Polica (magazin) – sadrži reglete; konektorsko spajanje, splicevi, kombinacija
 - Regleta – služi za konektorsko spajanje
 - Kazeta – služi za spajanje splicingom
 - Vodilice – za kontrolirano vođenje završnih i prespojnih vrpcu te namotavanje viška (kontrolirani radijus savijanja)



RAZDJELNICI, RAZDJELNI ORMARIĆI....

Primjer svjetlovodnog razdjelnika maksimalnog kapaciteta 1920 konektora

Dimenziije 900x2200x300mm

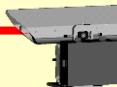


Konektori na koje je spojena aktivna oprema

Moguće je i direktno spajanje patchcordom OLT porta sa konektorom na kojem počinje pristupna mreža čime se štedi na prostoru i troškovima

Sprežnici

Pristupna mreža



Što sve postoji u razdjelnicima?



PC konektor



APC konektor

Najčešći tipovi konektora

- LC/PC konektor (prva oznaka predstavlja vanjski oblik konektora, druga oznaka predstavlja način završne obrade niti)
- LC/APC konektor
- SC/PC konektor
- SC/APC konektor

ČISTOĆA JE POLA ZDRAVLJA – nečistoće na konektorima su najčešći uzrok smetnji u FTTH mreži

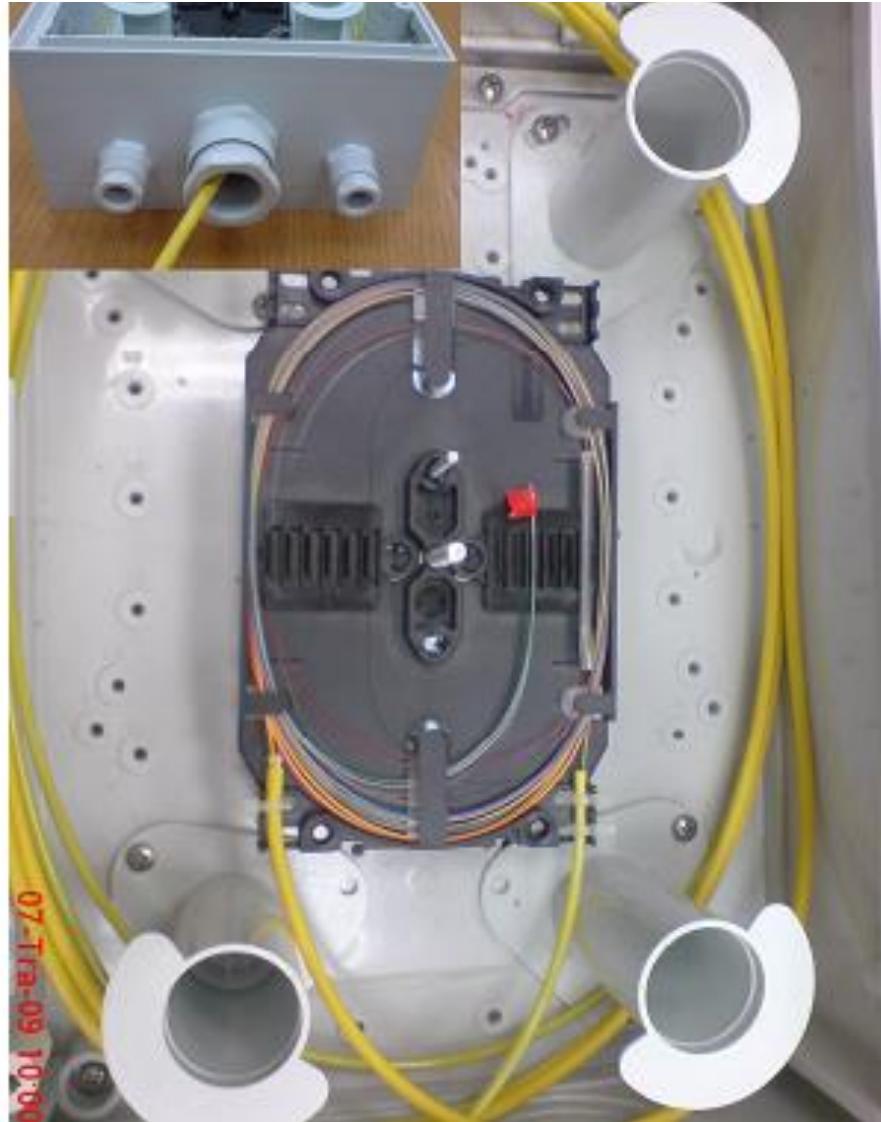
PC konektor – ovaj tip konektora omogućuje direktni fizički kontakt

