

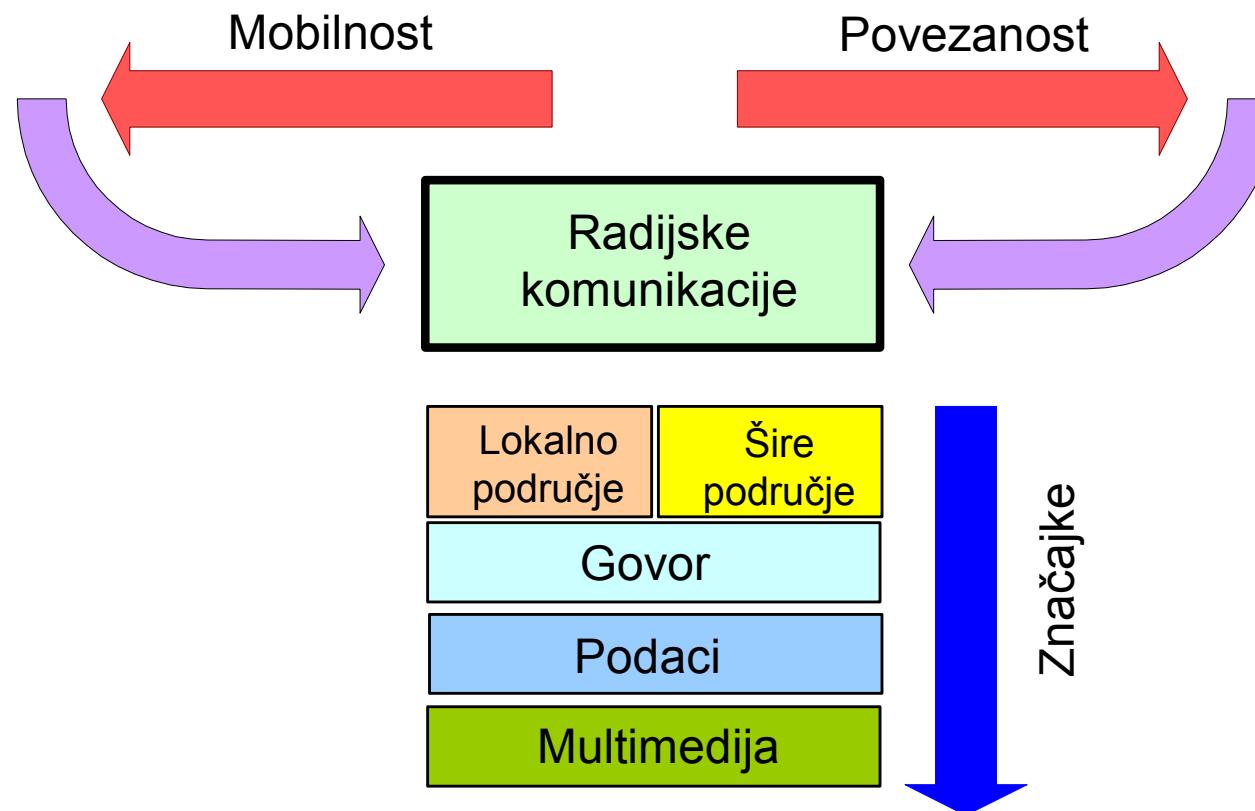
Radijske pristupne mreže

dr. sc. Jelena Božek

Tipične primjene WLAN mreža i usluge u WLAN mreži

Zahtjevi tržišta

Osnovni trend potreba korisnika na današnjem tržištu



Što je potrebno za korištenje WLAN-a?

- Za korištenje WLAN-a krajnji korisnik mora opremiti svoje računalo karticom mrežnog sučelja (NIC, *Network Interface Card*), tj. potreban je NIC/PC adapter
 - Većina prijenosnih računala opremljena je 802.11b/g adapterima
 - Raspoloživa su tzv. džepna računala s mogućnošću GPRS / WLAN povezivanja



Što je potrebno za korištenje WLAN-a? (nastavak)

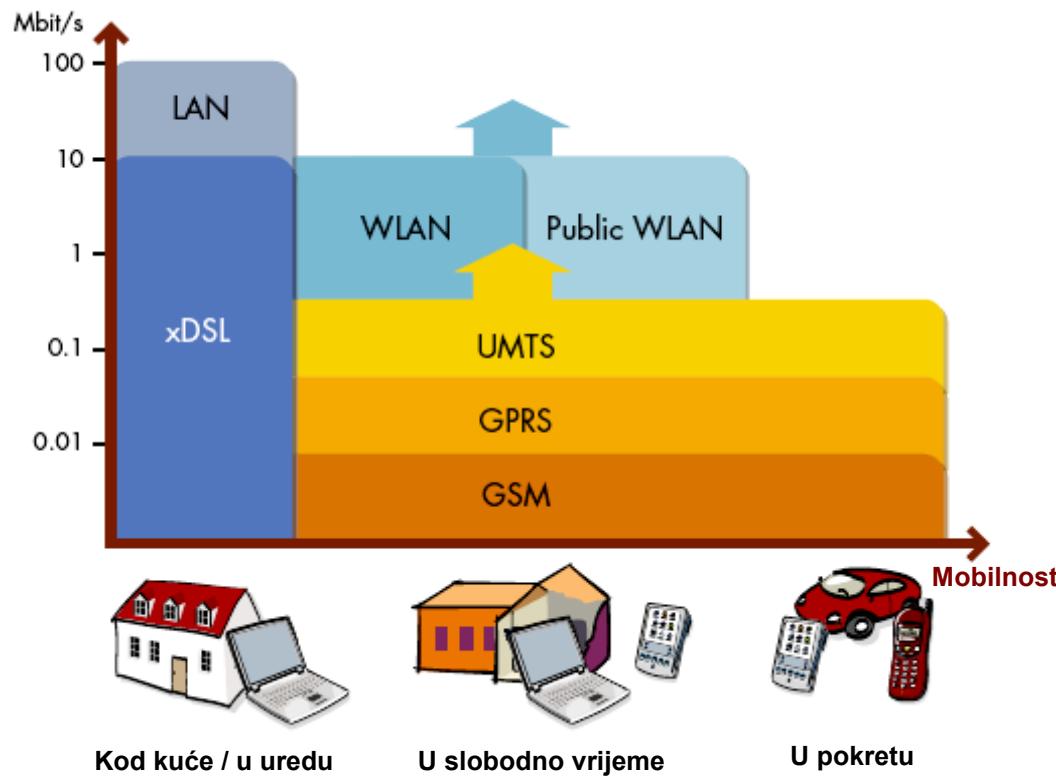
- Infrastrukturu radijske mreže s korisničkog aspekta predstavlja pristupna točka (AP, *Access Point*)

Primjeri uređaja pristupne točke za područje 2,4 GHz



Mjesta u kojima se postavlja WLAN

- Uočavaju se tri glavna djelokruga WLAN-a:

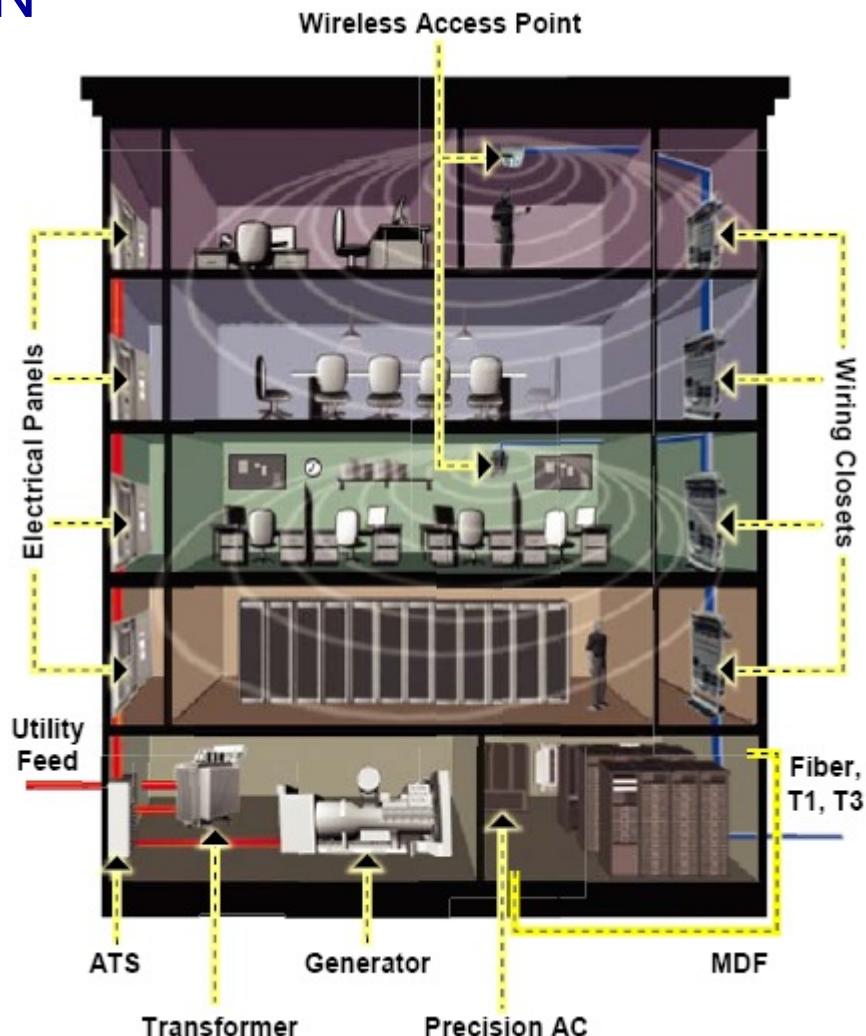


- širokopojasni pristup, tzv. *last mile*
- javni WLAN-ovi (PWLAN, *Public WLAN*)
- kućno umrežavanje (uključeno je i poslovno umrežavanje)

Primjena u uredu / tvrtki

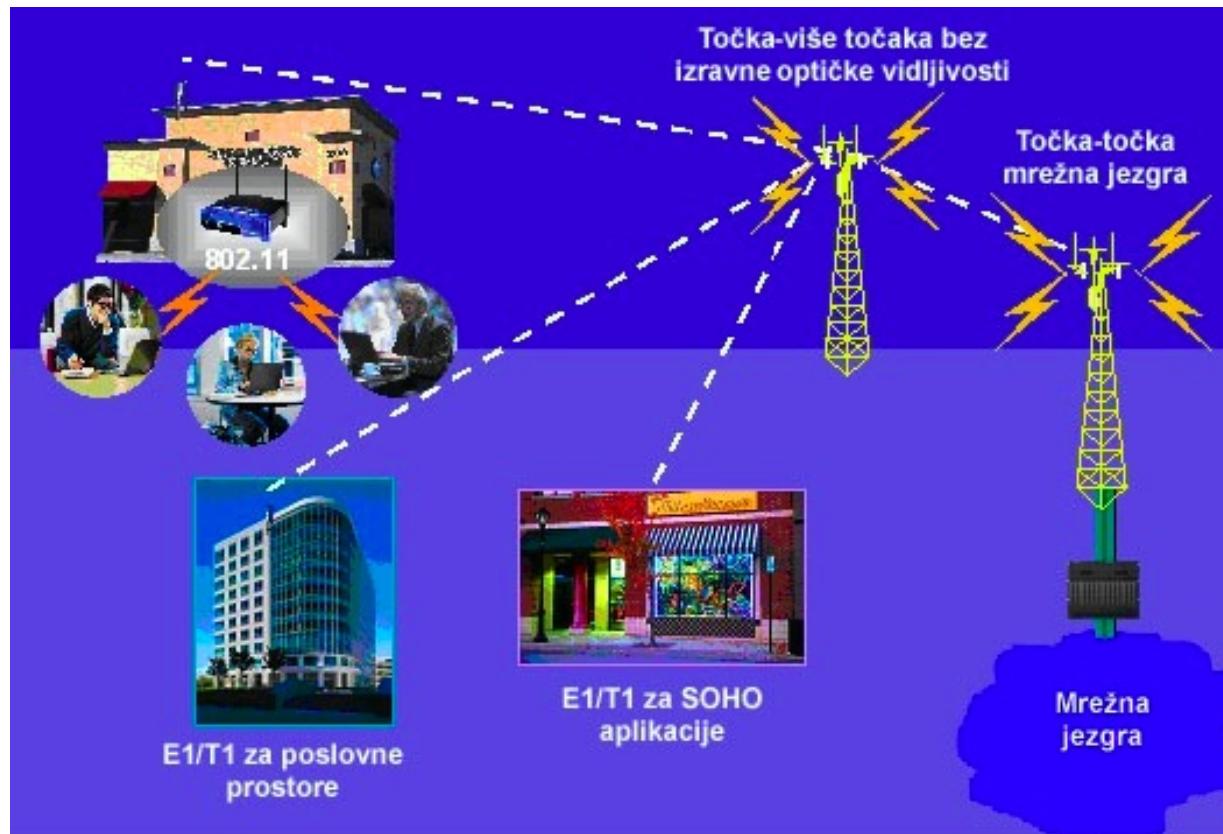
- Ured / Tvrtka / Korporacijski LAN

- WLAN služi kao radijsko proširenje fiksnog LAN-a omogućavajući mobilnost poslovnih korisnika
- U korporacijskoj mreži, izgrađenoj oko Ethernet LAN-a i IP router-a, WLAN je zadnji segment između mobilnog terminala (MT) i mreže
- WLAN omogućava fleksibilnost radne snage
- Npr. više stolnih računala i videoprojektor mogu se povezati pomoću WLAN-a



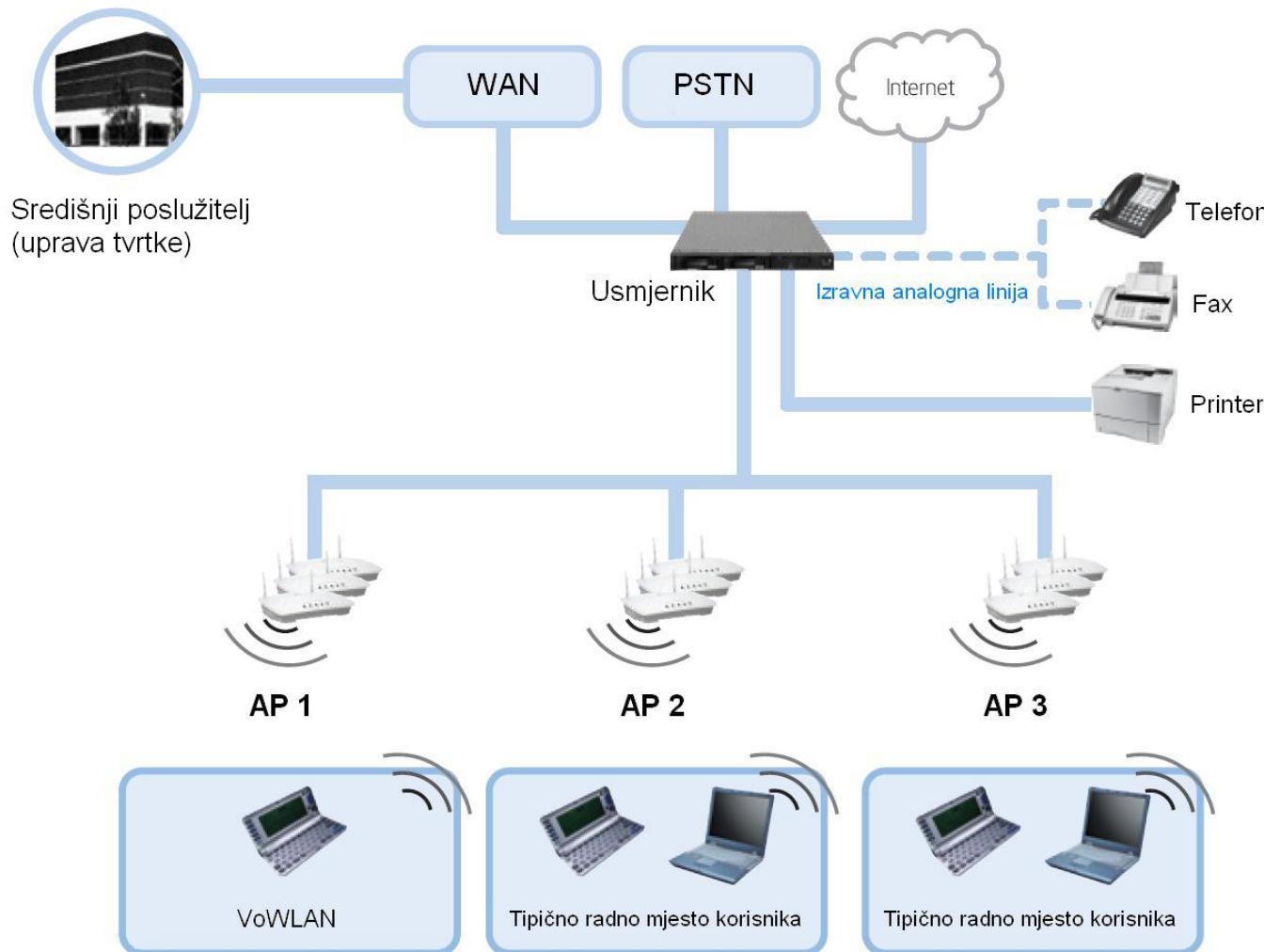
Položaj korporacijskog WLAN-a

Razvoj radijske širokopojasne opreme za poslovne korisnike



Položaj korporacijskog WLAN-a

Nova rješenja za manje urede integriraju fiksni i radijski dio korporacijskog LAN-a

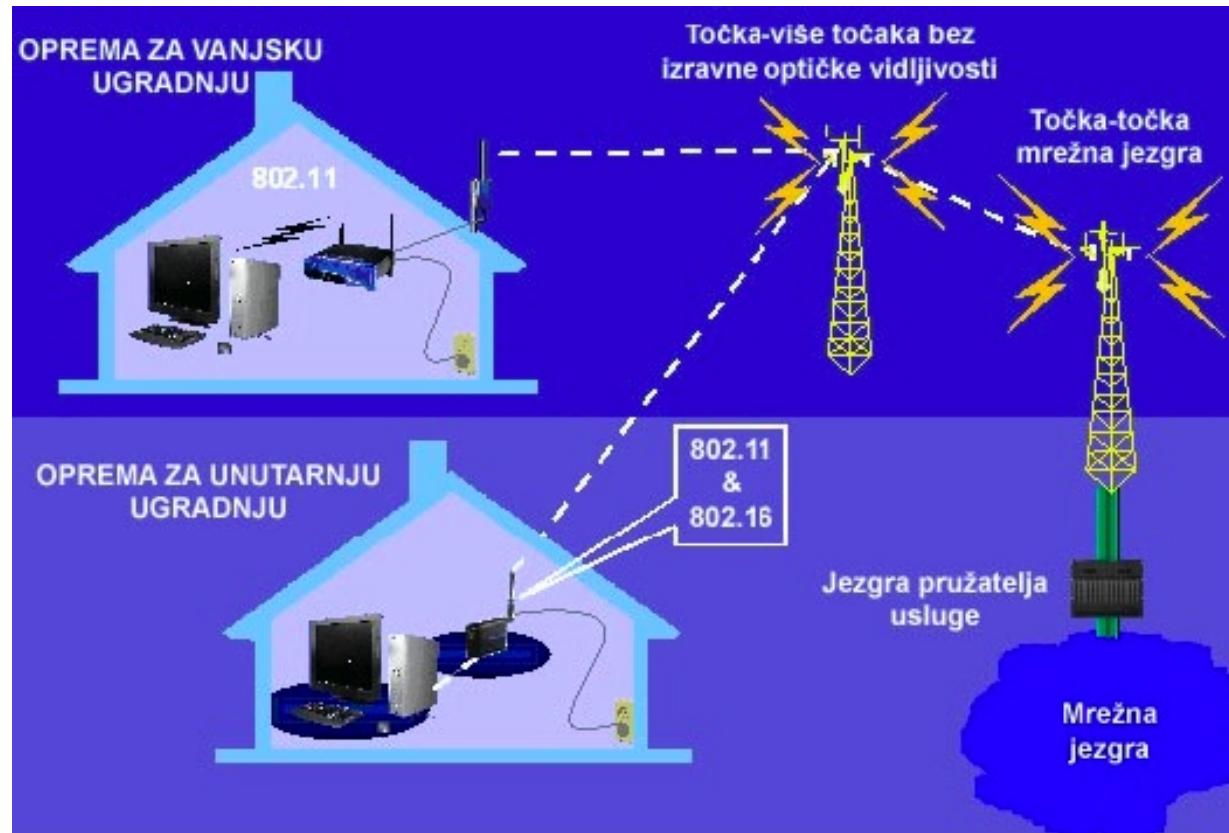


Primjena na gradilištu, u kući

- Gradilište
 - Radnici na gradilištu koriste prijenosna računala, spojena na WLAN, za: dobivanje izvedbene dokumentacije, naručivanje materijala i komuniciranje s ekspertima
 - Mogu se slati kratki videozapisi u stvarnom vremenu radi trenutnog rješavanja problema
 - Koristeći funkciju općeg prijenosa (*broadcast*) šalju se podaci svima na gradilištu
- Mreža u kući
 - Više korisnika u kući može dijeliti printere i veze prema Internetu
 - WLAN predstavlja kućnu radijsku infrastrukturu za upravljanje kućnim uređajima, zabavnom elektronikom i multimedijskom opremom
 - Pristupna točka (AP) može uključivati *uplink* na javnu mrežu (ADSL ili kabelski modem)

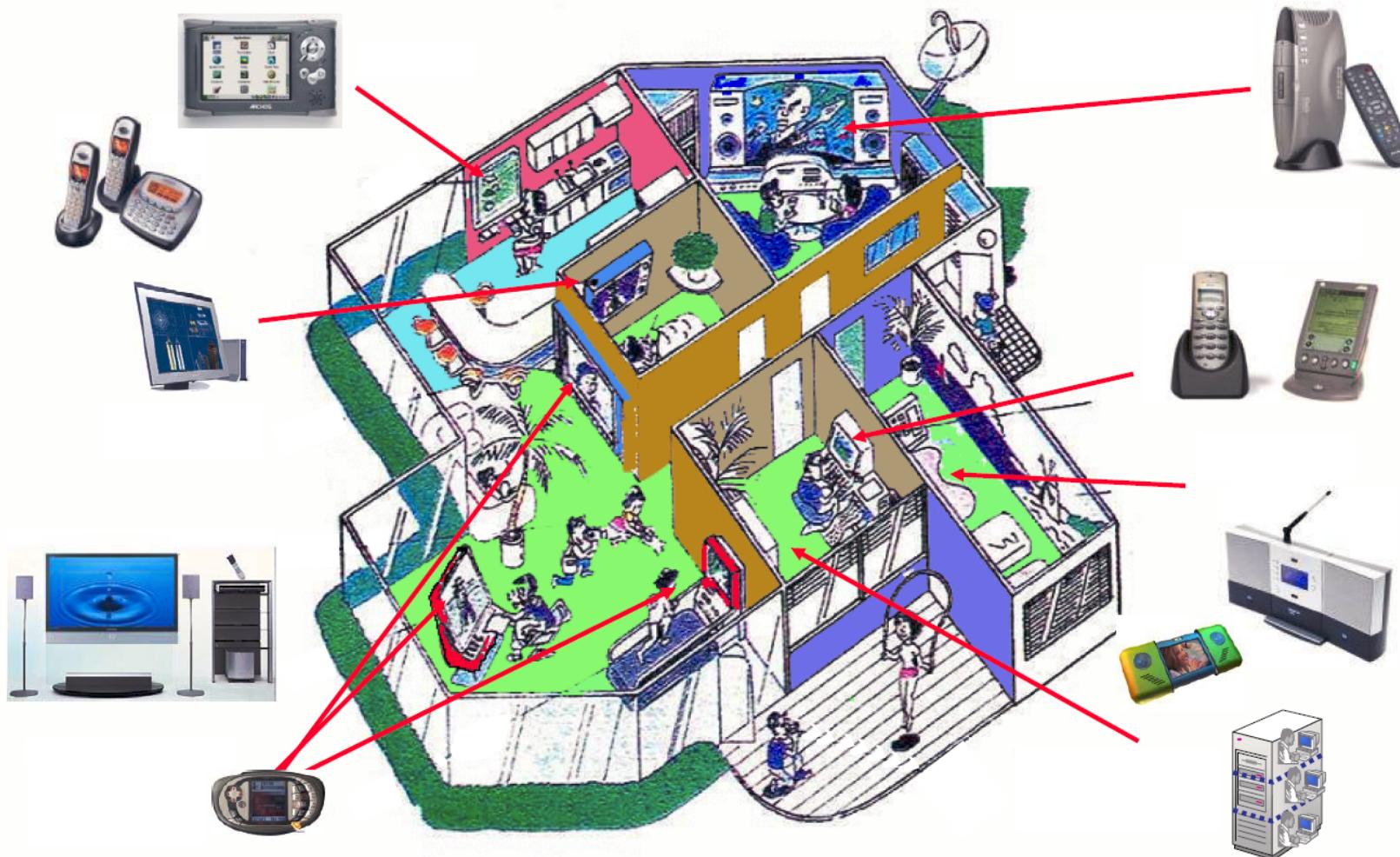
Primjena u kući (nastavak)