APC konektor – ferula je obrađena pod određenim kutem (8%)

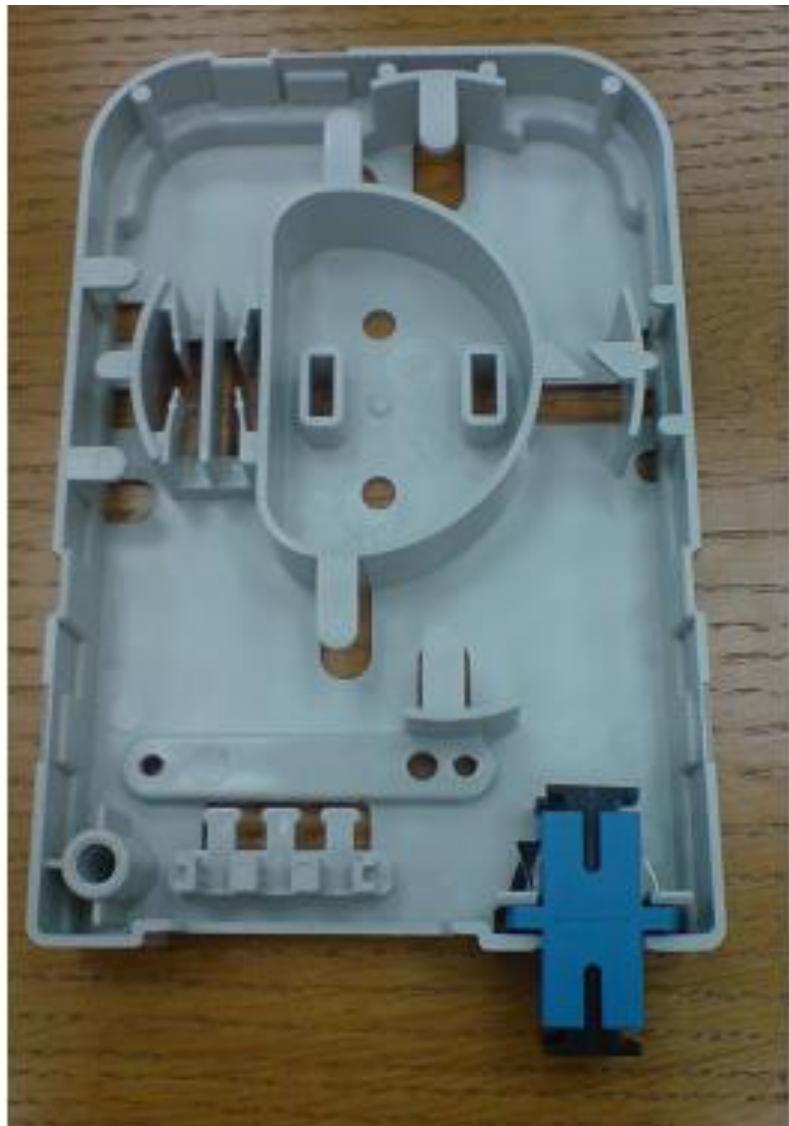
Ujedno su ovo i elementi FTTH mreže



ETAŽNI ORMARIĆI



ZAVRŠNA (TERMINIRAJUĆA) KORISNIČKA KUTIJA



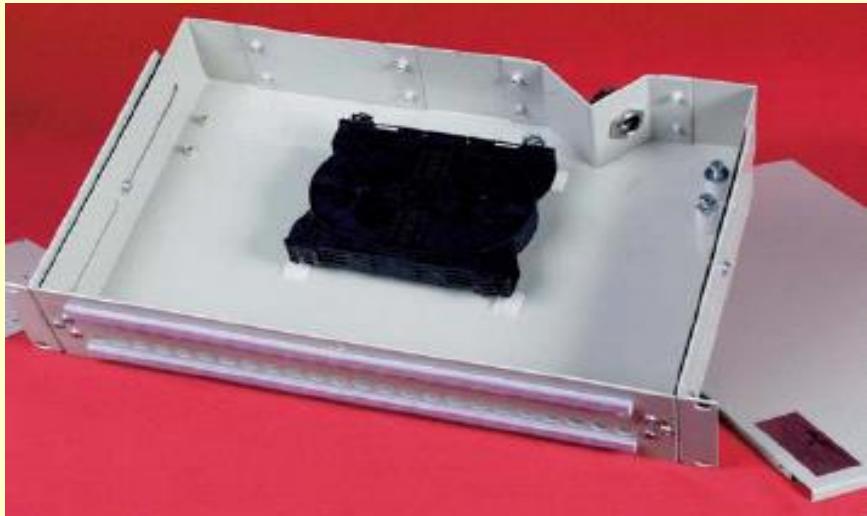
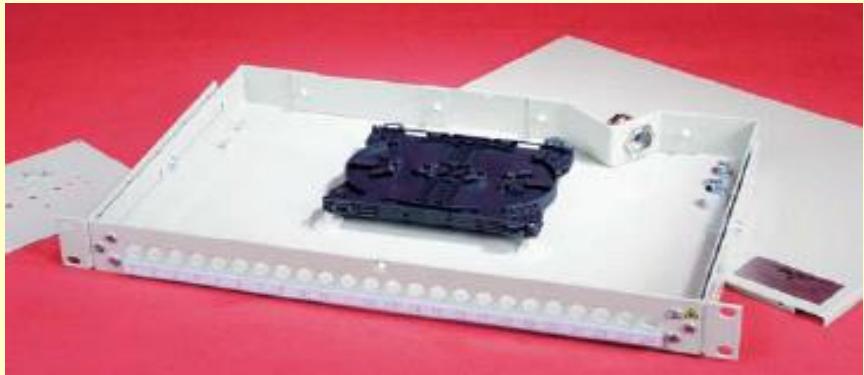
ZAVRŠNE I PRESPOJNE VRPCE TJ. PIGTAIL I PATCHCORD

- Koriste se kao završeci kabela na razdjelnicima i za prespajanje dvaju razdjelnika ili razdjelnika i uređaja
- Sastoje se od optičke niti uglavnom stiješnjene unutar plastične cjevčice s aramidnim vlaknima i PVC plaštem izvana
- Maksimalne su duljine nekoliko metara
- Završna vrpca (eng. pigtail) konektorizirana je s jednog kraja, a drugi kraj završava samom optičkom niti (koji se spaja spliceanjem)
- Prespojna vrpca (eng. patch cord) je konektorizirana na svoja oba kraja, može biti pojedinačna ili u paru

RAZDJELNIK:

Razdjelnik svjetlovodnog kabela služi za priključivanje završnih svjetlovodnih kabela (patchcord) od strane uređaja na završne svjetlovodne kabele (pigtail) od strane svjetlovodnog kabela pomoću konektora.

S obzirom na kapacitet kabela i predvidive eksploracijske potrebe, upotrebjavaju se razdjelnici kapaciteta 12, 24, i 48 niti za montažu u ormar (najčešće u19" ormar).



Održavanje razdjelnika:

- pažljivo rukovanje sa kabelima i konektorima
- uvijek vraćati zaštitne kapice na prazne konektore
- sprečavati ulazak prašine u prostore sa komunikacijskom opremom



RAZDJELNIK (nastavak):

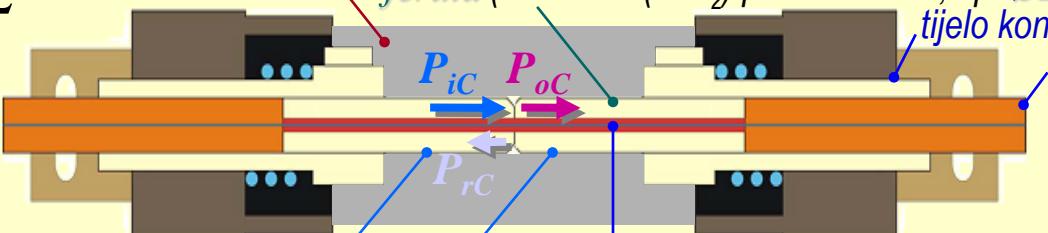
- *Služe za terminaciju optičkog kabela*
- *Sastoje se od niza adaptera na koje su priključeni konektori*