Razvoj kućne radijske širokopojasne opreme



Primjena u kući (nastavak)

Mnogo uređaja koji se mogu povezati s kućnom radijskom lokalnom mrežom



Primjena u kući (nastavak)

WLAN arhitektura koja se susreće u kućnoj primjeni

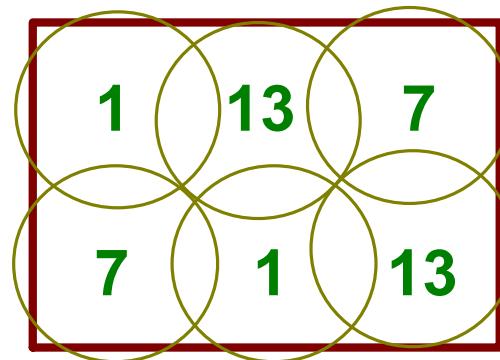
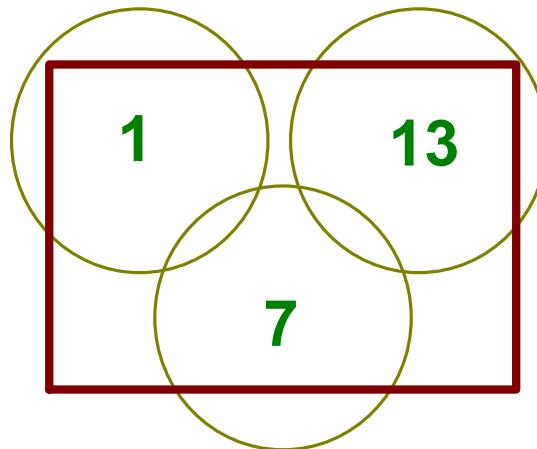


Javni i sveučilišni WLAN

- Javna mjesta veće koncentracije prometa (*hot-spots*)
 - WLAN se postavlja na javnim mjestima veće koncentracije prometa (*hot-spots*) kao npr. hoteli, zračne luke, željezničke i autobusne postaje, konferencijski centri, restorani, kavane
 - Posebno su zanimljive poslovnim ljudima izvan ureda za pristup korporacijskoj mreži, Internetu i ostalim uslugama
 - Javna je mreža predviđena za "nomadsko" korištenje, tj. korisnik se uglavnom ne kreće nakon zauzimanja položaja i spajanja na WLAN
 - U javnoj su mreži ponuđene i lokalne usluge kao npr. neprekinuti prijenos videosignalisa (*video streaming*) i opće informacije o novostima i događajima (*infotainment*)
- Sveučilište
 - WLAN pokriva cijeli kampus
 - Osim nastavnih materijala studenti dobivaju dnevne obavijesti o terminima nastave, ispita, materijale za pripremu i sl.

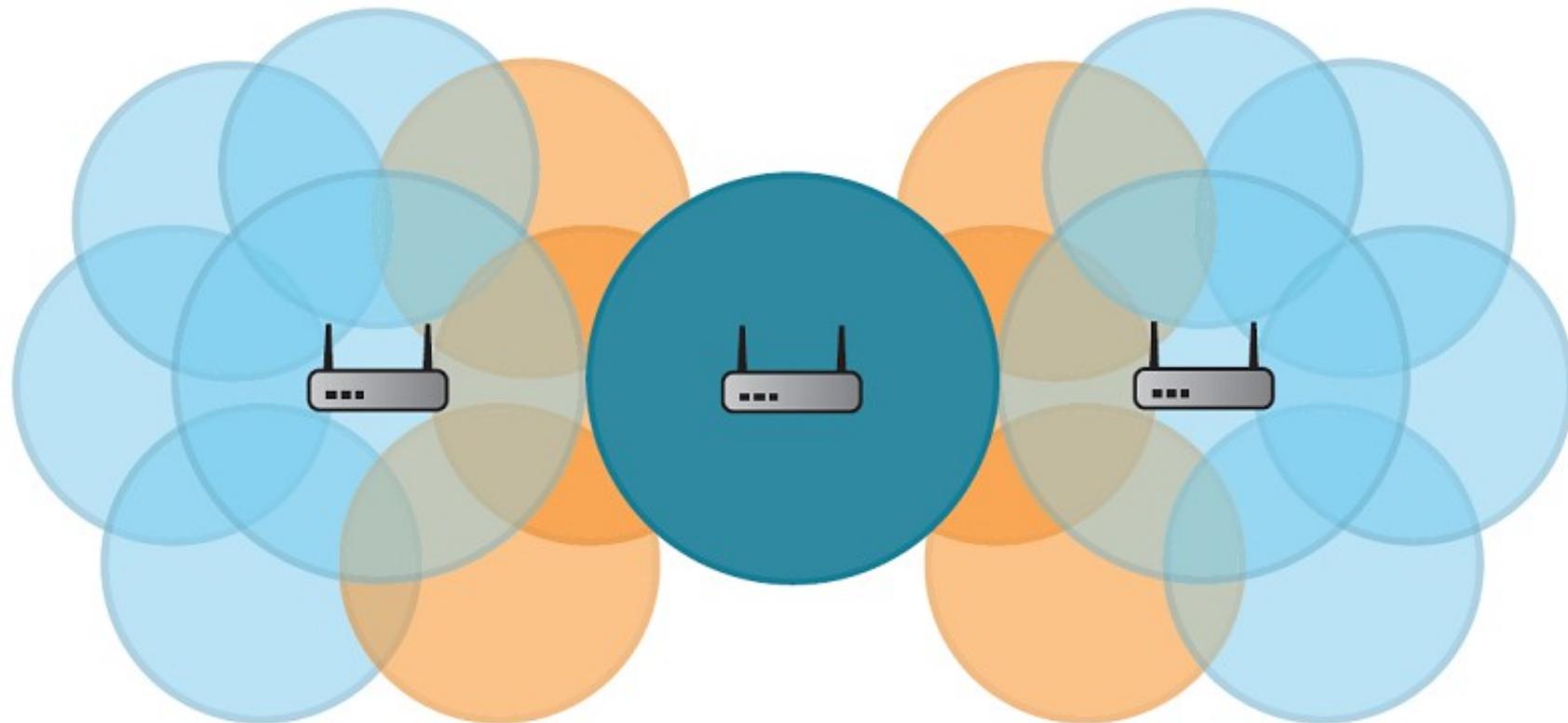
Primjeri planiranja pokrivanja WLAN-om

- U primjerima malih okruženja, npr. kavana ili stan, prostor je dobro pokriven. Ograničenje je obično kapacitet priključnog segmenta mreže (*backhaul*), a ne propusnost pristupne točke.
- Pri instalacijama u veće prostore, npr. hoteli, zračne luke, uredi, potreban je veći broj AP radi opsluživanja većeg broja korisnika
 - Potreba za povećanjem broja AP, a radi pružanja usluga s većom propusnošću, stvara potrebu za smanjenjem snage AP



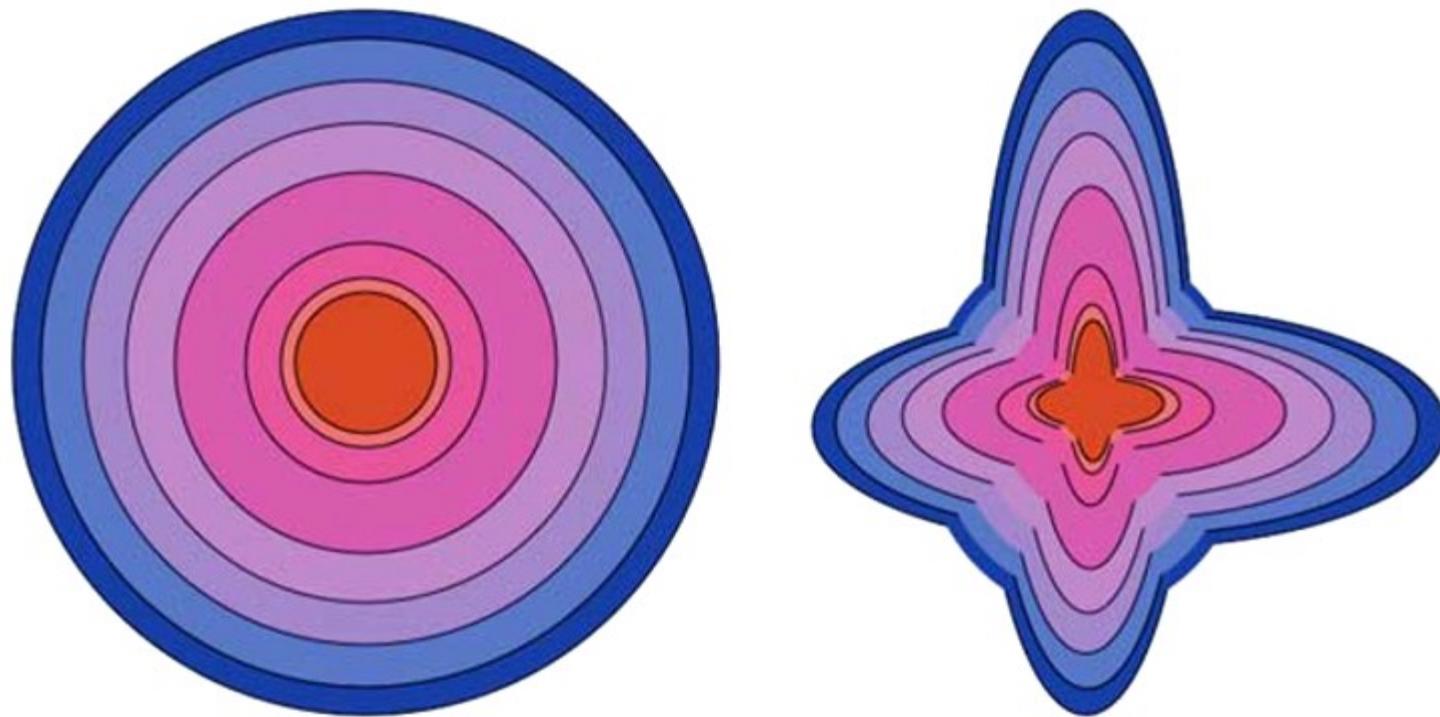
Primjeri planiranja pokrivanja WLAN-om (nastavak)

- Između pristupnih točaka, koje rade na istom kanalu, mora se u svim smjerovima nalaziti barem jedna pristupna točka koja radi na nekom drugom kanalu



Primjeri planiranja pokrivanja WLAN-om (nastavak)

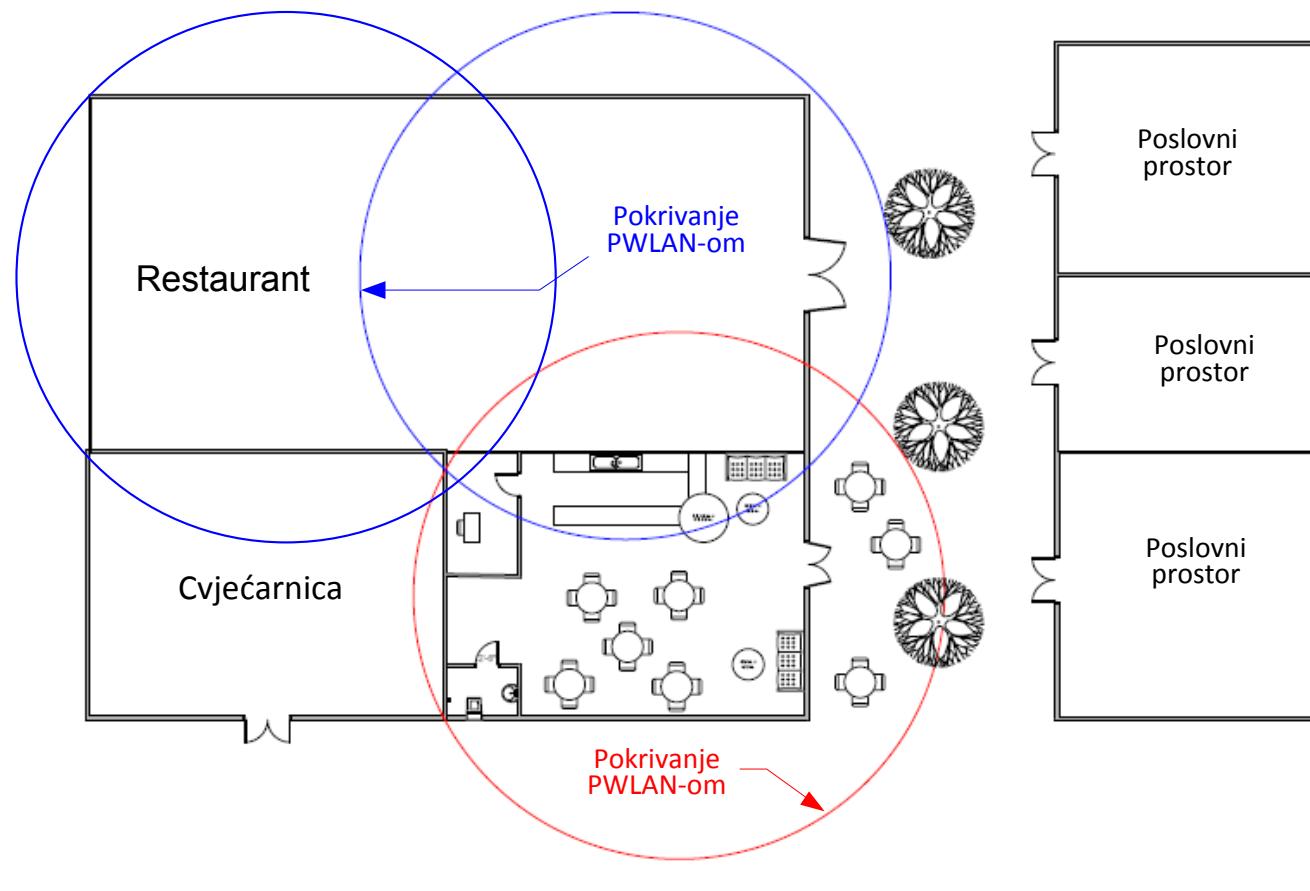
- Idealni oblik područja pokrivanja pristupne točke s neusmjerenom karakteristikom zračenja (lijevo) često se deformira u realnim uvjetima (desno) zbog raznih prepreka u okolini



Primjeri planiranja pokrivanja WLAN-om (nastavak)

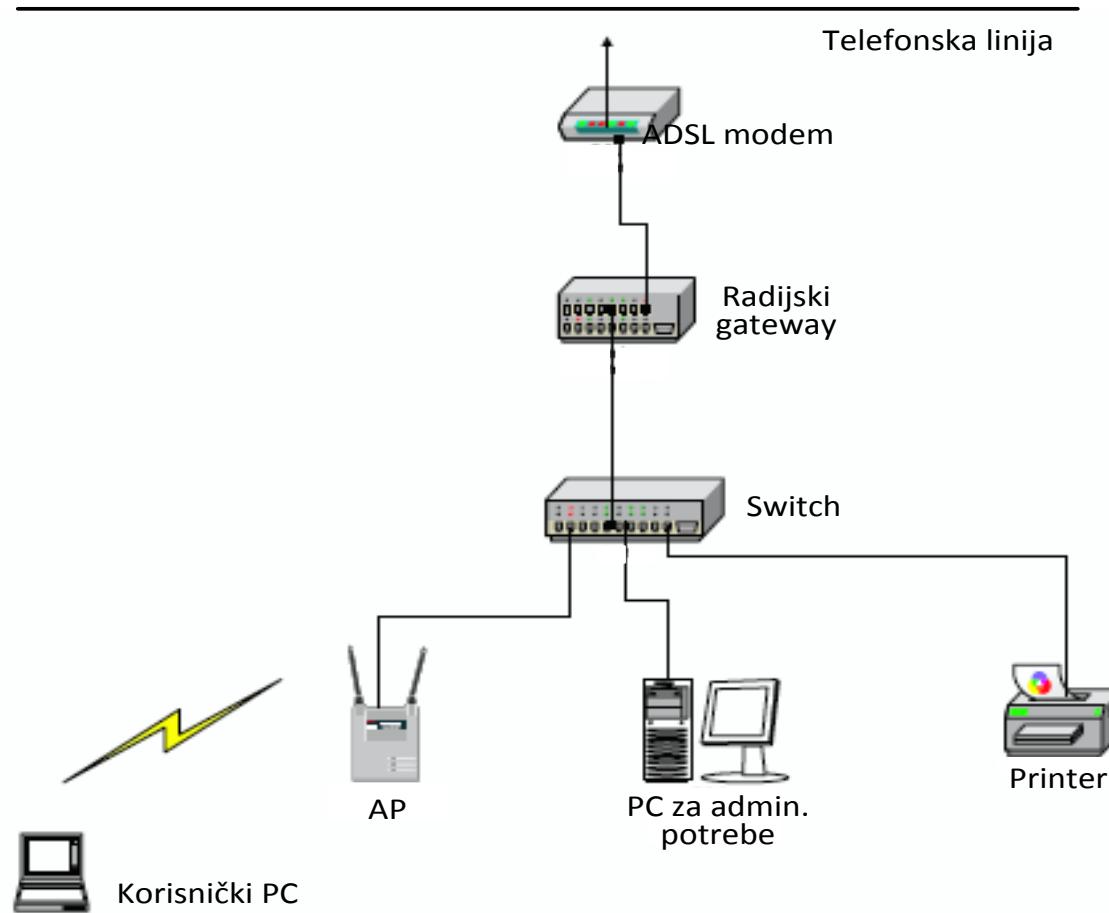
- Primjer: Mala kavana

- Prostor male kavane pokriva se s jednom pristupnom točkom
- Mreža pripada skupini javnog WLAN-a (PWLAN) *hot-spot* vrste



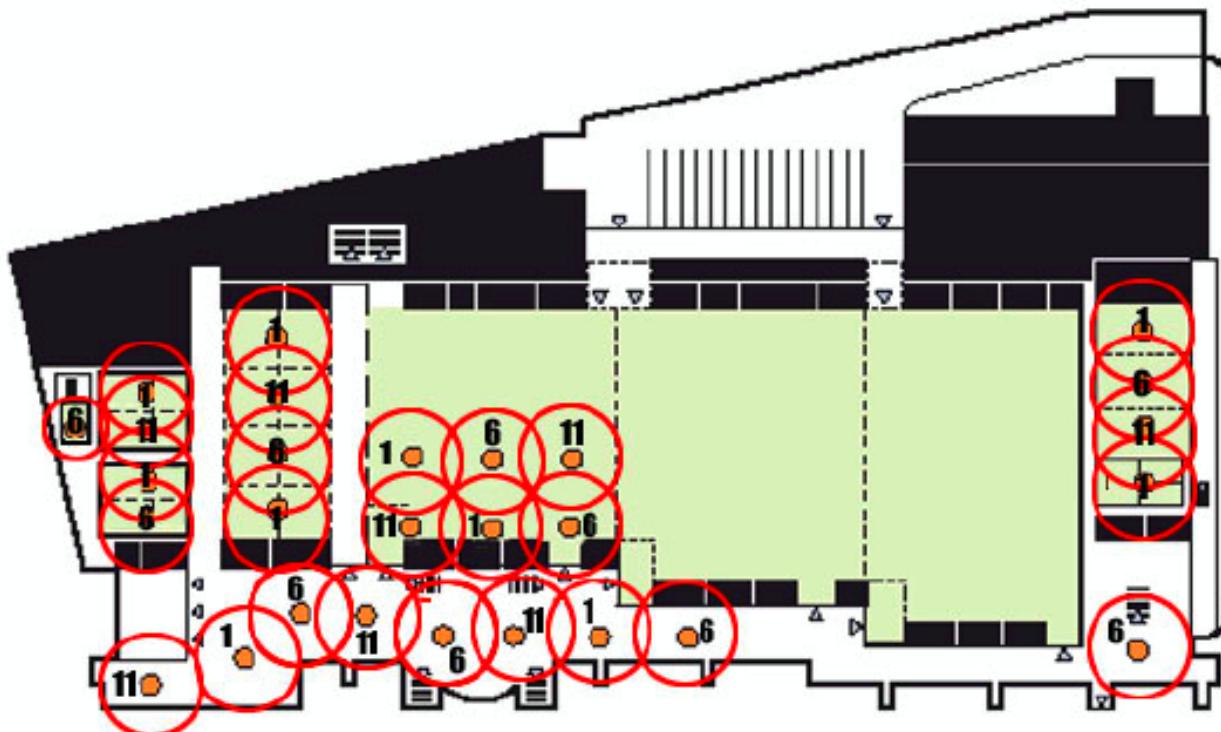
Primjeri planiranja pokrivanja WLAN-om (nastavak)

Topologija *hot-spot* mreže za malu kavanu iz primjera

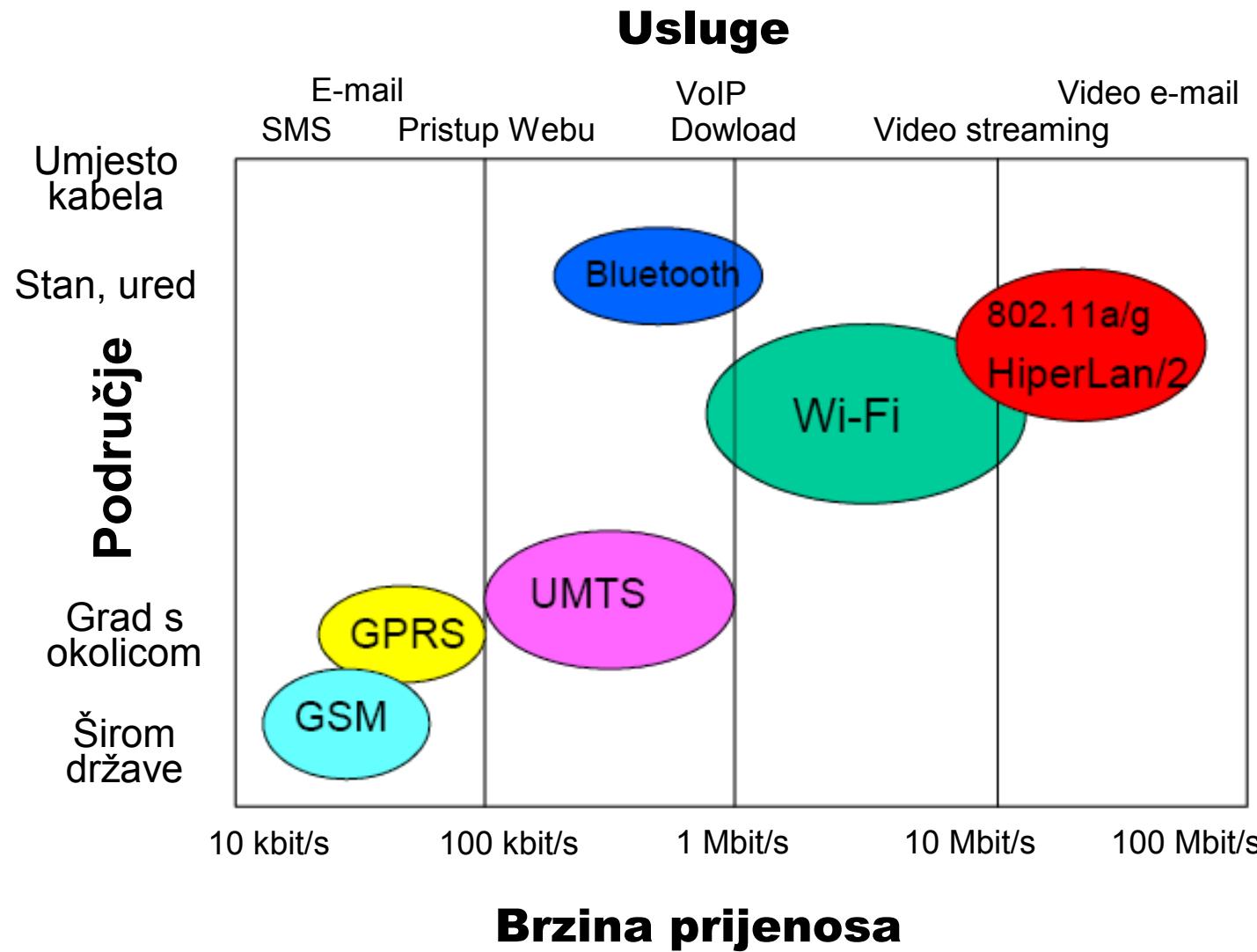


Primjeri planiranja pokrivanja WLAN-om (nastavak)

- Primjer: Kongresni centar
 - Prostor se pokriva s velikim brojem pristupnih točaka (AP)
 - Planirane su male površine ćelija, koje pokriva jedna pristupna točka, zbog ograničenog broja kanala (najviše 3 u 2,4 GHz pojasu) i očekivane velike koncentracije korisnika u nekim prostorima kongresnog centra



Usluge u mreži



Usluge u mreži (nastavak)

- Dvije su vrste usluga u WLAN-u:
 - *Usluge za prijenos informacije u stvarnom vremenu*
 - To su npr. prijenos govora, prijenos pokretne slike te druge multimedejske usluge
 - Prenositi informaciju u stvarnom vremenu znači prenositi je brzinom njezinoga prirodnog nastanka
 - Ako se radi npr. o telefonskoj kvaliteti prijenosa govora tada informacija nastaje brzinom od 64 kbit/s
 - *Usluge za prijenos informacije raspoloživom brzinom*
 - Tu spada klasični prijenos podataka, elektronička pošta, pretraživanje Interneta, prijenos datoteka, itd.
 - To nisu vremenski kritične usluge te se kao takve mogu prenositi raspoloživim pojasom prijenosa
 - Kvaliteta ovih usluga češće se mjeri raspoloživošću poslužitelja (servera) nego pruženom brzinom prijenosa

Usluge u mreži (nastavak)

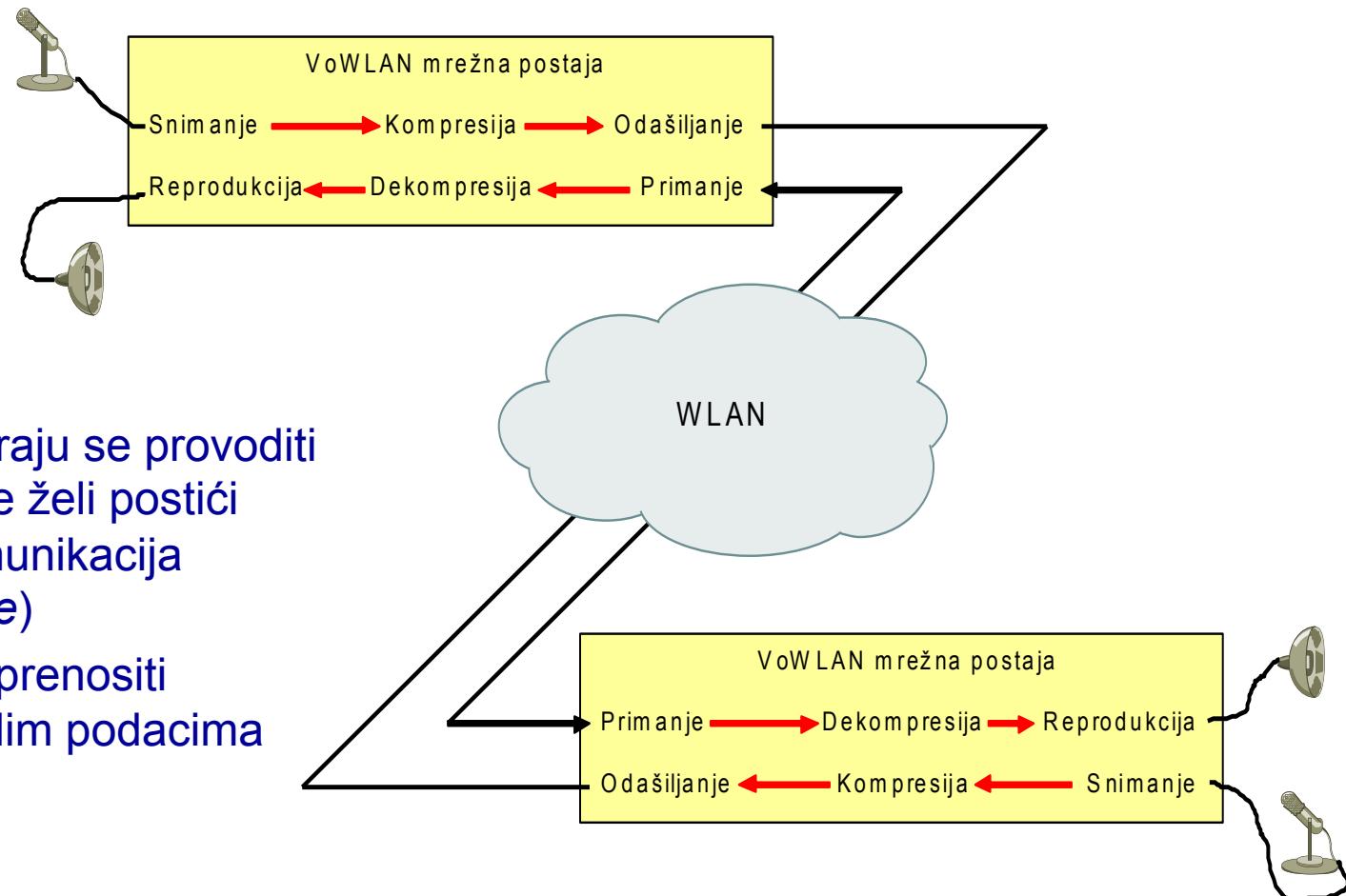
• Pristup Internetu

- Najrasprostranjenija javna usluga je spajanje korisnika s radijske lokalne mreže na Internet
- Ova usluga spada u kategoriju *usluge za prijenos informacije raspoloživom brzinom*
- Ona postavlja najskromnije zahtjeve na mrežne resurse, a ujedno je i najjednostavnija za implementaciju
- Najčešće se pristup Internetu nudi besplatno svim posjetiteljima, iako postoje tehnički mehanizmi za naplatu ove vrste usluge
 - Vlasnici *hot-spot* mreža ili pružatelji radijskog pristupa Internetu (WISP, *Wireless Internet Service Provider*) mogu koristiti javne pristupne točke za pristup Internetu. Oni plaćaju ISP-u (*Internet Service Provider*) korištenje pristupa u temeljnu mrežu i odgovorni su za pristup korisnika u javnu WLAN mrežu i naplatu korištenja mreže.

Usluge u mreži (nastavak)

- **Usluga prijenosa govora**

- Prijenos govora preko radijske lokalne mreže (VoWLAN, Voice over WLAN)



- Svi postupci moraju se provoditi istodobno ako se želi postići dvosmjerna komunikacija (*full duplex mode*)
- Govor se može prenositi izmiješan s ostalim podacima

Usluge u mreži (nastavak)

- Govorna usluga ima tri oblika:

- *prijenos govora koji nije namijenjen reprodukciji u stvarnom vremenu*

Npr. za prijenos govornih naredbi ili poruka s prijenosnog uređaja do udaljenog računala. Za ovaj način prijenosa govora nema posebnih zahtjeva na sustave jer se radi o istom načinu prijenosa poput paketskog prijenosa podataka.

- *prijenos govora s dopuštenim kašnjenjem*

Primjene ovog načina prijenosa govora uključuju:

- ⌚ walkie-talkie način prijenosa govora između mrežnih postaja po IEEE normi 802.11
 - ⌚ prijenos govornih poruka do udaljenog računala radi pohranjivanja i eventualne kasnije reprodukcije

- *prijenos govora u stvarnom vremenu*

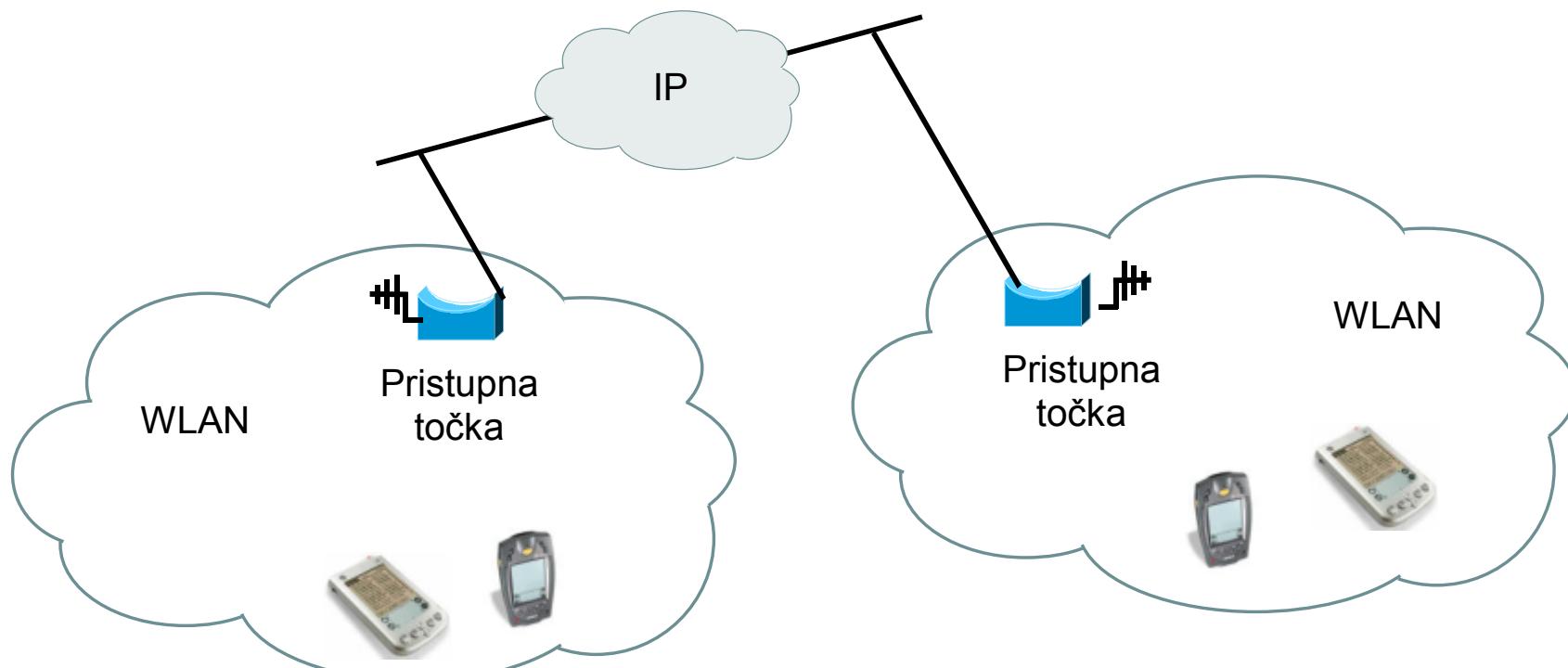
Primjene ovog načina prijenosa govora uključuju:

- ⌚ telefonski poziv koji se može uputiti do mobilnog računala
 - ⌚ potpunu dvosmjernu telefonsku vezu između mobilnih računala

Usluge u mreži (nastavak)

– VoIP putem WLAN-a

- Gotovo sve studije pokazale su da VoIP radi prilično dobro na fiksnom LAN-u
- VoIP putem fiksnih mreža može se primijeniti i na radijske mreže koristeći IEEE normu 802.11b/g uz nekoliko dodataka (programsku i sklopovsku podršku za VoIP treba postaviti u mrežnu postaju)



Usluge u mreži (nastavak)

• Multimedejske usluge

- U današnje se vrijeme WLAN-om prenose podaci, dok je sljedeći korak u razvoju tih mreža integracija usluga, tj. prijenosa govora, slike i podataka
- Vrste prometa:
 - **Najbolji mogući (best-effort):** Ova vrsta prometa nije pogodna za multimedejski prijenos, ali je karakteristična za većinu nemultimedejskog prometa. Ne može se jamčiti određena brzina niti vrijeme čekanja (*latency*). Mreža će učiniti najbolje moguće da se podaci dostave do odredišta.
 - **Audiosignalni:** Ova vrsta prometa zahtijeva srednje brzine prijenosa te je vrlo osjetljiva na pogreške.
 - **Videosignalni:** Zahtijevaju velike brzine prijenosa, te mogu biti vrlo osjetljivi na kašnjenja.
 - **Interaktivne igre:** Ova vrsta prometa zahtijeva niske brzine prijenosa, međutim, vrlo je osjetljiva na kašnjenja prijenosa u stvarnom vremenu.

Usluge u mreži (nastavak)

- Zvuk, VoIP i videokonferencije:** Ova vrsta prometa zahtijeva niske do srednje brzine prijenosa, te je vrlo osjetljiva na dvosmjerno kašnjenje od kraja do kraja prijenosnog puta.

Usluga	Razina kvalitete	Brzina prijenosa	Najveće kašnjenje
Govor	nije definirana	64 kbit/s	150 ms
Videokonferencije	dobra	468 kbit/s	150 ms
	srednja	133 kbit/s	250 ms
	loša	99 kbit/s	400 ms
Videonadzor	dobra	512 kbit/s	600 ms
	srednja	128 kbit/s	2 s
	loša	56 kbit/s	5 s
Video na zahtjev	dobra	2 Mbit/s	3 s
	srednja	300 kbit/s	3 s
	loša	56 kbit/s	3 s

Kvaliteta usluge, QoS

- *Što je kvaliteta usluge?*
 - Kvaliteta usluge je opisivanje svih vidljivih pojava na granici između aplikacije i mreže
 - U većini slučajeva QoS se predočava u obliku brojeva koji kvalitativno opisuju neke od parametara mreže, kao što su: propusnost, kašnjenje, promjenjivost kašnjenja, gubici paketa, itd.
- Kod mobilnih mreža nije moguće predvidjeti vladanje mreže
 - Pokretljivost terminala uzrokuje mijenjanje QoS parametara manje ili više kontinuirano

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

- U današnjim mrežama protokol DiffServ (*Differentiated Services*) uzima se kao dominantni protokol za provedbu kvalitete usluge na mrežnom sloju
- Ipak, u radijskom i fiksnom LAN-u navedeni protokol ne pruža mogućnosti kontrole prometnog toka i provođenja kvalitete usluge
- Norme IEEE 802.11e i IEEE 802.1D definiraju QoS na MAC podsloju
- Budući da navedene norme nisu DiffServ domena, kvaliteta usluge s kraja na kraj mreže ne može se provesti

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

- Navedeni problem rješava se uvođenjem pravila komuniciranja između QoS protokola viših slojeva s QoS protokolima na sloju podatkovne veze (definiranje tzv. protokola približavanja)
- Neki protokoli koji se koriste u IP mrežama za provedbu kvalitete usluge:
 - IEEE norme 802.1p, 802.1D i 802.1Q definiraju prioritete nad prometnim tokovima (način klasificiranja okvira unutar Ethernet komutatora (*switches*)) na sloju podatkovne veze
 - Protokol RSVP (*Resource Reservation Protocol*)
 - Signalizacijski protokol kojega je definirala normizacijska organizacija IETF (*Internet Engineering Task Force*)
 - Osigurava rezervaciju resursa mreže (npr. pojas prijenosa) te dodjeljivanje različitih razina usluge različitim korisnicima
 - Koristi se u svrhu razlikovanja vremenski kritičnih aplikacija kod izravnog dodjeljivanja resursa mreže

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

- Protokol RSVP – Glavne značajke:
 - Definira nekoliko rezervacijskih modela u svrhu prilagodbe različitim uslugama
 - Odredišno je orientiran (tj. rezervaciju resursa kontrolira prijamna strana)
 - Podržava prilagodnu kontrolu kod dijeljenja rezervacija i usmjeravanja tokova prometa
 - RSVP nije transportni protokol, tj. ne prenosi korisničke informacije, ali radi usporedno s protokolima TCP ili UDP
 - RSVP je transparentan za usmjeriteljske uređaje koji su tipa *non-RSVP*; takvi elementi predstavljaju slabu točku u QoS lancu iz razloga što se u njima prometni tok poslužuje po *best-effort* načelu;
 - Koristi IP *multicast* za odašiljanje informacija
- Protokol DiffServ
 - Provodi razlučivost usluga kako bi podržao QoS zahtjeve usmjerene na prometne vrste
 - Ideja se temelji na izmještanju klasifikatora prometa na rub mreže te brzom prometnom usmjeravanju unutar temeljne mreže

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

– Protokol DiffServ

- Zaglavje u IP paketu (polje *DS CodePoint*), za slučaj korištenja protokola DiffServ, određuje razinu prioriteta paketa i pomaže u provedbi kvalitete usluge s kraja na kraj mreže
- Protokol DiffServ definiran je za sve inačice protokola IP (IPv4 i IPv6)
- Razlučivost usluga provodi se preko klasa usluga koje definiraju različite prometne prioritete - u okviru protokola IPv4 to je riješeno unutar polja ToS (*Type of Service*) ili s poljem *priority_bits* kod protokola IPv6
- Korištenje IP zaglavla za definiranje prioriteta prometa predstavlja najveću razliku između protokola RSVP i DiffServ
- DiffServ arhitekture se realiziraju kroz nekoliko funkcija implementiranih u mrežnim čvorovima, a sve s ciljem podrške različitim klasama IP usluga u Internetu:
 - funkcije klasifikacije paketa (*packet classifiers*)
 - ponašanje kod prosljeđivanja (*forwarding/per-hop behavior*)
 - funkcije prilagođavanja prometa uključujući: mjerenje, obilježavanje, oblikovanje i pravila prometa (*traffic conditioning polices*)

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

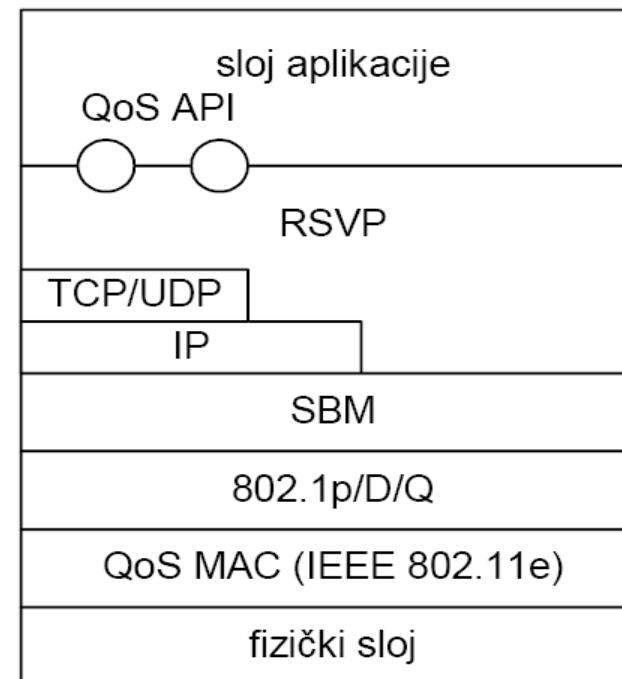
– Protokol SBM

- Radna skupina ISSLL (*IETF-Integrated Services over Specific Link Layers*) definirala je način preslikavanja između QoS protokola viših slojeva i QoS protokola na sloju podatkovne veze (npr. Ethernet)
- Kao rezultat rada nastao je protokol SBM (*SBM - Subnet Bandwidth Manager: A Protocol for RSVP-Based Admission Control over IEEE 802-Style Networks*)
- Signalizacijski protokol koji provodi komunikaciju i koordinaciju između Internet protokola (npr. RSVP) i protokola sloja podatkovne veze
- Protokol SBM definira operacije između usmjeriteljskih uređaja (koji podržavaju RSVP) i uređaja na sloju podatkovne veze (komutatori), a sve u cilju podrške rezervaciji mrežnih resursa
- Primarni elementi protokola SBM:
 - element dodjele pojasa prijenosa (BA, *Bandwidth Allocator*); upravlja raspodjelom resursa u podmreži i prihvatom poziva
 - element prihvata zahtjeva (RM, *Requestor Module*); nalazi se u svakom krajnjem uređaju (računalo) i ponekad u komutatoru; element RM provodi preslikavanje prioritetnih zahtjeva (poziva) između sloja podatkovne veze i QoS protokola viših slojeva prema definiranim pravilima

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

Primjer provedbe kvalitete usluge u WLAN-u s kraja na kraj mreže i od vrha prema dnu

- Od vrha prema dnu se odnosi na protokolni složaj, tj. mehanizmi za podršku kvaliteti usluge su implementirani na svakom sloju i isti “razumiju” QoS zahtjeve i podržavaju usluge
- Različiti protokolni slojevi koji osiguravaju kvalitetu usluge od vrha prema dnu:

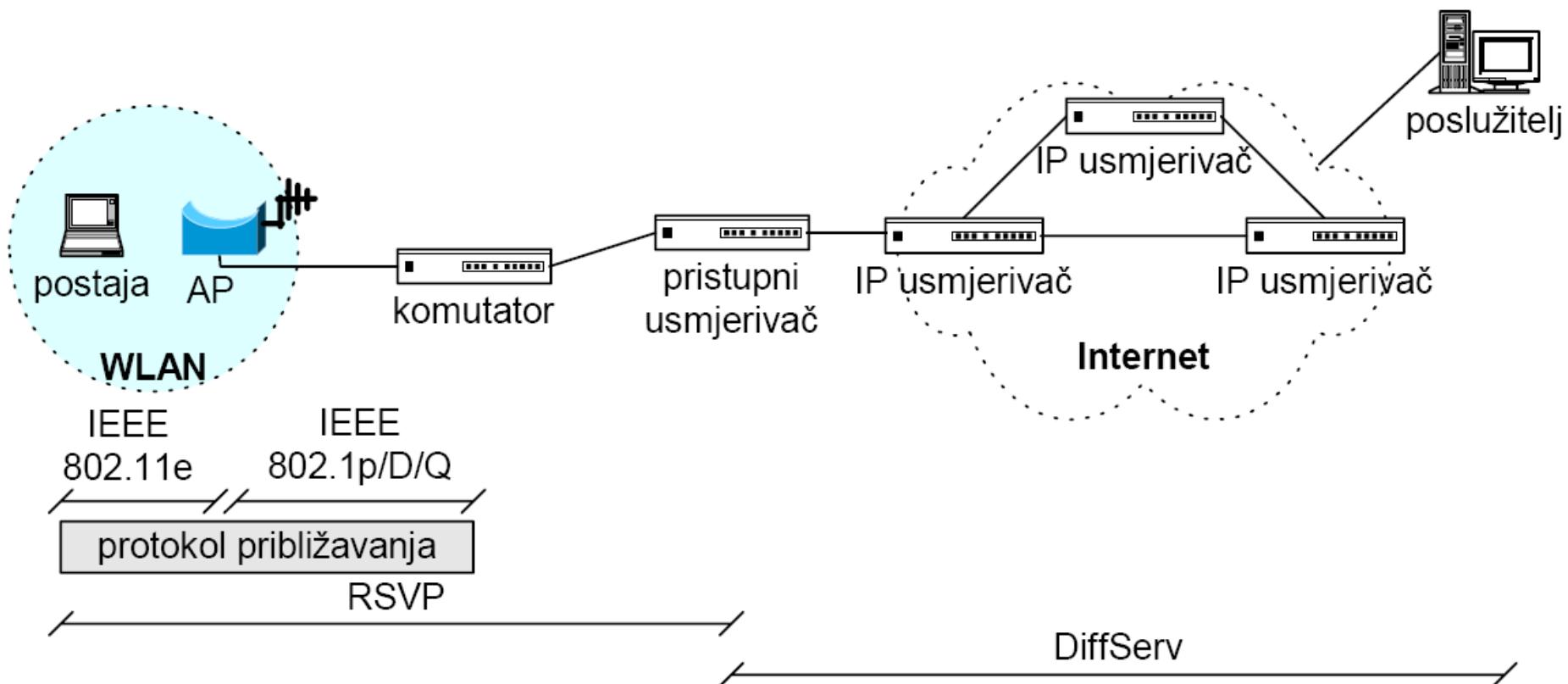


Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

- Sloj aplikacije mora osigurati provedbu kvalitete usluge i biti u stanju koristiti QoS pristupne točke (API, *Access Point Interfaces*)
- Informacija o kvaliteti usluge se sa sloja aplikacije, preko pristupnih točaka usluge (QoS API), preslikava na protokol RSVP ili na neki drugi prijenosni protokol
- Nakon toga se informacija preslikava u protokol SBM koji upravlja pozivima (zahtjevima)
- Protokol SBM prenosi zahtjev za kvalitetom usluge na neki od QoS protokola informacijskog linka (IEEE 802.1p/D/Q)
- Navedeni zahtjev se potom prosljeđuje na MAC podsloj u WLAN-u
- MAC podsloj provodi pristup radijskom mediju s ciljem podrške zahtijevanoj kvaliteti usluge

Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

Primjer načina realizacije kvalitete usluge u WLAN mrežama koristeći protokole RSVP i DiffServ



Kvaliteta usluge, QoS (nastavak)

- Korisnički QoS zahtjevi (kašnjenje, promjenjivost kašnjenja, ...) definiraju kvalitetu usluge s kraja na kraj mreže
- S obzirom da korisnički promet prolazi kroz različite mrežne elemente, parametri kvalitete usluge moraju se prilagoditi različitim mrežnim sučeljima, i to:
 - Radijska lokalna mreža
 - Sučelje između mrežne postaje i pristupne točke (AP, Access Point) definirano je prema IEEE normi 802.11e koja osigurava osam različitih prometnih kategorija - tri se odnose na najbolju moguću uslugu (*best-effort*), dvije na govor (*voice*) i tri na videozapis (*video*)
 - Ethernet LAN
 - Ethernet segment između pristupne točke i komutatora ograničava podmrežni promet i tretira ga prema nekom od QoS mehanizama (npr. 802.1D/Q)
 - Internet ili IP WAN (Wide Area Network) mreža
 - Korisnički prometni parametri se kroz protokol RSVP preslikavaju u DiffServ parametre

Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*)

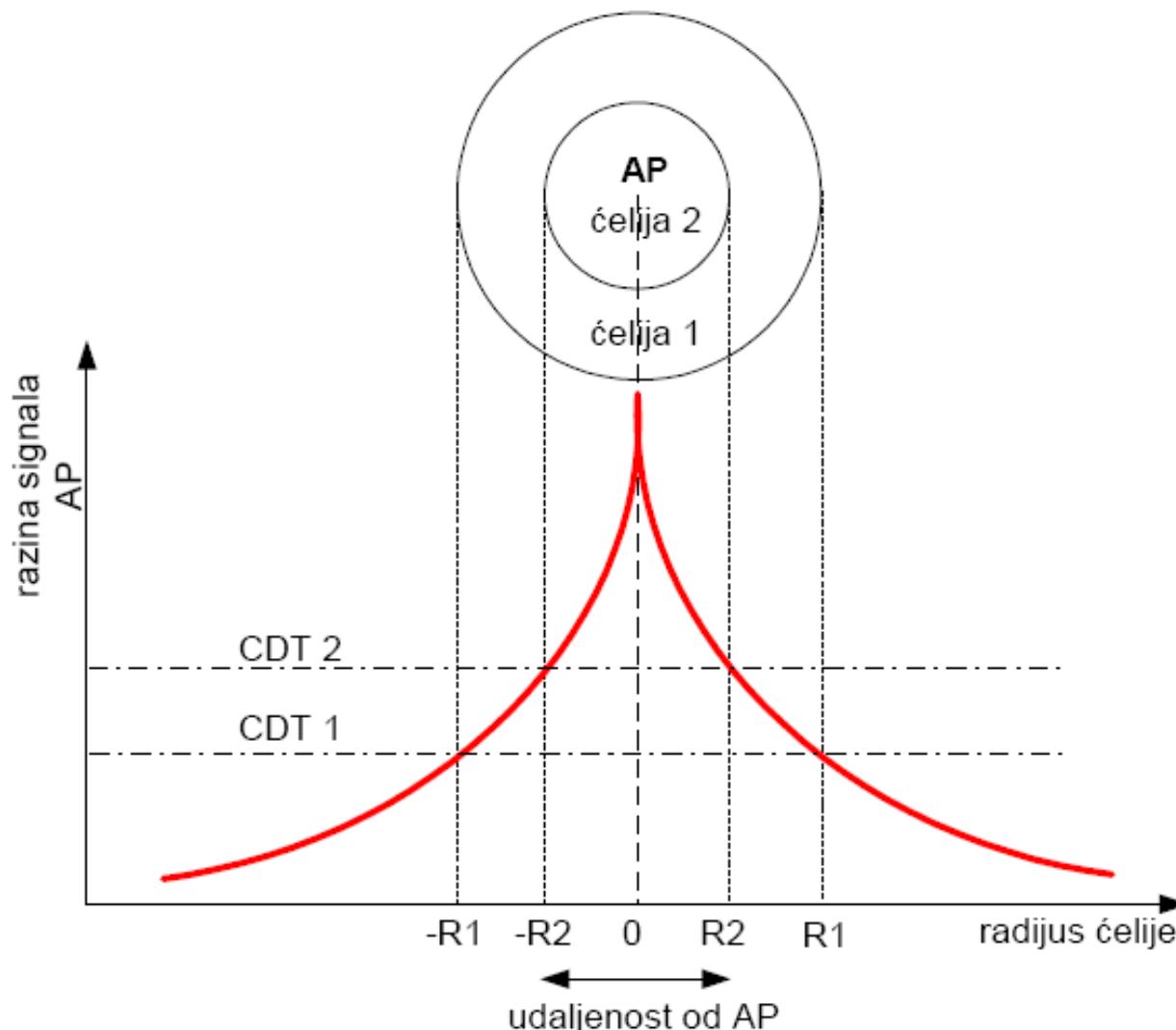
- Uspoređujući WLAN sustav s mobilnim sustavima može se reći da WLAN ne podržava strogo gledajući "nevidljivi" (*seamless*) prijelaz iz područja jedne pristupne točke u područje jedne od susjednih pristupnih točaka
- Ipak, postoji cijela procedura koja se temelji na analizi kvalitete komunikacije CQ (*Communication Quality*) koja osigurava prekapčanje pojedinog korisnika s jedne pristupne točke na drugu pristupnu točku

Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*) (nastavak)

- U CQ analizi neprestano se promatraju sljedeće veličine:
 - Razina prijamnog signala koju prikazuje pokaznik (RSSI, *Receive Signal Strength Indicator*). On prati razinu RF snage koju osigurava fizički sloj (PHY).
 - Broj ponovnih odašiljanja mobilne postaje prema svojoj, trenutnoj pristupnoj točki (mjeri se ACK vrijeme). Ovu veličinu osigurava MAC.
 - Broj dvostruko primljenih poruka sa strane pristupne točke (uslijed propuštenih ACK signala). Ovu veličinu isto tako osigurava MAC.
- Određivanje mjere kvalitete komunikacije sastoji se isto tako od ponderiranih mjeranja odnosa signal/šum (provodi se određeni broj mjerena). Ovaj odnos SNR definira se kao razlika razina RSSI i perioda bez signala na pristupnoj točki (uzima se najlošiji slučaj).

Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*) (nastavak)

Utjecaj razine CDT na veličinu ćelije



Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*) (nastavak)

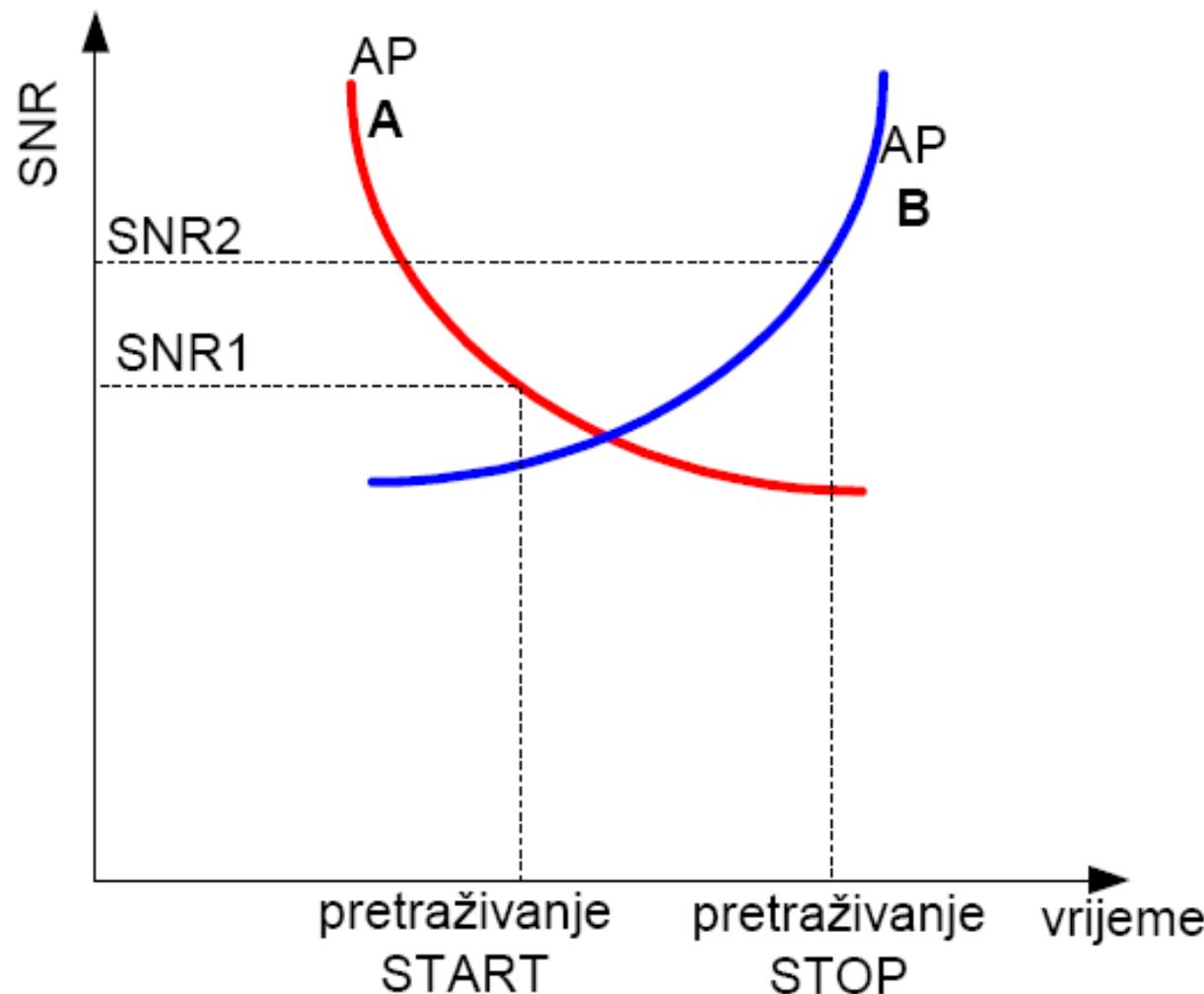
- Kako bi se proveo prijelaz iz jedne ćelije u drugu potrebno je provesti prekapčanje (*handover*) veze na osnovu izmjerenih podataka od kojih je presudna prijamna razina. Razina prekapčanja mora se definirati s određenom histerezom kako bi se izbjeglo brzo (i nepotrebno) sukcesivno prekapčanje na granici dviju ćelija.
- Za provođenje prekapčanja veze važan je prag detekcije nosioca CDT (*Carrier Detect Threshold*) koji se definira kao ona razina prijenosnog signala ispod koje prijamnik WLAN uređaja više nije u stanju funkcionirati. Pretpostavi li se da pristupna točka AP zrači neku RF snagu, ista se uslijed gušenja smanjuje u ovisnosti o radijusu ćelije (uz fiksiranu frekvenciju i nepromijenjenu okolinu).

Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*) (nastavak)

- Veličina CDT mora biti odabrana prema tehničkim specifikacijama WLAN uređaja, tj. prema deklariranoj minimalnoj prijamnoj razini. Postavi li se prag CDT prenisko, u cilju dobivanja većeg radijusa ćelije, rad takvog sustava može biti izrazito nepouzdan s vrlo visokim postotkom pogrešno prenesenih paketa.
- Za pravilno prekapčanje između pojedinih pristupnih točaka postoji potreba stalnog određivanja odnosa signal/šum. Ako se pretraživanjem utvrdi da jedna od susjednih pristupnih točaka nudi višu razinu signala, potrebno je postojeću vezu preusmjeriti na tu pristupnu točku.

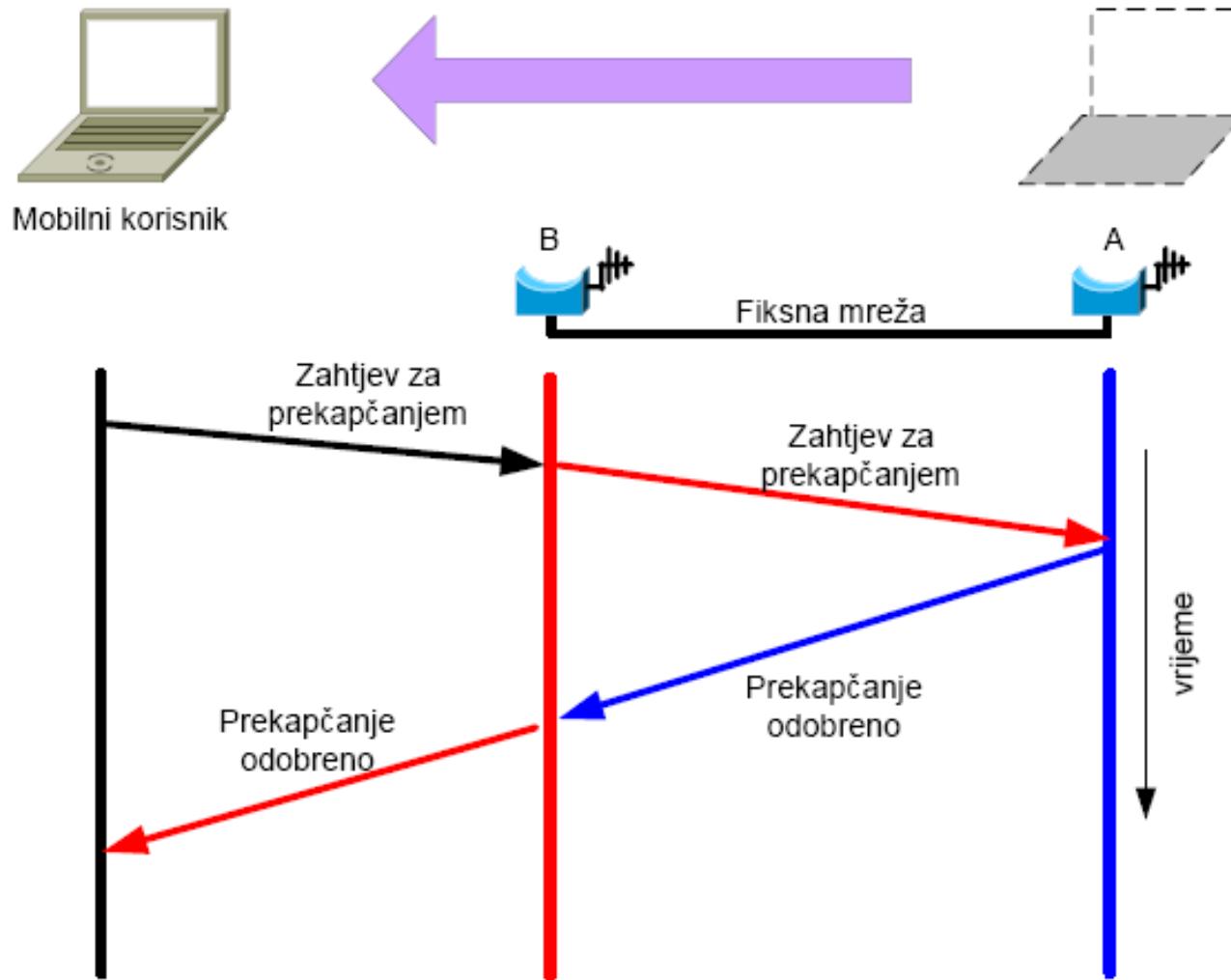
Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*) (nastavak)

Pretraživanje pristupnih točaka za *roaming*



Mobilnost u WLAN sustavima (*roaming*) (nastavak)

Procedura prekapčanja veze



Naplata usluga

- Pružatelji usluga, koji imaju razvijene metode naplate usluga, moraju naći rješenje naplate usluge za prometne tokove kroz javne WLAN-ove i priključne segmente mreže (*backhaul*)
- Dva su načela za naplatu usluga:
 - pretplata (*pre-paid*) i
 - plaćanje nakon korištenja usluge (*pay-per-use*)
- U oba su slučaja moguća dva modela:
 - naplata samo uporabe usluge ili
 - naplata opterećenja koje korisnik generira (količina prenesenih podataka)
- Temelj za uvođenje naplate jest autorizacija i provjera vjerodostojnosti pristupa (*authentication*)

Naplata usluga (nastavak)

- Osnova za naplatu usluge može biti:
 - naplata usluge po količini podataka (npr. po MB);
 - naplata najmanje količine podataka (npr. 128 MB) te svakog MB iznad toga
 - naplata usluge po vremenu,
 - mjesecačna naplata bez obzira na broj pristupa mreži (*flat-rate*)
 - naplata usluge po danu (npr. 24 sata)
 - naplata usluge po satu
 - naplata usluge po minuti
 - naplata usluge po tzv. sesiji (npr. po broju ostvarenih spajanja)

Smjerovi razvoja WLAN tehnologija

- *Poslovni segment - tvrtke*

- Većina poslovnih subjekata će u budućnosti težiti k maksimalnoj mogućoj postizivoj brzini prijenosa podataka uz postojeću računalnu opremu
- One tvrtke koje već imaju postavljenu opremu u skladu s IEEE normom 802.11b brže će ili sporije tehnološki migrirati prema opremi u skladu s IEEE normom 802.11n i 802.11ac, a daleko manje vjerojatno prema 802.11a, odnosno HiperLAN opremi

- *Javni segment*

- U ovom segmentu korisnika većina veza preko WLAN-a ide i preko Interneta
 - Brzina pristupa Internetu je u širem smislu uglavnom ograničena na red veličine od nekoliko Mbit/s (zbog kabelske i DSL veze)
 - Potreba za velikim brzinama u dijelu javnih korisnika nije toliko akutna
- Specifičnost ove grupe korisnika je relativno kratki boravak u području jedne pristupne točke odnosno povećana mobilnost

Smjerovi razvoja WLAN tehnologija (nastavak)

- S obzirom da skup korisnika u načelu nema definiranu fiksnu korisničku normu (kao što je to slučaj u tvrtkama), migracija k višim normama u javnom sektoru bit će izraženija i brža
- *Kućni segment*
 - Glavni zahtjevi za ovaj segment su: niska cijena, jednostavno postavljanje te lagano korištenje
 - Podatkovna je komunikacija nužno vezana uz Internet
 - Ipak, za pojedine usluge su potrebne veće brzine prijenosa (posebno za multimedejske aplikacije)

Radijske pristupne mreže

Izv. prof. dr. sc. Gordan Šišul

WLAN

(planiranje i projektiranje, primjeri iz prakse)

Usluge u lokalnoj mreži

- Prvi korak prilikom planiranja i projektiranja WLAN mreže
 - Definirati koje usluge želimo pružati, koja razina kvalitete mora biti ispunjena, koliko korisnika se očekuje
 - Mnoga standardizacijska tijela i industrijske organizacije (npr. ITU, Broadband Forum,...) bave se različitim klasifikacijama usluga i njima pripadajućih parametara kvalitete usluge (različiti QoS za pojedinu vrstu usluge)
- Ključni parametri usluga (aplikacija) koji se razmatraju kod planiranja bežične lokalne mreže su:
 - Aplikacijski zahtjevi;
 - Istodobno korištenje više usluga (npr. govorna usluga i prijenos podataka);
 - Relativni omjeri korištenja video, gorovne i podatkovne usluge;
 - Očekivani prometni zahtjevi

Interaktivni i neinteraktivni video zapis: QoS zahtjevi s kraja na kraj mreže⁴

- Temeljem preporuke ITU-T Y.1541 QoS zahtjevi, s kraja na kraj mreže, za interaktivni video su:
 - *Kašnjenje* (engl. *delay*): 100ms ili 400ms, ovisno o stupnju interaktivnosti;
 - *Varijacija kašnjenja* (engl. *jitter*): 50ms;
 - *Gubici paketa* (engl. *packet loss ratio*): 0,1%.
- Za neinteraktivni video, preporuka ITU-T Y.1541 definira sljedeće:
 - *Kašnjenje* (engl. *delay*): <4–5 s;
 - *Varijacija kašnjenja* (engl. *jitter*): nema nekog značajnog zahtijeva;
 - *Gubici paketa* (engl. *packet loss ratio*): <5%.