Svjetlovodni konektori

prilagodnik (adapter/coupler; "utičnica"/spojnik)

ferula (keramika (ZrO_2)/polimer/metal; tip. $\varnothing 2,5/\varnothing 1,25\text{mm}$)

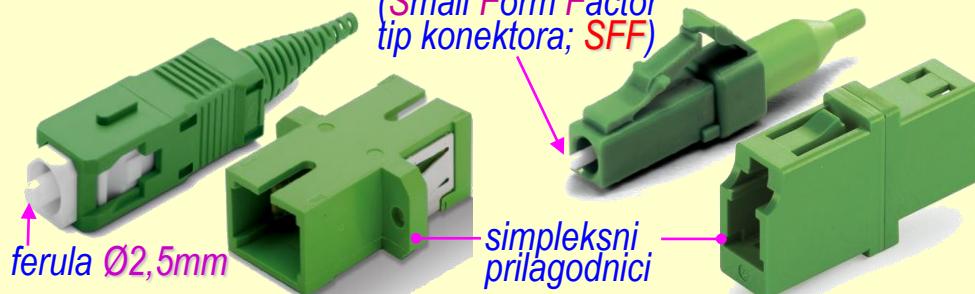


spareni konektori ("utikači")

nit učvršćena u rukavcu ferule (ljepilo/epoksid/mehanički)

Najčešći konektori za SDM i kućnu FTTH inst.

ferula $\varnothing 1,25\text{mm}$
(Small Form Factor
tip konektora; SFF)



SC EN 61754-4

Izvor: SENKO

LC EN 61754-20

EN 61753/EN 61755 & ITU-T L.36

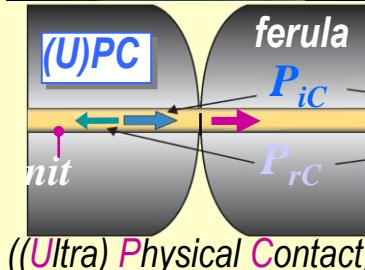
IL-razred	IL (dB)	RL-razred	
A*	$\leq 0,07$ prosječno $\leq 0,15$ maks.; $>97\%$ uzoraka	1	≥ 60 (spareno; APC) ≥ 55 (nespareno; APC)
B	$\leq 0,12$ prosječno $\leq 0,25$ maks.; $>97\%$ uzoraka	2	≥ 45 (PC)
C	$\leq 0,25$ prosječno $\leq 0,50$ maks.; $>97\%$ uzoraka	3	≥ 35 (PC)
D	$\leq 0,50$ u prosjeku $\leq 1,00$ maks.; $>97\%$ uzoraka	4	≥ 26 (PC)

* navedeni iznosi za A su još uvijek draft

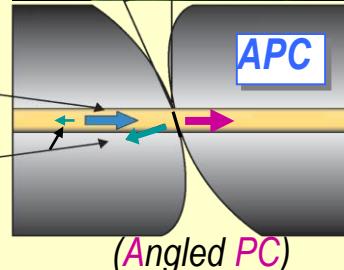
$$IL = -10 \log(P_{oc}/P_{ic}) [\text{dB}] \geq 0$$

$$RL = -10 \log(P_{rc}/P_{ic}) [\text{dB}] \geq 0$$

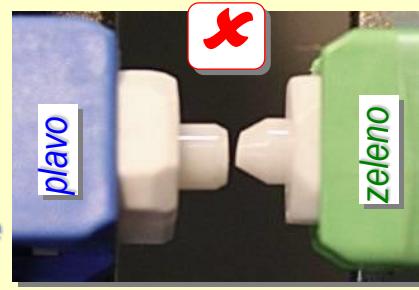
$$R = 10 \log(P_{rc}/P_{ic}) [\text{dB}] \leq 0$$



((Ultra) Physical Contact)