Prijenos govora protokolom IP: QoS zahtjevi s kraja na kraj mreže

- Faktori, koje utječu na QoS, svrstavaju se u fizičke faktore mreže i korisničke opreme, kao što je navedeno u tablici

Fizički faktori	
Korisnička oprema	Mreža
Buffer overflow variation	Delay (IP packet delay)
Coding distortion (codec)	Delay variation (jitter)
Buffer delay variation	Packet loss ratio
Echo cancelation	
Signal level	

- Temeljem preporuke ITU-T Y.1541, performanse VoIP-a s kraja na kraj mreže su:
 - Kašnjenje* (engl. *delay*): 150ms za visoku kvalitetu i 200ms za prihvatljivu kvalitetu;
 - Varijacija kašnjenja* (engl. *jitter*): 30ms;
 - Gubici paketa* (engl. *packet loss ratio*): 0,1%.

Ključne značajke za VoIP kvalitetu usluge

- E-model:** ITU-T E-Model predstavlja analitički model koji se može koristiti za procijenu relativne kvalitete govora između dvije konekcije
- mjera kvalitete govornog prometa: R- faktor, MOS (engl. *Mean Opinion Score*)

Vrijednosti R-faktora	MOS	Kategorija kvalitete prijenosa govornog prometa	Stupanj korisničkog zadovoljstva uslugom
90–100	4,3–5,0	Izvrsna kvaliteta (<i>Best</i>)	Jako zadovoljan (<i>Very satisfied</i>)
80–90	4,0–4,3	Visoka kvaliteta (<i>High</i>)	Zadovoljan (<i>Satisfied</i>)
70–80	3,6–4,0	Srednja kvaliteta (<i>Medium</i>)	Neki korisnici zadovoljni (<i>Some users satisfied</i>)
60–70	3,1–3,6	Niska kvaliteta (<i>Low</i>)	Većina korisnika nezadovoljna (<i>Many users dissatisfied</i>)
50–60	2,6–3,1	Loša kvaliteta (<i>Poor</i>)	Gotovo svi korisnici nezadovoljni (<i>Nearly all users dissatisfied</i>)
Manji od 50	1,0–2,6	////	Ne preporuča se (<i>Not recommended</i>)

Interaktivni i neinteraktivni prijenos podataka: QoS zahtjevi s kraja na kraj mreže

7

- Interaktivne podatkovne aplikacije (npr. WWW pretraživanje, Internet *chatting*, ...) imaju dobre performanse ako je kašnjenje, s kraja na kraj mreže, ispod 150ms (prihvatljivo do 400 ms). Nekog značajnog zahtijeva na varijaciju kašnjenja (engl. *jitter*) nema. Zahtjevi na gubitke paketa su različiti i ovise o vrsti korištene aplikacije, kao i protokolima transportnog sloja (TCP ili UDP).
- Neinteraktivne podatkovne aplikacije (npr. elektronička pošta, *backup*,...) se uobičajeno provode kao najbolje moguće usluge (engl. *best-effort*) i njihove performanse, također, ovise o kašnjenju, varijaciji kašnjenja i gubicima paketa.
- **Preporuka ITU-T G.1030** opisuje model za procijenu performansi podatkovnih aplikacija u mrežama zasnovanim na IP-u.

Tipične propusnosti za pojedinu uslugu (aplikaciju)

- Primjer: korištenje bežične mreže u nastavi

Usluga (aplikacija)	Nominalna propusnost
WWW – neformalan pristup	500 kbit/s
WWW – nastava	1 Mbit/s
govorni promet – neformalan pristup	100 kbit/s
govorni promet – nastava	1 Mbit/s
video promet (na zahtjev ili <i>streaming</i>) – neformalan pristup	1 Mbit/s
video promet (na zahtjev ili <i>streaming</i>) – nastava	2 – 4 Mbit/s
Printanje	1 Mbit/s
<i>file sharing</i> – neformalan pristup	1 Mbit/s
<i>file sharing</i> – nastava	2 – 8 Mbit/s
<i>on-line</i> testiranje	2 – 4 Mbit/s

Na što se svede QoS u WLAN-u?

- Parametri QoS-a za pojedinu vrstu usluge su različito definirani, ali se uvijek odnose na zahtjeve na **kašnjenje** (engl. delay), **kolebanje ili varijaciju kašnjenja** (engl. jitter) i **gubitke paketa** (engl. packet loss ratio).
- Zbog jednostavnosti u planiranju i izvedbi žično bežične lokalne često puta se objedinjuju QoS zahtjevi, s kraja na kraj mreže.
- Primjer jednog zahtjeva na realiziranu WLAN mrežu:

Kašnjenje (ili RTT)	< 150 ms
Kolebanje kašnjenja	< 30 ms
Gubitak paketa	< 5%

Zahtjevi za pokrivanjem radijskim signalom

- Kako bi se ostvarili zahtjevi za QoS potrebno je definirati pokrivanje prostora adekvatnim radijskim signalom
 - Odrediti minimalnu razinu signala koju je potrebno ostvariti
 - Zahtijevati određeni omjer signal–šum
- Da bi aplikacije uspješno radile potrebno je ostvariti određenu brzinu prijenosa na fizičkom sloju. Ugrubo gledano, brzina prijenosa na fizičkom sloju je oko **2** puta veća.
- Brzinu prijenosa na fizičkom sloju povećavamo korištenjem MIMO tehnike i frekvencijskom širinom kanala (možemo raditi samo na 5 GHz području)
- Ćeljsko planiranje (preklapanje ćelija, izbor kanala)

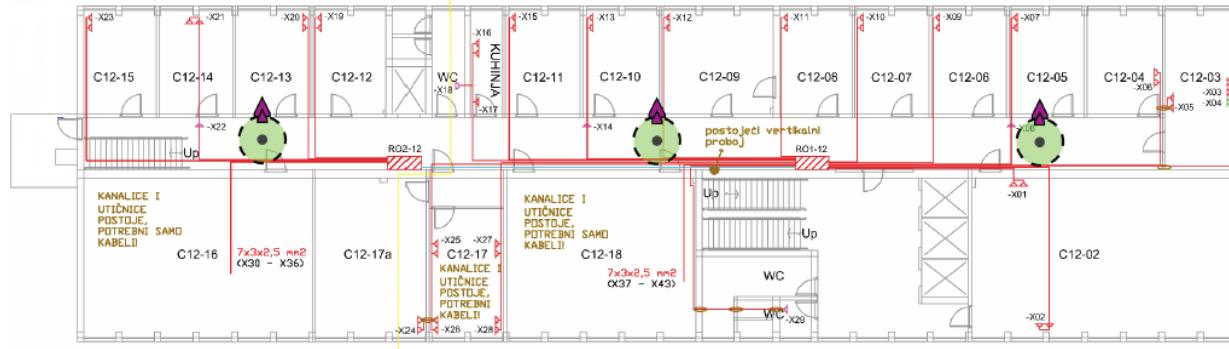
Minimalne osjetljivosti prijamnika (802.11 ac)

Modulacijski postupak	Omjer koda (R)	Indeks Modulacijsko kodne sheme (MCS)	Minimalna osjetljivost prijamnika (20 MHz) [dBm]	Brzina prijenosa podataka na fizičkom sloju (400 ns ZI) [Mbit/s]	
				1 prostorni tok	2 prostorna toka
BPSK	1/2	0	-82	7,2	14,4
QPSK	1/2	1	-79	14,4	28,9
QPSK	3/4	2	-77	21,7	43,3
16-QAM	1/2	3	-74	28,9	57,8
16-QAM	3/4	4	-70	43,3	86,7
64-QAM	2/3	5	-66	57,8	115,6
64-QAM	3/4	6	-65	65,0	130,0
64-QAM	5/6	7	-64	72,2	144,4
256-QAM	3/4	8	-59	86,7	173,3
256-QAM	5/6	9	-57	N/A	N/A

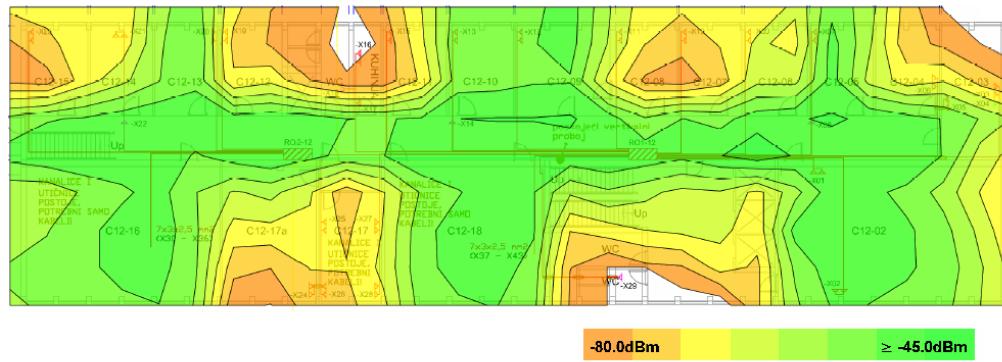
Programska potpora za izračun pokrivanja

- Profesionalni programski alati (npr. Ekehau)
 - Primjer pokrivanja 12. kata C zgrade s 3 pristupne točke

- Tlocrt

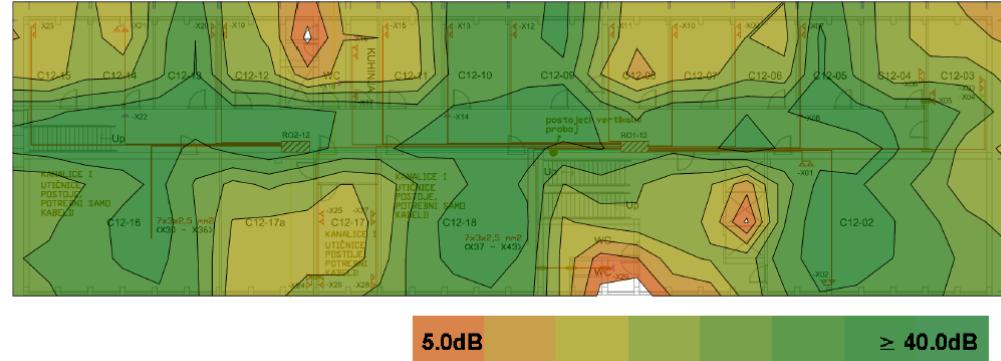


- Razina prijamnog signala

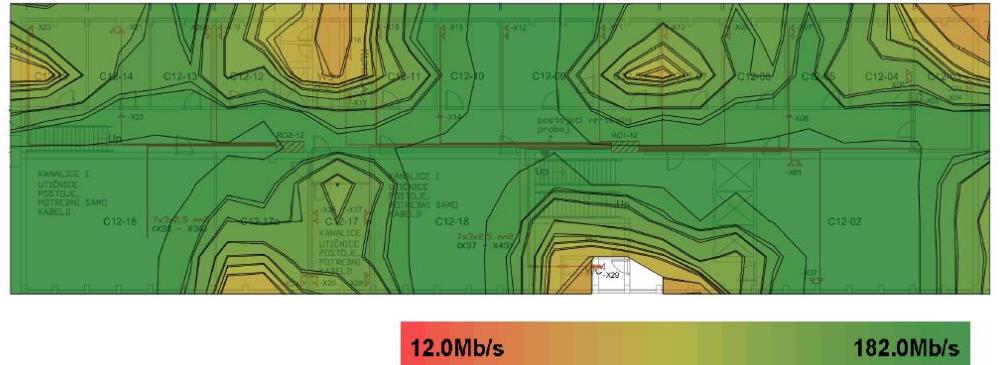


Programska potpora za izračun pokrivanja

- Profesionalni programski alati (npr. Ekehau)
 - Primjer pokrivanja 12. kata C zgrade s 3 pristupne točke
 - Odnos signal-šum

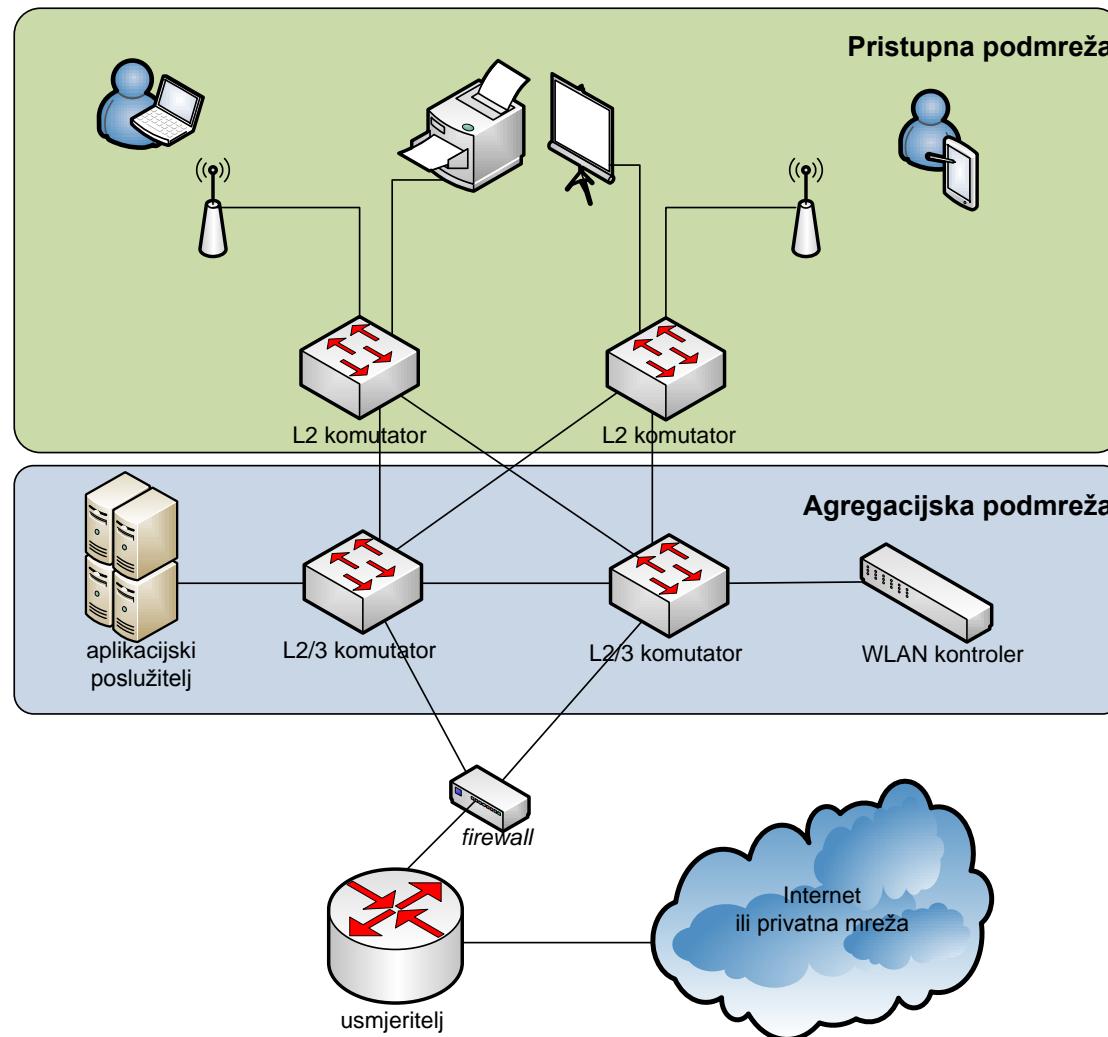


- Propusnost na fizičkom sloju



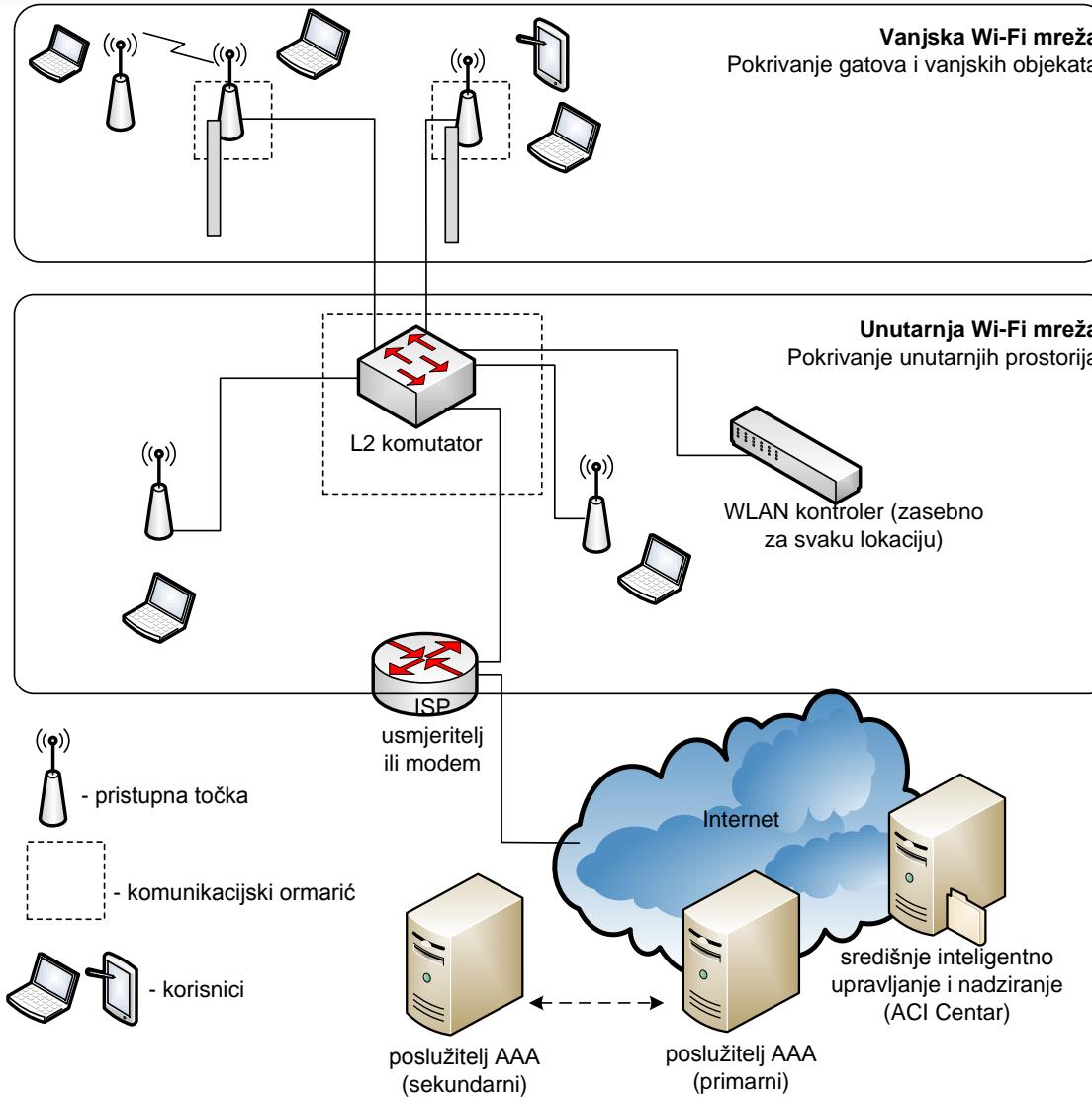
Arhitektura mreže - primjeri

- Pametne škole



Arhitektura mreže - primjeri

- Marine



Zahtjevi na fizičke komponente mreže

- Pristupne točke (uobičajeni parametri fizičkog sloja)
 - a) IEEE norma radijskog sučelja: 802.11 a/ac/g/n;
 - b) Podrška za tehnologiju MIMO (npr. minimalno 2×2:2);
 - c) Napajanje pristupne točke po normi IEEE 802.3af/802.3at;
 - d) Istodoban rad na 2,4 GHz i 5 GHz frekvencijskom području (engl. *dual band*) ;
 - e) Podešavanje raspona dopuštenih kanala i frekvencijskih područja prema regulatornim pravilima HAKOM-a i preporuci ECC/DEC/(04)08;
 - f) Podešavanje efektivne izotropne izračene snage (skr. EIRP od engl. *Effective Isotropically Radiated Power*) prema regulatornim pravilima HAKOM-a te preporuci ECC/DEC/(04)08;
 - g) Dva odvojena radijska sučelja za 802.11g/n i 802.11a/ac tehnologije prijenosa (engl. *dual radio*);
 - h) Širine kanala: 20 MHz, 40 MHz ...
 - i) kućišta (otpornost na vlagu, vjetar), priključci za RF i napajanje;

Zahtjevi na fizičke komponente mreže

- Pristupne točke (ostalo)
 - Broj identifikatora bežične mreže (skr. SSID od engl. *Service Set Identifier*) po radijskom sučelju
 - Podrška za IEEE 802.11e ili WMM (engl. *Wi-Fi Multimedia*) QoS tehnologije;
 - Podrška za WPA/WPA2 (engl. *Wi-Fi Protected Access*) 802.1x autentifikaciju (WPA/WPA2 Enterprise);
 - Podrška za WPA/WPA2 PSK (engl. *Pre-shared Key*) s podrškom za TKIP (engl. *Temporal Key Integrity Protocol*) i AES (engl. *Advanced Encryption Standard*)
 - Opcionalna podrška za balansiranje broja spojenih klijentskih uređaja po frekvencijskim područjima (engl. *Band Balancing*);
 - Podrška za definiranje minimalne razine signala (engl. *threshold*) pri kojoj je dopušteno spajanje klijentskih uređaja;
 - Podrška za 802.11h (DFS i TPC) tehnologiju u frekvencijskim područjima koja, prema regulatornim pravilima, zahtijevaju korištenje kontrole snage i detekciju radara;

Zahtjevi na fizičke komponente mreže

- Pristupne točke (ostalo)
 - Centralizirano upravljanje i nadzor kroz upravljačku jedinicu (kontroler);
 - Prekapčanje bez prekida komunikacije pri prelasku s jedne pristupne točke na drugu
 - Podrška za filtriranje MAC (engl. *Medium Access Control*) adrese klijentskih uređaja;
 - Podrška za određivanje maksimalnog broja spojenih klijentskih uređaja na pristupnu točku;
 - Povezivanje identifikatora bežične mreže s virtualnim mrežnim sučeljem (engl. *SSID to VLAN mapping*)

Zahtjevi na fizičke komponente mreže

– Kontroler

- Fizički kontroler na lokaciji ili centraliziranom mjestu (u oblaku);
- Upravljanje do N pristupnih točaka;
- Automatsko otkrivanje i podešavanje pristupnih točaka;
- Podešavanje radio postavki pristupne točke;
- Upravljanje prekapčanjem korisnika na pristupnim točkama;
- Upravljanje i oblikovanje paketskog prometa;
- Podešavanje zaštite bežične mreže;
- Podešavanje identifikatora bežične mreže (SSID);
- Podešavanje virtualnih mrežnih sučelja (skr. VLAN od engl. *Virtual Local Area Network*);
- Poslužitelj DHCP (engl. *Dynamic Host Configuration Protocol*);
- Translacija mrežnih adresa (skr. NAT od engl. *Network Address Translation*);
- Podrška za lokalnu autentifikaciju i autentifikaciju na udaljeni poslužitelj AAA;

Zahtjevi na fizičke komponente mreže

– Kontroler

- Podrška za 802.11i tehnologije zaštite;
- Podrška za WPA/WPA2 802.1x autentifikaciju (WPA/WPA2 Enterprise);
- Podrška za WPA/WPA2 PSK (TKIP i AES);
- Dijagnostika rada i pogrešaka u radu pristupnih točaka;
- Zaštita od napada uskraćivanja usluge (skr. DoS od engl. *Denial of Service* i skr. *DDoS* od engl. *Distributed Denial of Service*);
- Podrška za protokole STP (engl. *Spanning Tree Protocol*), RSTP (engl. *Rapid STP*), MSTP (engl. *Multiple STP*)
- Podrška za korisničku autentifikacijsku stranicu (engl. *Captive Portal*);
- Vatrozid (engl. *firewall*)
- Podrška za SNMP (engl. *Simple Network Management Protocol*) v1,v2c,v3;
- Podrška za Syslog;
- Podrška za RMON (engl. *Remote Monitoring*), v1;

Zahtjevi na fizičke komponente mreže

- Kontroler
 - Podrška za CLI (engl. *Command Line Interface*) i web sučelje (HTTP/HTTPS) za konfiguraciju i nadzor;
 - Podrška za IEEE 802.3z, 802.3ab gigabit ethernet;
 - Podrška za postavljanje profila korisnika kroz brzine prijenosa, dopuštenog vremena korištenja, količine prenesenih podataka;
- Pristupni čvor (L2 komutator) i fizičke poveznice
 - Pristupni čvor (L2 komutator) objedinjuje sve fizičke poveznice (svjetlovodni kabel i/ili bakrene parične kabele) od pristupnih točaka (i/ili kontrolera) te osigurava izlaz prema Internetu preko usmjeritelja ili modema koji je u vlasništvu Internet pružatelja usluge (ISP)
- Poslužitelj za autentifikaciju, autorizaciju, i naplatu je podsustav lokalne bežične mreže koji provjerava identitet korisnika i njegova prava, omogućava i ograničava pristup na temelju dodijeljenih prava te radi obračun potrošnje resursa po zadanim kriterijima.

Zahtjevi na fizičke komponente mreže

- Antene (vanjske ili integrirane) i antenski stupovi
- Prenaponska zaštita
 - Prenaponi nastaju pri izravnim, bliskim, neizravnim ili udaljenim udarom munje, kao i pri sklopnim naponima. Udari munje stvaraju prenapone koji se u cilju zaštite objekata, postrojenja ili opreme ograničavaju odvodnicima prenapona.

Radijske pristupne mreže

Izv. prof. dr. sc. Gordan Šišul

Radijske mreže gradskih područja

(uvod, norme, frekvencijska područja rada i
načela dodjele frekvencija)

Općenito o WMAN mrežama

- Radijske mreže gradskih područja (WMAN – *Wireless MAN*)
 - Prijenos podataka: radijsko sučelje
 - Proširenje i prilagodba WLAN tehnologije
 - Norme: u okviru IEEE radne skupine 802.16 i ETSI/BRAN projekta
 - U RH dodijeljena su frekvencijska područja 3400-3600 MHz i 24,5-26,5 GHz (i najnovije 10 GHz)
- Tehnološke realizacije WMAN mreža razlikuju se po:
 - Kapacitetu
 - Načinu pristupa (vremenska, frekvencijska ili kodna raspodjela)
 - Načinu realizacije istodobnog dvosmjernog prijenosa (dupleksnog rada)
 - Simetričnosti/nesimetričnosti prijenosa za silaznu i uzlaznu vezu

Općenito o WiMAX-u

- Trenutna predviđanja: WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) najzastupljenija tehnologija unutar WMAN mreža
- Osnovne značajke WiMAX-a:
 - varijabilni kapacitet (ovisno o širini kanala, vrsti modulacije, zaštitnom kodiranju, pokretnosti korisničke opreme) do ~75 Mbit/s po baznoj postaji (bez MIMO)
 - koristi OFDM i OFDMA
 - TDD/FDD način dupleksnog rada
 - TDMA FDMA višestruki pristup
 - iznimna prilagodljivost, uporaba najnovijih tehnoloških saznanja (promjenljivi modulacijski postupci i kodiranja, intelligentne antene, MIMO tehnika...)

Namjena i obilježja frekv. područja

- Namjena
 - Širokopojasne usluge
 - povezivanje na Internet, prijenos govora, prijenos videotelefonskih signala, prijenos podataka i sl.
 - Infrastruktura mobilnih mreža
 - ovisi o politici uporabe spektra u pojedinim zemljama
- Obilježja u 3,5 GHz području
 - propagacija je općenito ograničena na približnu optičku vidljivost (moguća čak i NLOS komunikacija)
 - propagacija kroz lišće je relativno dobra
 - prijenosna udaljenost iznosi do 20 km
 - postoje različite tehnološke izvedbe sustava, a uređaji i oprema su umjerenih cijena
 - uz fiksni pristup predviđena je mogućnost korištenja i mobilnog pristupa

Obilježja frekv. područja (nastavak)

- Obilježja u 24,5 (26) GHz području
 - propagacija je ograničena samo na optičku vidljivost
 - kao faktor u proračunu propagacije javlja se i gušenje zbog kiše
 - antene su malih dimenzija
 - prijenosna udaljenost iznosi do 10 km
 - dobre su mogućnosti ponavljanja frekvencija (*frequency reuse*)
 - raspoloživa je veća širina frekvencijskog pojasa pa su moguće veće brzine prijenosa
- Zaključno
 - sustavi koji rade u 3,5 GHz području koristit će se kao pristupne mreže, dok će sustavi u 24,5 GHz području biti više upotrebljavani kao povezne mreže (*backhaul*)

Frekvenčijska područja rada WMAN-a

- Frekvenčijska područja za sustave širokopojasnoga radijskog pristupa u Europi

Frekvenčijsko područje	ECC/ERC dokument	Namjena (ERC REPORT 25)
3400–3600 MHz	ECC/REC 04–05; ERC/REC 13–04 ;	BWA
3600–3800 MHz	ERC/REC 14–03; ECC/DEC 07–02	BWA
5725–5875 MHz	ECC/REC 06–04	BFWA
10,15–10,30 GHz	ERC/REC 13–04; CEPT/ERC/REC	FWA
10,50–10,65 GHz	12–05	FWA
24,5–26,5 GHz	ERC/REC 00–05 ; ERC/REC 13–04	FWA
27,5–29,5 GHz	ERC/REC 01–03 ; ERC/REC 13–04	FWA

- područje od najvećeg interesa: 3400-3600 MHz, u nekim državama se koristi i 3600-3800 MHz
- ECC (*Electronic Communications Committee*); nasljednik je ERC-a (*European Radiocommunications Committee*); CEPT (*The European conference of Postal and Telecommunications Administrations*)

Frekvenčijska područja rada WMAN-a

- ECC je donio 30.03.2007. odluku o dostupnosti frekvenčijskog područja 3400–3800 MHz za harmoniziranu primjenu BWA sustava (*ECC Decision of 30 March 2007 on availability of frequency bands between 3400–3800 MHz for the harmonised implementation of Broadband Wireless Access systems (BWA)*).
 - (ECC/DEC/(07)02) dozvoljava fleksibilne tzv. korisničke načine rada (nepokretni, nomadski, mobilni) u frekvenčijskom području 3400–3600 MHz i/ili 3600–3800 MHz i limitira gustoću maksimalne izračene snage korisničke opreme na razinu od 25 dBm/MHz.
- Pod pojmom BFWA (*Broadband Fixed Wireless Access*) osim nepokretnog podrazumijeva se i nomadski pristup, dok FWA označava samo nepokretni pristup.
- U svim odlukama i preporukama ne definira se tehnologija koja se koristi u dodijeljenim područjima.

Frekvenčijska područja rada WMAN-a

- Frekvenčijska područja za sustave širokopojasnoga radijskog pristupa u Hrvatskoj

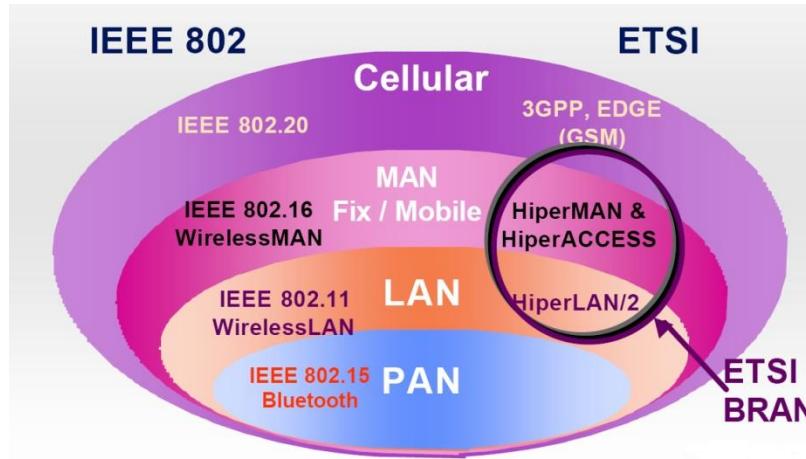
Frekvenčijsko područje	ECC/ERC dokument	Namjena
3,4–3,6 GHz	ERC/REC 13–04 ; ERC/REC 14–03	FWA
24,5–26,5 GHz	T/R 13–02; ERC/REC 13–04 ; ERC/REC 00–05	FWA

- Postoji još jedno područje:
10000-10300 MHz

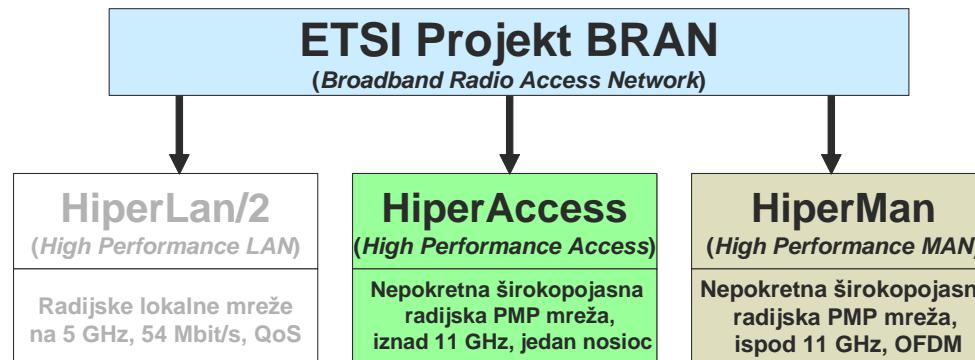


Norme za WMAN

- Razvijaju se unutar ETSI BRAN i Wireless MAN projekata



- Norme u okviru ETSI BRAN



Norme za WMAN - ETSI

- HiperAccess
 - Fizički sloj i DLC (*Data Link Control*) sloj se razlikuju u odnosu na HiperMan sustav. Fizički sloj je prilagođen frekvencijskom području.
 - Isključivo nepokretne mreže, LOS komunikacija. Prijenos se temelji na FDD i TDD tehnici, uz modulacijski postupak s jednim nositeljem (SC, *Single Carrier*). Predviđa se uporaba QPSK, 16-QAM i 64-QAM za silazni smjer, te QPSK i 16-QAM za uzlazni smjer. Za omogućavanje višestrukog pristupa rabi se TDMA. Širina kanala iznosi 28 MHz, brzina prijenosa 22,4 MBd.

Norme za WMAN - ETSI

- HiperMan
 - uključuje prva dva sloja OSI referentnog modela: fizički sloj i sloj za upravljanje podacima (DLC)
 - Fizički sloj je realiziran uz primjenu OFDM modulacijske tehnike pri čemu pojedini podnositelji mogu biti modulirani primjenom QPSK, 16-QAM i 64-QAM. Ovako definirani parametri fizičkog sloja podudaraju se s parametrima fizičkog sloja definiranog u normi IEEE 802.16-2004.
 - HiperMan definira samo jedan način rada fizičkog sloja i to: OFDM, FFT s 256 točaka. Norma podržava TDD i FDD način rada. DLC sloj u HiperMan mreži prilagođen je Internet-protokolu.

Norme za WMAN - IEEE

- IEEE radna skupina 802.16
 - razmatra mreže u tri frekvencijska područja: 2 – 11 GHz, 10 – 66 GHz i frekvencijsko područje 5 – 6 GHz za čiju uporabu se ne plaća naknada (*licence-exempt frequencies*, frekvencijska područja razlikuju se u Europi i USA)
 - norma **802.16-2004**
 - Odnosi na nepokretni i nomadski pristup, a objavljena je u listopadu 2004. godine. To je popravljena i združena verzija prijašnjih normi.
 - norma **802.16e** (označava se i kao **802.16e-2005**)
 - Odnosi se na pokretne korisnike. Objavljena je u veljači 2006. Nema kompatibilnosti između uređaja koji rade po ovim dvjema normama (**802.16-2004**.i **802.16e**)

WiMAX Forum

- U travnju 2001. godine utemeljena je međunarodna udruga proizvođača 802.16 uređaja, tzv. WiMAX Forum.
 - Cilj djelovanja je ispitivanje kompatibilnosti i omogućavanje zajedničkog rada uređaja različitih proizvođača koji rade u skladu s IEEE 802.16 normama.
 - Iz više predviđenih načina (modova) rada izabire se jedan te provodi ispitivanje mogućnosti zajedničkog rada uređaja različitih proizvođača.
 - Ukoliko pojedini uređaj na zadovoljavajući način prođe takva ispitivanja, dobiva oznaku "WiMAX", koja znači da određeni uređaj ima mogućnost zajedničkog rada s drugim WiMAX uređajima u određenom frekvencijskom području i načinu (modu) rada.

Usporedba normi

- Usporedba normi za nepokretni radijski pristup
 - IEEE norma 802.16-2004 definira više načina rada **tj. objedinjuje** istovremeno HiperMAN i HiperAccess

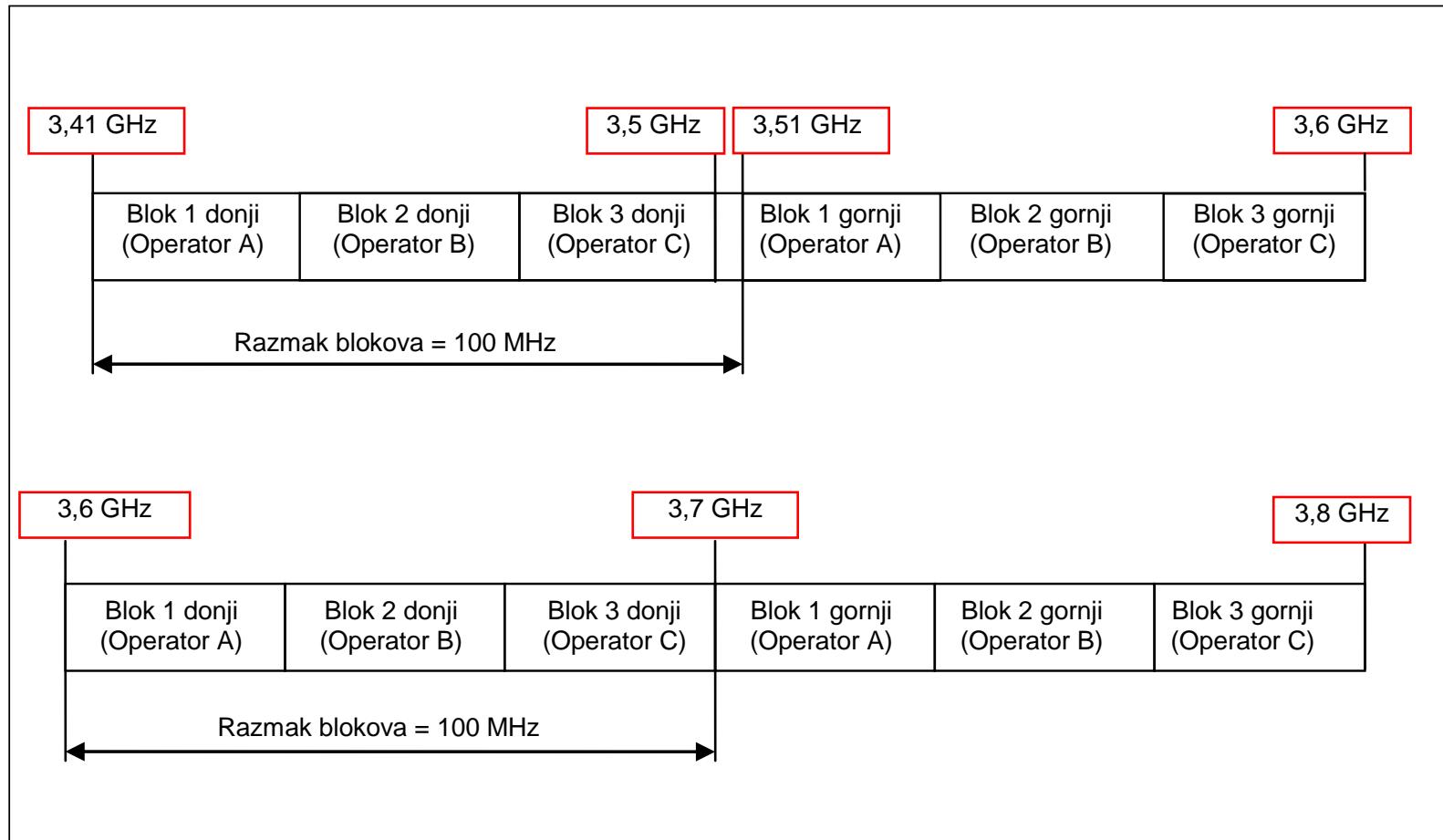
ITU	Fizički sloj	MAC sloj
IEEE 802.16	IEEE Std. 802.16-2004	
ETSI HiperMAN	ETSI TS 102 177	ETSI TS 102 178
ETSI BRAN HiperAccess	ETSI TS 101 999	ETSI TS 102 000

Načela dodjele frekvencija

- Obradit će se samo područje 3,4-3,8 GHz
 - Dodjela frekvencija za P2MP mreže provodi se u skladu s preporukom ECC/REC (04)05.
 - Temeljne preporuke su sljedeće:
 - preporuke se odnose na P2MP sustave,
 - frekvencijski blokovi se dodjeljuju kontinuirano (definirane spektralne maske),
 - u slučaju da nacionalni regulator ne slijedi kontinuiranu dodjelu frekvencijskih blokova treba обратити pozornost na заштитне pojaseve,
 - regulator ne treba postavljati dodatne zahtjeve unutar dodijeljenih blokova (raspored kanala, središnje frekvencije).

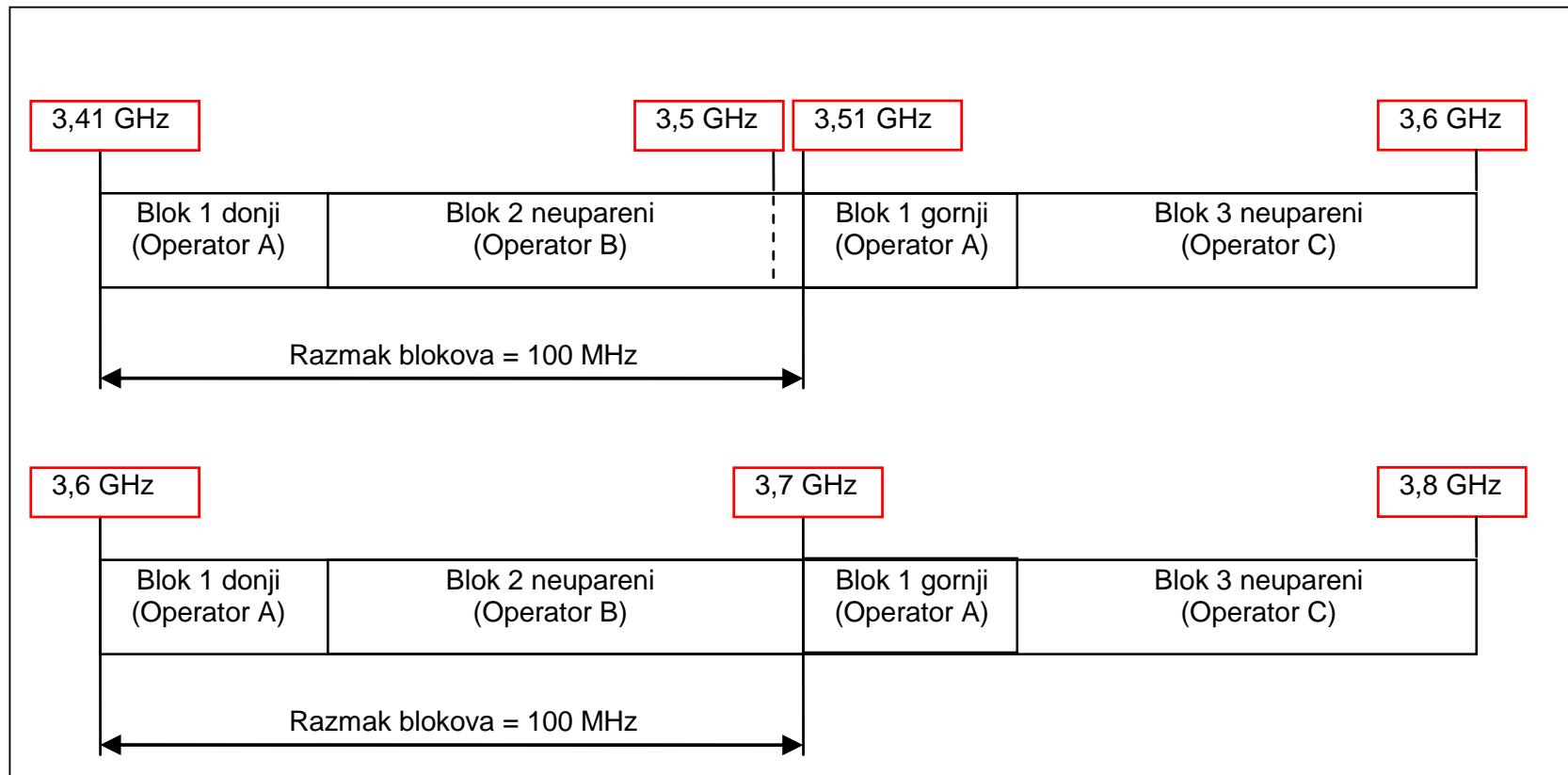
Načela dodjele frekvencija

- Načelo podjele u uparene blokove



Načela dodjele frekvencija

- Načelo podjele u neuparene blokove



Zauzeća frekvencijskih pojaseva u RH

- Napravljena je podjela frekvencijskog područja 3410 – 3600 MHz na blokove
- Blokovi su upareni, s dupleksnim razmakom od 100 MHz, veličina blokova je 2×14 MHz i 2×21 MHz.
- Između blokova predviđen je jedan kanal razmaka (3,5 MHz)