FTTH: Preporučuje se uporaba APC-izvedbi tamo gdje se spaja aktivna oprema i gdje će konektori ostati duže vrijeme nezaključeni



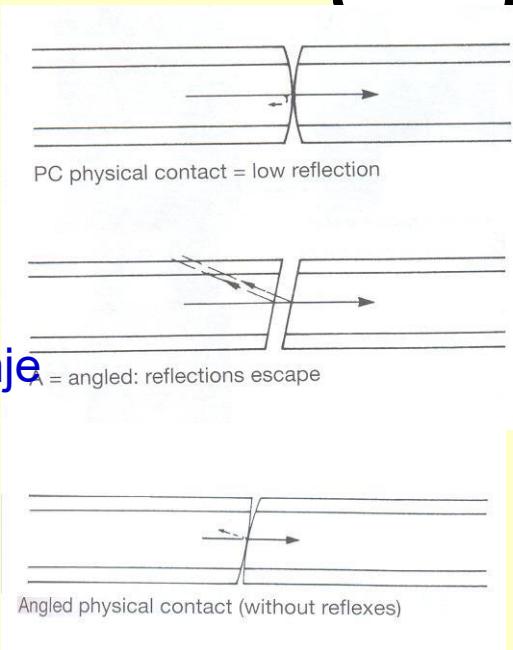
Telcordia GR-326

Ferula	RL (dB)	tijelo	uvodnica (boot)
(U)PC	≥ 30 ≥ 40 ≥ 55	plava	crvena bijela
APC (8°/9°)	≥ 60	zelena	tamno plava zelena

Uz dozvolu mr.sc.Miljenko Dimitrijević

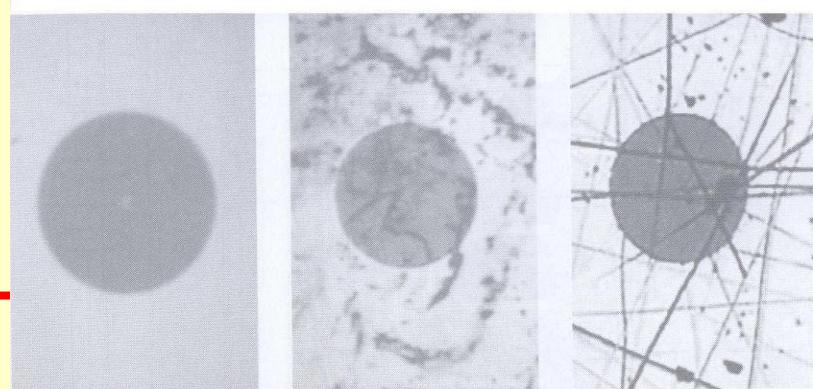
VRSTE SPOJEVA KONEKTORA:

- Polirani sa ostvarenjem kontakta u centru konektora physical contact - PC
-malo gušenje, mala refleksija
- Polirani pod kutem (angled) sa zračnim rasporedom - A
-nema habanja dodirne površine,mala refleksija i veliko gušenje
- Polirani pod kutem sa ostvarenim kontaktom angled physical contact –APC mala refleksija i gušenje



GUBICI NA SPOJU:

- Loša poliranost dodirnih površina
- Čestice prašine između dodirnih površina uzrokuju nesavršeno naljeganje
- Čestice prašine okolo ferule uzrokuju nesavršeno centriranje



ZAHTJEVI NA KONEKTORE:

- Malo gušenje na spoju (posebni materijali i obrada - gušenje do 0.1 dB)
- Mala refleksija spoja (poliranjem i zakošivanjem dodirne površine stvaraju se min. refleksije do -70 dB)
- Niska cijena (nekada je bilo vrlo teško izbušiti rupicu za nit ($126\mu\text{m} \pm 0.5\ \mu\text{m}$) pa su cijene bile vrlo visoke; danas sa novim tehnologijama cijene višestruko smanjuju)
- Stabilnost (vrlo važan zahtjev je stabilnost deklariranih vrijednosti pri promjenama temperature i starenja komponenata)



ODRŽAVANJE KONEKTORA:

- Konektore i adaptere koji se ne koriste skladištiti sa zaštitnim kapicama
- Cjevčice adaptera ispuhati komprimiranim zrakom pri ponovnom korištenju
- Ferulu konektora izvana čistiti suhom krpicom
- Kontaktni sloj ne brisati nego ispuhati kako ne bi došlo do oštećenja
- Po potrebi površinu provjeriti mikroskopom



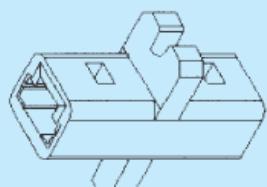
NEKE VRSTE KONEKTORA:

SC



SM i MM vlakna, telekomunikacije,
posebno mjerni uređaji, kabelska TV, LAN
lagan priključak, lagano ispadanje
(nesiguran)

MTRJ

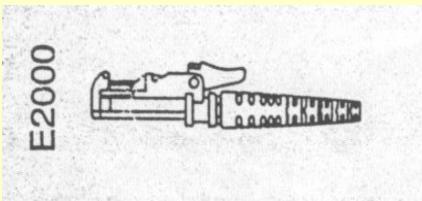


MM vlakna, telekomunikacije,
kabelska televizija , industrija.
Konektori nove generacije, dvije
niti u feruli (duplex), dvostruko
manje veličine od SC konektora,
sve šira primjena zbog veličine
45

LC



SM vlakna, telekomunikacije, mjerna
oprema, multimedija , industrija.
Konektori nove generacije, vanjski
promjer ferule dvostruko manji od
standardnog, sve šira primjena zbog
veličine



MM i SM vlakna, telekomunikacije, kabelska TV,
LAN, istisnuo FC,ST
Zaštita ferule, nepraktičan za rad



PRODUCT FEATURES

- Up to 25.78 Gb/s bi-directional data links
- Hot-pluggable SFP+ footprint
- Built-in digital diagnostic functions
- Built-in CDR with shut off control
- 850nm Oxide VCSEL laser transmitter
- Duplex LC connector
- RoHS compliant
- 100m over M5F MMF (50/125 um OM4)
- 70m over M5E MMF (50/125um OM3)
- Metal enclosure, for lower EMI
- Single 3.3V power supply
- Operating temperature range:
 - 0°C to 70°C

**SFP (Small Form Factor) !!!!
Transciever (TxRx)
dimenzija cca.10 cm
u dužini**



APPLICATIONS

- 25.78Gb/s single lane 100GE SR4

Finisar's FTLF8536P4BCL SFP+ transceivers are designed for use in 25Gb/s data rate over multimode fiber. They are compliant to SFF-8472 Rev 12.1^b and SFF-8402^g, and compatible with SFF-8432^a and applicable portions of SFF-8431 Rev. 4.1^c. The transceiver is RoHS compliant and per Directive 2011/65/EU^d and Finisar Application Note AN-2038.

MJERNI INSTRUMENTI (I ALATI) ZA SVJETLOVODNE SUSTAVE

Detektor prometa
u svjetlovodnoj niti

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) je multimer za svjetlovodne komunikacije

Mjeri: gubitke u niti, na spojevima niti te na konektorima kao i makrobennding

Mjeri mjesto prekida niti

Sonda za provjeru
čistoće konektora
(može se priključiti i na laptop)



Mjerač snage signala u svjetlovodnoj niti

Ako se koristi kao **Loss Test Set** onda upareni uređaj ima **lasersku diodu** i **OPASNO JE** gledati u konektore ili nit



Problematika ulaganja u NGA/FTTH mreže

Poželjan – otvoreni pristup i otvorene mreže



Maloprodajne usluge
(pristup Internetu, triple play itd.)
Inv. horizont < 1÷3 g.

Aktivni/mrežni sloj
(OLT, ONT i sl.; IP L3, Ethernet L2)
Inv. horizont 3÷5 g.
Tip. 15÷25% HC CapExa

Pasivni/fizički sloj
(KK, kabliranje i sl.)
Inv. horizont > 15÷20 g.
Tip. 75÷85% HC CapExa

tretirati kao
komunalnu
infrastrukturu

CapEx = kapitalni troškovi

JLS/JRS = jedinice lokalne/regionalne samouprave

TDU = tijela državne uprave

JPP = javno-privatno partnerstvo
(npr. samouprava + operatori/privatni partneri)