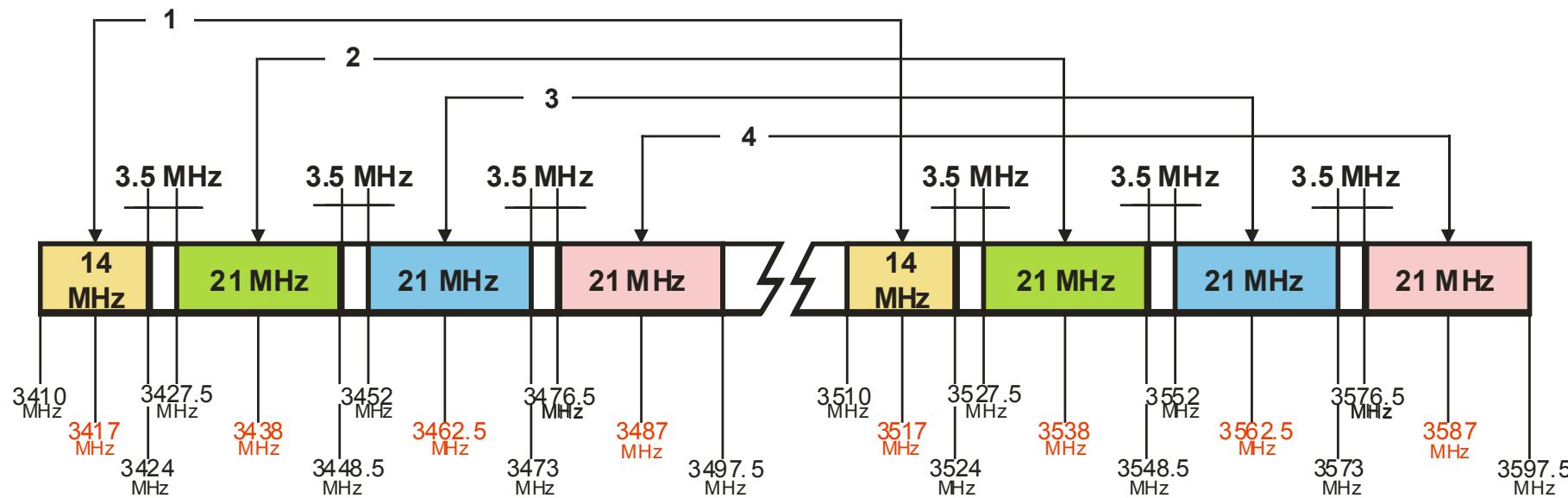
Zauzeća frekvencijskih pojaseva u RH

- Podjela frekvencijskog područja 3410 – 3600 MHz na blokove u Republici Hrvatskoj

Blok	Donji pojas		Gornji pojas		Širina bloka	
	Središnja frekvencija		Središnja frekvencija			
1	Od	3410 MHz	3417 MHz	od	3510 MHz	2×14 MHz
	Do	3424 MHz		do	3524 MHz	
2	Od	3427,5 MHz	3438 MHz	od	3527,5 MHz	2×21 MHz
	Do	3448,5 MHz		do	3548,5 MHz	
3	Od	3452 MHz	3462,5 MHz	od	3552 MHz	2×21 MHz
	Do	3473 MHz		do	3573 MHz	
4	Od	3476,5 MHz	3487 MHz	od	3576,5 MHz	2×21 MHz
	Do	3497,5 MHz		do	3597,5 MHz	

Zauzeća frekvencijskih pojaseva u RH

- Podjela frekvencijskog područja 3410 – 3600 MHz na blokove u Republici Hrvatskoj



Dodijeljene koncesije u RH

- Koncesije su dodijeljene po županijama
 - Prva dva bloka u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji – Novi Net
- Pravila dodjele u RH – izvor: Hakom

ŠIROKOPOJASNI BEŽIČNI PRISTUP : Frekvencijsko područje 3.5 GHz	
Frekvencijski raspon:	3410 - 3600 MHz
Kanalni raspored:	CEPT/ERC/REC 14-03
ETSI norma:	EN 301 021, EN 301 753
Ostale ETSI norme:	EN 301 080, EN 301 253, EN 301 124
Napomene:	Primjenjuju se standardi IEEE 802.16d i IEEE 802.16e Međunarodni bilateralni sporazumi o preferencijalnim kanalima dostupni na http://www.hakom.hr/default.aspx?id=607
Mogući kanalni rasporedi:	3.5 i 7 MHz (FDD); 5 i 10 MHz (TDD)
Dupleksni razmak:	100 MHz
Centralna frekvencija f_0 :	-
Područje dodjele:	Županija, regija koju čine dvije ili više susjednih županija, Republika Hrvatska
Rok na koji se dodjeljuje spektar:	8 godina
Frekvencijski raspored:	Tablica 1., Slika 1.

Dodijeljene koncesije u RH

Pregled do sada dodijeljenih blokova frekvencija:

	1. BLOK 14 MHz	2. BLOK 21 MHz	3. BLOK 21 MHz	4. BLOK 21 MHz
Zagrebačka županija				
Krapinsko-zagorska županija				
Sisačko-moslavačka županija				
Karlovačka županija				
Varaždinska županija	NOVI-NET TELEKOMUNIKACIJE	NOVI-NET TELEKOMUNIKACIJE		
Koprivničko-križevačka županija				
Bjelovarsko-bilogorska županija				
Primorsko-goranska županija				
Ličko-senjska županija				
Virovitičko-podravska županija				
Požeško-slavonska županija				
Brodsko-posavska županija				
Zadarska županija				
Osječko-baranjska županija				
Šibensko-kninska županija				
Vukovarsko-srijemska županija				
Splitsko-dalmatinska županija				
Istarska županija				
Dubrovačko-neretvanska županija				
Međimurska županija	NOVI-NET TELEKOMUNIKACIJE	NOVI-NET TELEKOMUNIKACIJE		
Grad Zagreb				

Radijske pristupne mreže

Izv. prof. dr. sc. Gordan Šišul

Radijske mreže gradskih područja

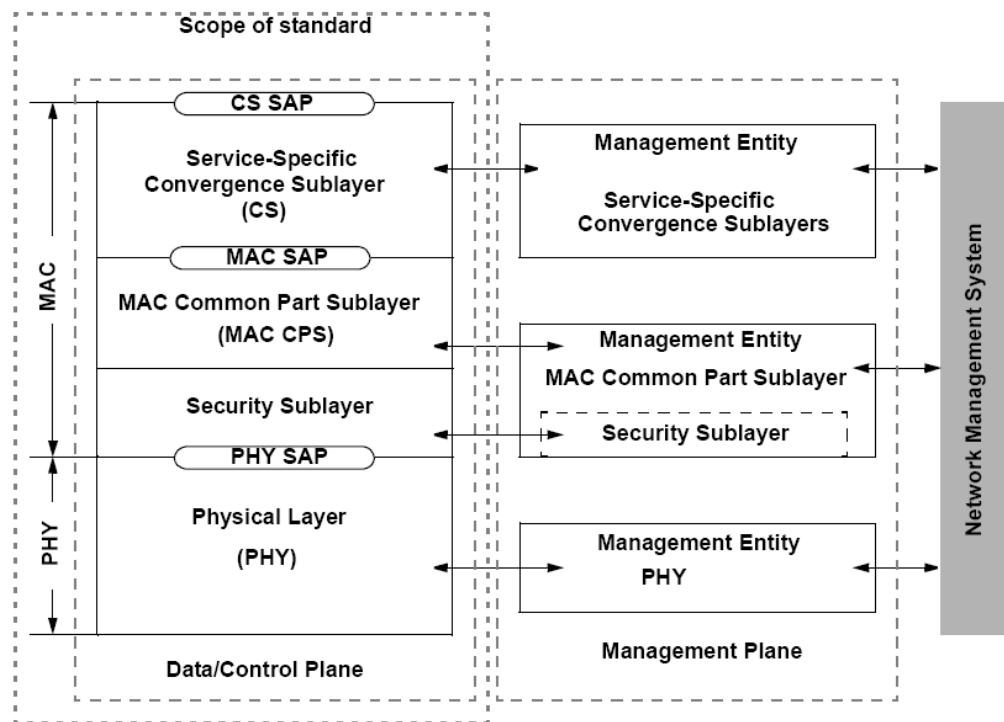
(osobitosti tehnologije WiMAX, obilježja norme IEEE 802.16-2004, OFDM radijsko sučelje)

Osobitosti tehnologije WiMAX

- Odnosi se na sve što je pokriveno normama 802.16-2004 (nepokretne mreže) i 802.16e (mobilne mreže)
- Svaka od tih normi nosi neke osobitosti
- Zajedničko: uporaba sofisticiranih algoritama i tehnologija, različite konfiguracije rada
 - WiMAX tehnologija pokriva različita frekvencijska područja, širine kanala, načine pristupa, dupleksne načine rada, modulacijske postupke i kodiranja, intelligentne antene, mrežne konfiguracije, šifriranje podataka, definiranje vrste usluge...

Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Normom su obuhvaćena dva sloja: sloj upravljanja pristupa mediju (MAC, *Medium Access Control*) i fizički sloj (PHY, *Physical Layer*)
- Prikaz MAC i PHY sloja (preuzeto izravno iz norme IEEE 802.16-2004) – referentni model



Obilježja norme IEEE 802.16-2004

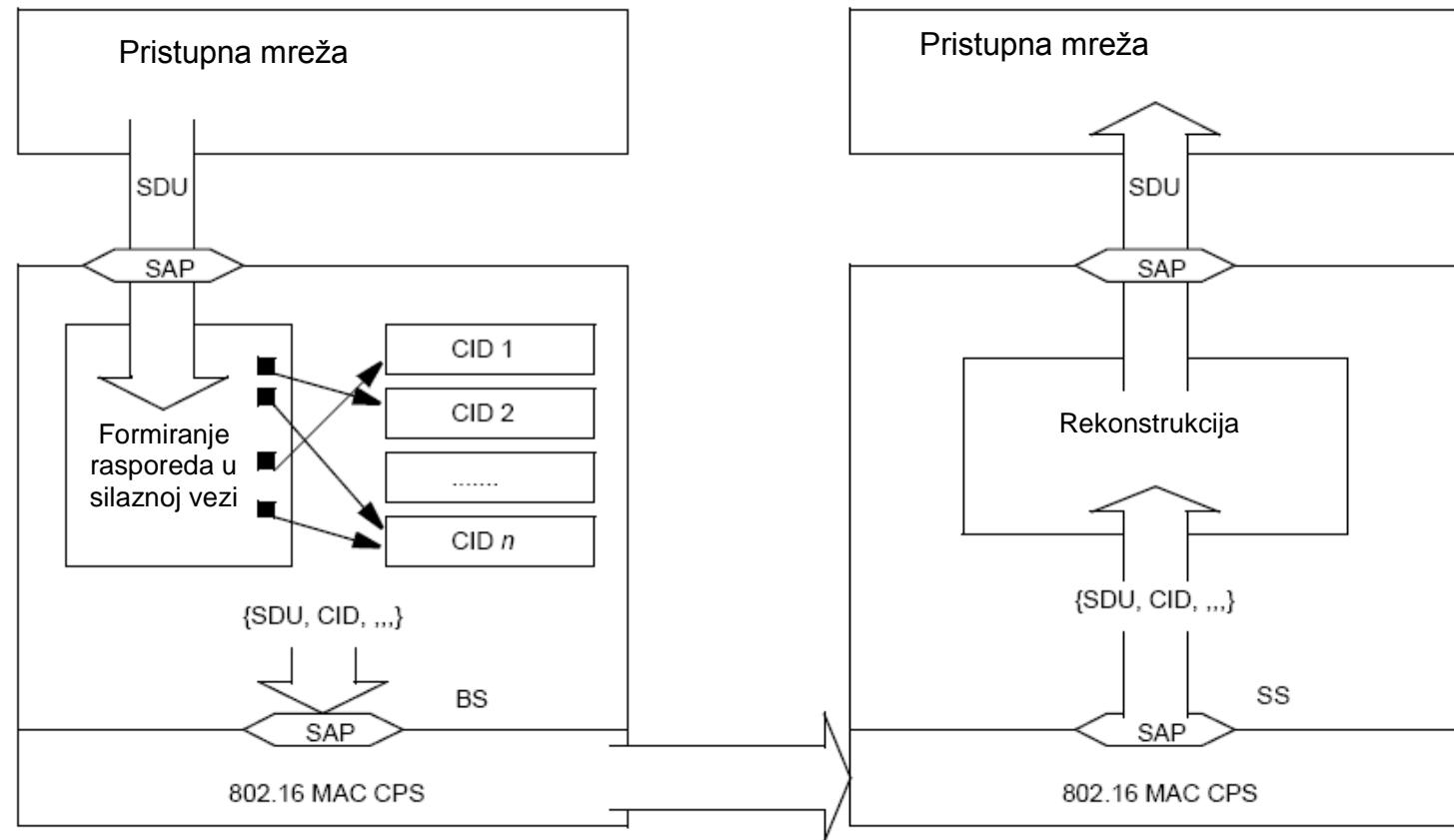
- Sloj upravljanja pristupa mediju sastoji se od tri podsloja :
 - **Podsloj konvergencije usluga (CS – Convergence Sublayer)** – osigurava transformaciju i preslikavanje podataka iz vanjske mreže (ATM CS i paketni CS: IPv4, IPv6, Ethernet, WLAN) iz i prema MAC CPS (MAC CPS, *Medium Access Control Common Part Sublayer*) kroz **pristupne točke usluga (CS SAP, Convergence Sublayer Service Access Point)**. Na taj način je omogućena komunikacija sloja upravljanja pristupa prema vanjskoj telekomunikacijskoj mreži.
 - **Zajednički MAC podsloj (MAC CPS)** osigurava funkcionalnost pristupa sustavu, dodjelu pojasa, ostvarivanje i održavanje veze. On preuzima podatke iz raznih podslojeva konvergencije usluga kroz pristupne točke usluga (MAC SAP).
 - **Sigurnosni podsloj** – osigurava autorizaciju usluga, razmjenu sigurnosnih ključeva i šifrirano kodiranje podataka radi zaštite od neovlaštenog pristupa.

Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Protokolna podatkovna jedinica iz višeg sloja (PDU, *Protocol Data Unit*) povezana s odgovarajućom MAC vezom uključuje se u podatkovnu jedinicu usluga (SDU – *Service Data Unit*) zaduženu za komunikaciju između slojeva.
- Klasificiranjem MAC SDU (MAC SDU, *Medium Access Control Service Data Unit*) paket se preslikava u oblik za prijenos u mreži (odredišna IP adresa, prioritet prijenosa, CID).
- Klasificiranje se vrši pomoću identifikatora spajanja CID (*Connection Identifier*).

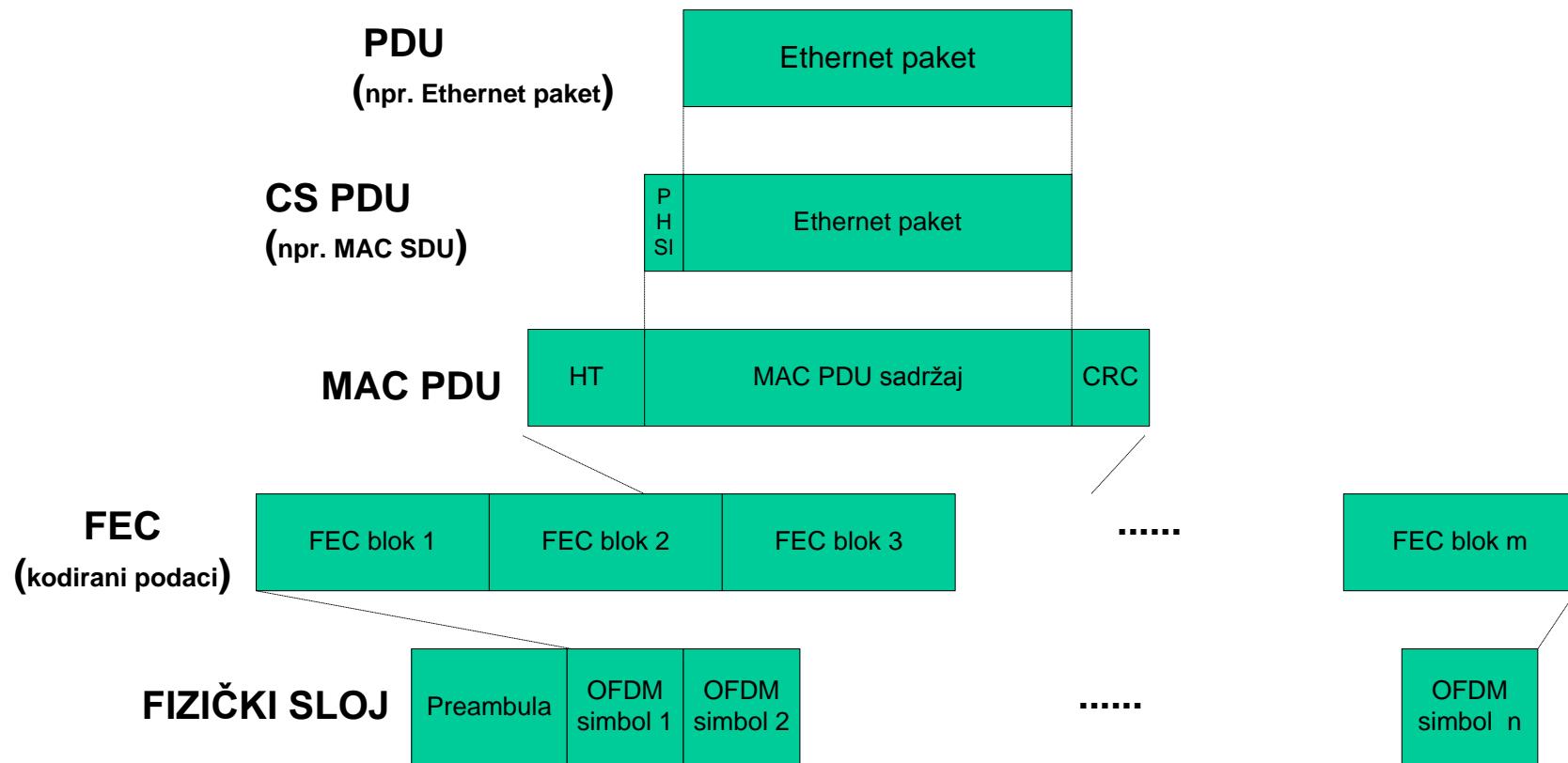
Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Klasifikacija i preslikavanje podataka od bazne postaje prema korisničkoj postaji



Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Tijek podataka između slojeva



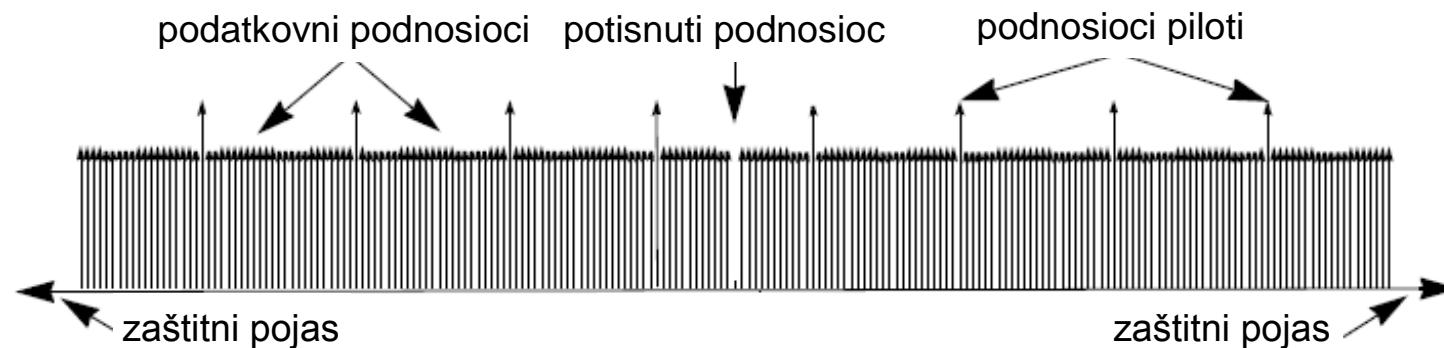
Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- MAC sloj omogućava korištenje pet različitih radijskih sučelja na fizičkom sloju
- Prikaz sloja upravljanja pristupa mediju i fizičkih slojeva u normi IEEE 802.16-2004

Zajednički sloj upravljanja pristupa mediju (MAC)				
11–66 GHz SC PHY 11 – 66 GHz izdavanje dozvole	2–11 GHz SCa PHY ispod 11 GHz izdavanje dozvole	2–11 GHz OFDM PHY ispod 11 GHz izdavanje dozvole	2–11 GHz OFDMA PHY ispod 11 GHz izdavanje dozvole	2–11 GHz HUMAN ispod 11 GHz ne izdaju se dozvole

OFDM radijsko sučelje

- Prikaz spektra OFDM simbola



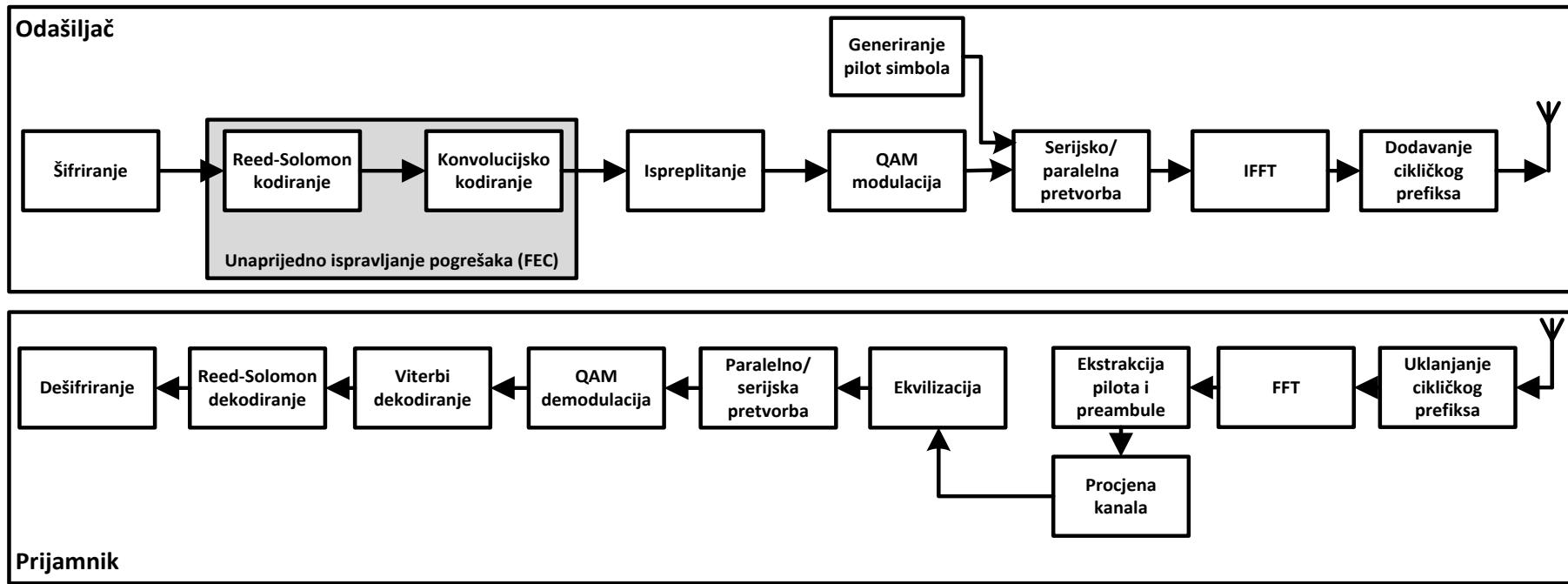
- OFDM signal

$$s(t) = \operatorname{Re} \left\{ e^{j2\pi \cdot f_c t} \sum_{k=-\frac{N_{used}}{2}; k \neq 0}^{\frac{N_{used}}{2}} c_k \cdot e^{j2\pi \cdot k \cdot \Delta f (t - T_g)} \right\}$$

- t – vrijeme od početka OFDM simbola $0 < t < T_s$,
- c_k – kompleksni broj koji predstavlja podatak koji treba biti prenesen nosiocem k , u trajanju OFDM simbola; njegova vrijednost definira točku u I-Q konstelacijskom dijagramu,
- f_c – središnja frekvencija

OFDM radijsko sučelje

- Dijagram osnovnih dijelova WiMAX-OFDM radijskog sučelja



OFDM radijsko sučelje

- OFDM radijsko sučelje
 - Najčešći način rada za nepokretni širokopojasni pristup predstavlja OFDM radijsko sučelje.
 - OFDM simbol sastoji se od velikog broja moduliranih podnosilaca, koji su nastali inverznom diskretnom Fourierovom transformacijom.
 - U WiMAX-u se koristi fiksni broj od 256 nosilaca.
 - Svaki od podnosioca je moduliran (BPSK, QPSK, 16–QAM, 64–QAM).
 - Sustav podržava višestupanjsku prilagodljivu modulaciju, kojom se postiže maksimalna brzina prijenosa podataka te različita kodiranja, uz zadovoljavajuću razinu prijemnog signala.

OFDM radijsko sučelje

- OFDM radijsko sučelje (nastavak)
 - Podnosioci u OFDM spektru mogu biti:
 - podatkovni podnosioci (192)
 - pilotski podnosioci (8) i
 - potisnuti podnosioci.
 - Pilotski podnosioci su uvijek modulirani s određenim poznatim kodovima po BPSK modulacijskoj shemi.
 - Svrha potisnutih podnositelja je osiguravanje zaštitnog pojasa prema susjednom kanalu na frekvencijskoj osi.
 - Sustav podržava širine kanala u opsegu od 1,25 do 28 MHz.
 - Moguć je TDD i FDD dupleksni način rada.
 - FDD je bolji za simetričnu vrstu prijenosa, dok je TDD bolji za asimetrični način prijenosa podataka.
 - Koristi se TDMA način pristupa. Sustav podržava mreže P2MP (najčešća) i MESH.

OFDM radijsko sučelje

- Četiri osnovna parametra (BW , N_{used} , n , G) karakteriziraju OFDM simbol. Ostali parametri dobiju se putem proračuna.
- Parametri OFDM radijskog sučelja

Oznaka	Opis
BW	Nominalna širina kanala: od 1,25 MHz do 28 MHz (kod ETSI sustava 1,75; 3,5; 7,0; 14,0; 28.0 MHz)
N_{FFT}	Ukupni broj OFDM podnosioca: 256 (fiksani)
N_{used}	Broj podatkovnih podnositelja: 200 (uključujući 8 pilota, položaji pilota -88, -63, -38, -13, 13, 38, 63, 88)
n	Faktor uzorkovanja(<i>sampling factor</i>): 8/7, 86/75, 144/125 (316/275, 57/50) (za sustave koji koriste širinu pojasa koja je višekratnik 1,75 MHz, $n = 8/7$) Skupa s BW i N_{used} definira razmak podnositelja i trajanje korisnog dijela simbola.
G	Omjer trajanja zaštitnog intervala i korisnog vremena simbola: 1/4, 1/8, 1/16 i 1/32

OFDM radijsko sučelje

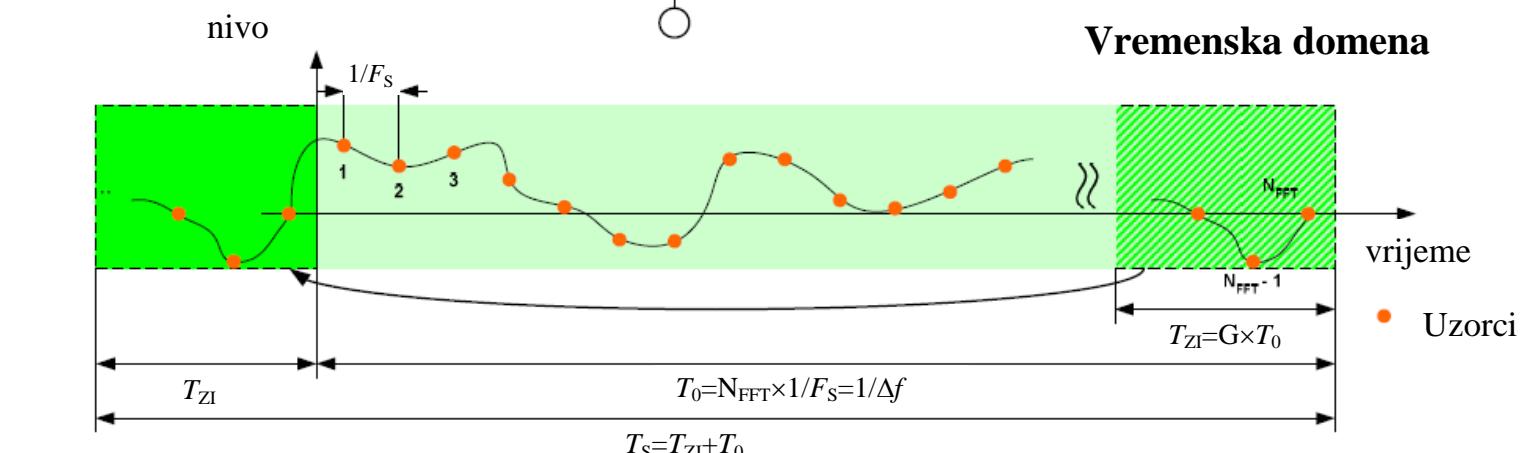
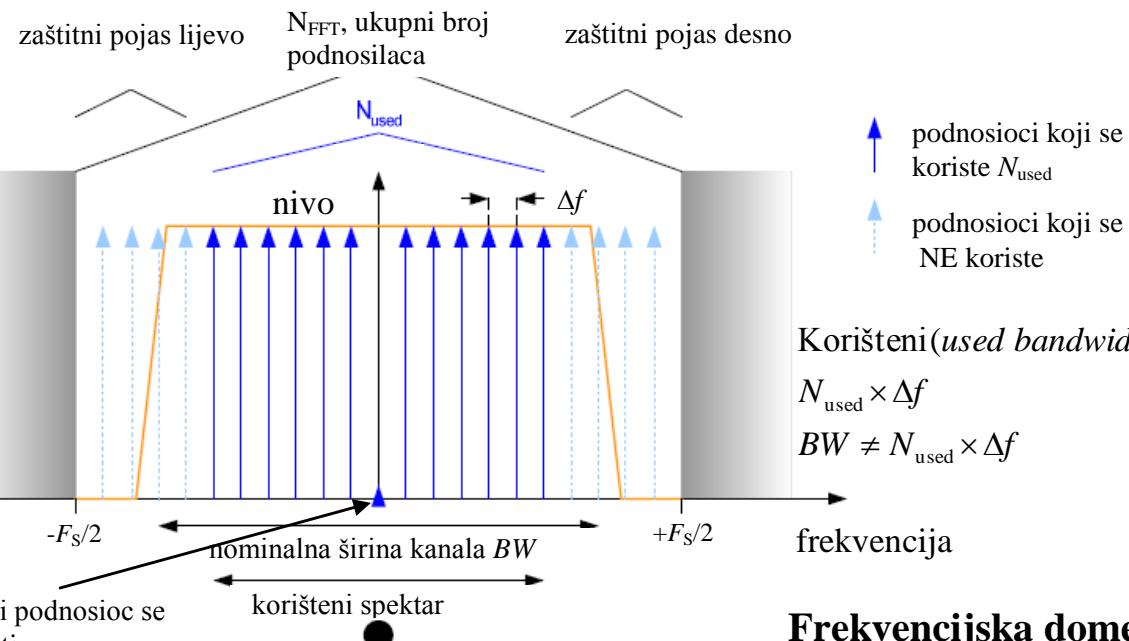
- Parametri OFDM radijskog sučelja (nastavak)

Oznaka	Opis
F_{uz}	Frekvencija uzoraka (<i>sampling frequency</i>) $F_{\text{uz}} = \text{floor}(n \times BW/8000) \times 8000$ ¹ (od 1,72 do 32 MHz)
Δf	Razmak podnosilaca: 15,625 kHz za $BW = 3,5$ MHz, $\Delta f = F_{\text{uz}}/N_{\text{FFT}}$
T_b	Trajanje korisnog dijela simbola, $T_b = 1/\Delta f$
T_g	Trajanje zaštitnog intervala: $T_g = G \times T_b$
T_s	Ukupno trajanje simbola: $T_s = T_b + T_g$
T_{uz}	Vrijeme uzorkovanja (<i>sampling time</i>), $T_{\text{uz}} = T_b/N_{\text{FFT}}$
$N_{\text{d-p}}$	Broj donjih zaštitnih podnosilaca: 28, (podnosioci od -128 do -101)
$N_{\text{d-u}}$	Broj gornjih zaštitnih podnosilaca: 27, (podnosioci od 101 do 127)
N_{pch}	Broj logičkih podkanala (0–16)

¹ floor – funkcija zaokruživanja na manji cijeli broj

OFDM radijsko sučelje

Objašnjenje OFDM parametara



OFDM radijsko sučelje

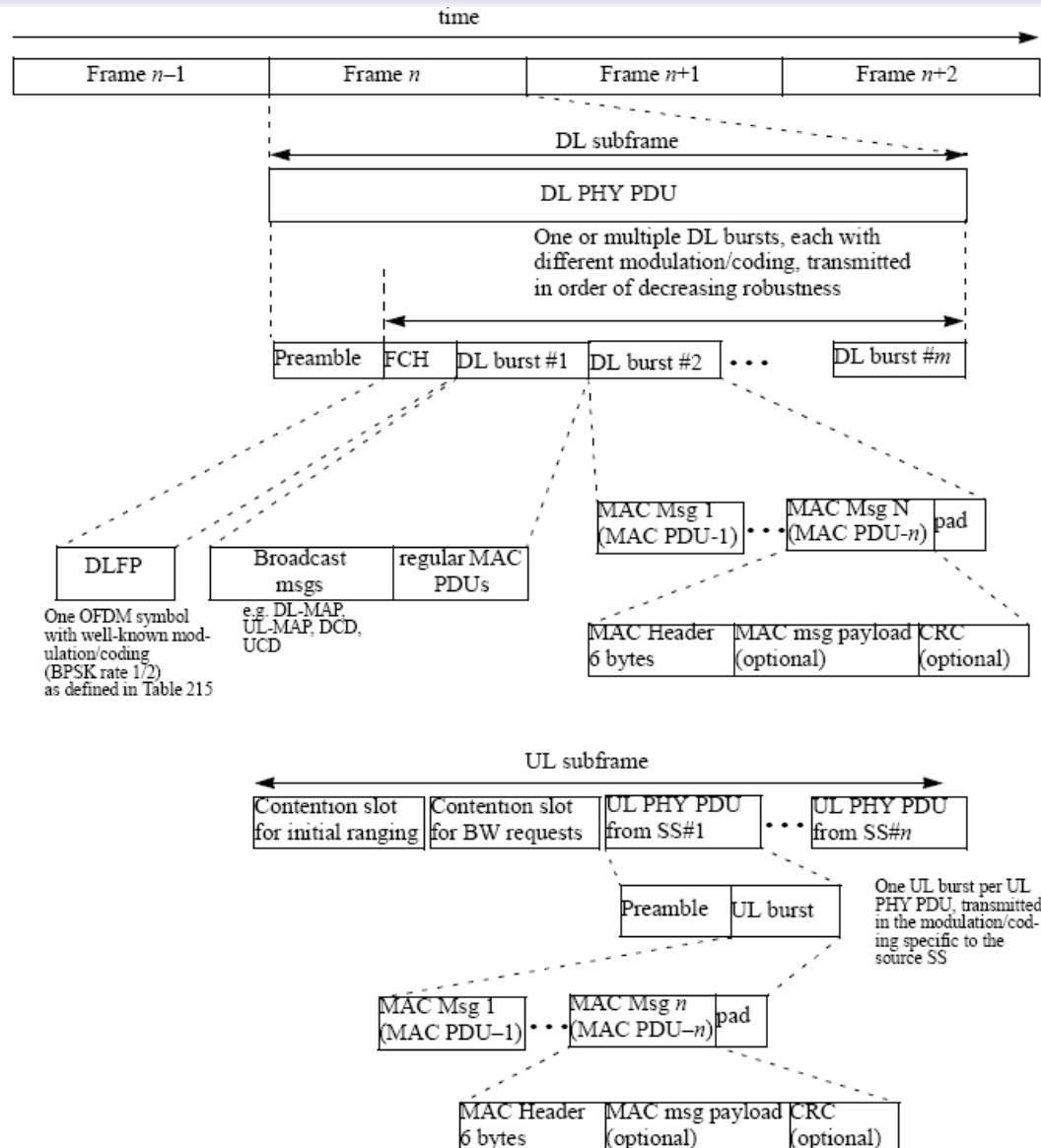
- U odnosu na WLAN trajanje simbola je znatno duže (glavna razlika).
 - Veća robusnost u odnosu na višestazno širenje
 - Prijenos na veće udaljenosti i NLOS komunikaciju.
- Struktura okvira različita je za FDD i TDD dupleks
 - Postoje licencirani proizvodi za obje vrste.

OFDM radijsko sučelje

- Struktura okvira za TDD način rada (preuzeto u izvornom obliku iz norme)

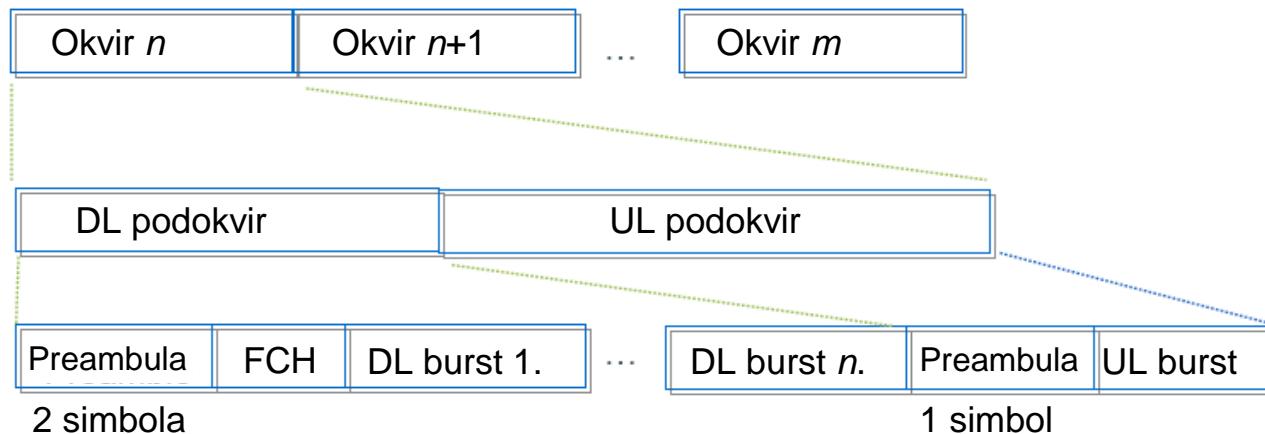
OFDM radijsko sučelje

- Struktura okvira za FDD način rada (preuzeto u izvornom obliku iz norme)

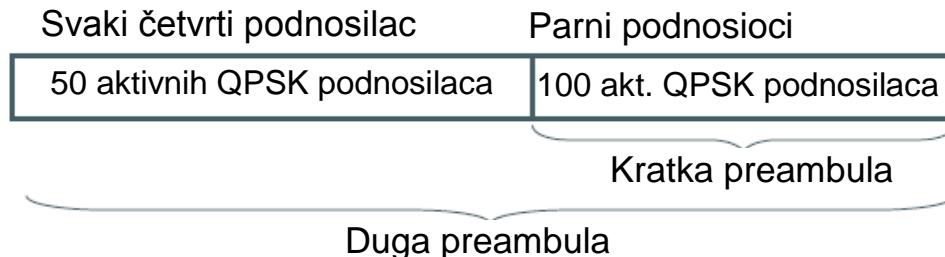


OFDM radijsko sučelje

- Pojednostavljena struktura okvira i definicija preamble (TDD)



Definicija preamble

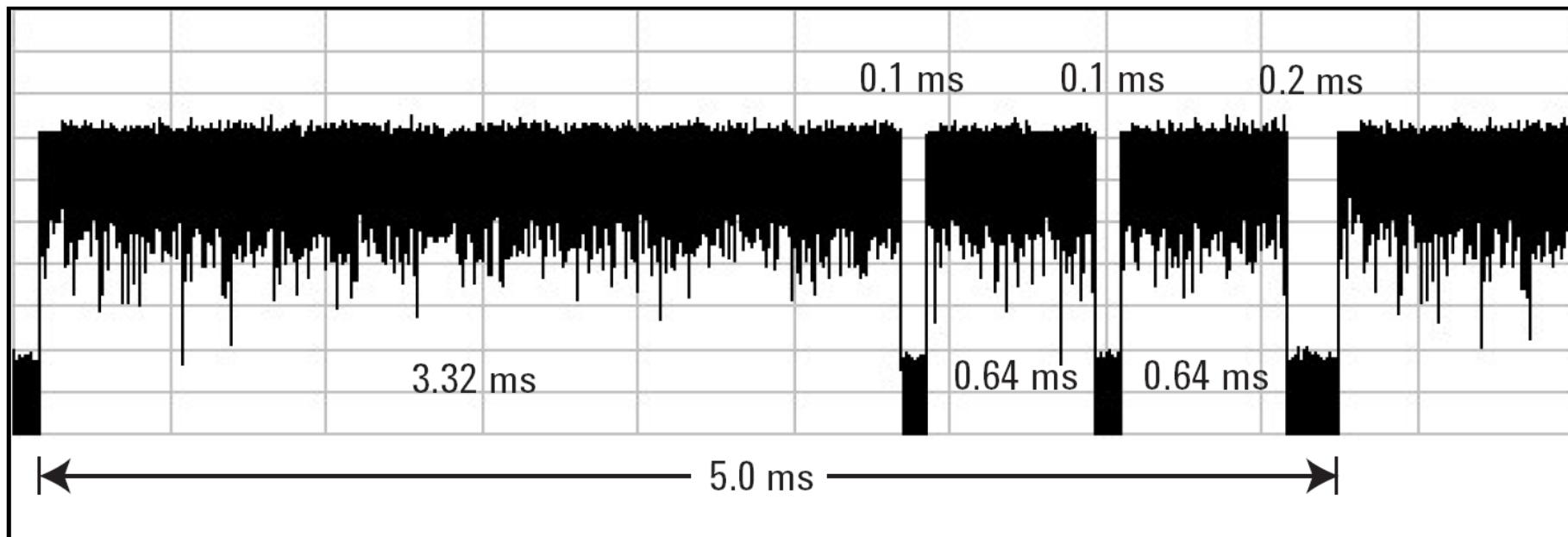


OFDM radijsko sučelje

- Jedan OFDM okvir može trajati od 2,5 do 20 ms i kod TDD sustava se on sastoji od podokvira silazne veze i podokvira uzlazne veze.
- Između podokvira postoji određeno zaštitno vremensko područje.
 - TTG (*transmit/receive transition gap*) – zaštitno područje između podokvira silazne i podokvira uzlazne veze
 - RTG (*receive/transmit transition gap*) - zaštitno područje između podokvira uzlazne veze i novog okvira (ponovnog odašiljanja bazne postaje)
- Svaki podokvir započinje odašiljanjem preambule
 - duga preambula
 - kratka preambula

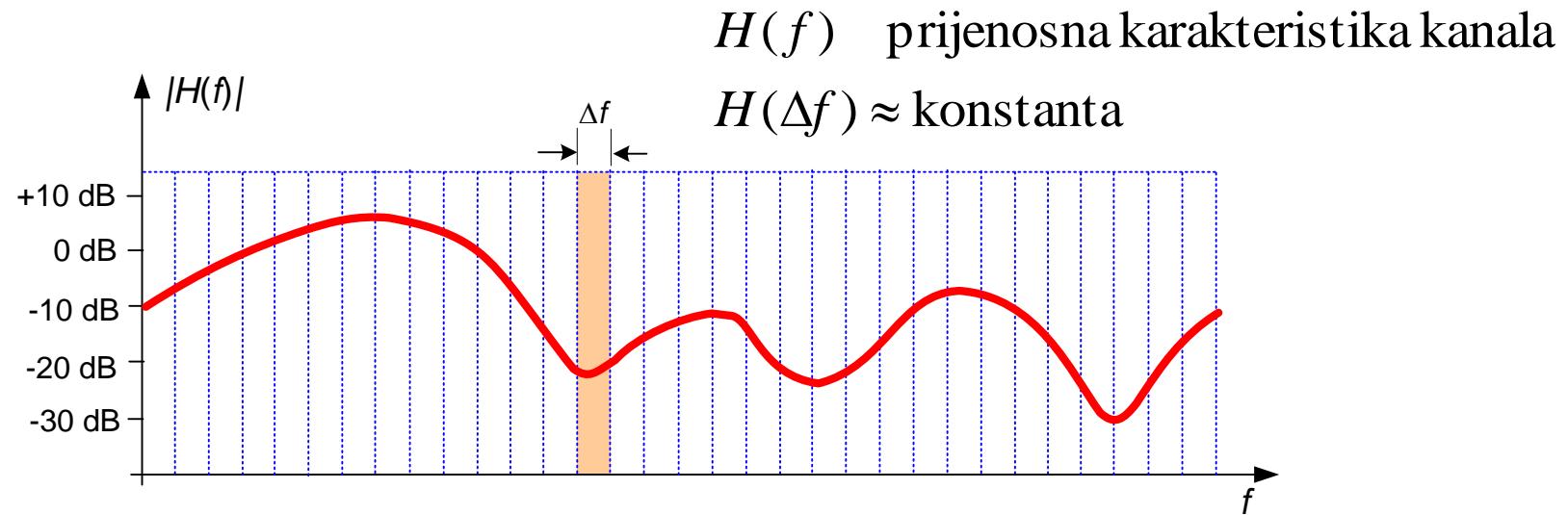
OFDM radijsko sučelje

- Primjer jednog WiMAX OFDM signala (vremenska domena)
 - trajanje okvira 5 ms, silazni podokvir traje 3,32 ms, a dva uzlazna podokvira traju 0,64 ms svaki
 - poslije silaznog okvira ima zaštitno područje u trajanju od 100 μ s (TTG) kao i poslije prvog uzlaznog podokvira
 - RTG na ovom signalu iznosi 200 μ s



OFDM radijsko sučelje

- Preambule sadrže poznate simbole, a podaci se prenose na ograničenom broju podnositaca. Svrha preambula je dobiti informaciju o stanju kanala kako bi prijamnik mogao odrediti odziv kanala i ispravno primiti poruke. Simboli preambule se odašilju s dvostrukom snagom.



na prijamniku primljeni signal se množi s $1/H(f)$

pretpostavka: kanal se ne mijenja do nailaska nove preambule

OFDM radijsko sučelje

- Osim procjene kanala preamble služe i za sinkronizaciju prijamnika s odašiljačem.
- Nakon preamble odašilje se FCH (*Frame Control Header*) koji je implementiran kao jedan OFDM simbol. Sastoji se od 88 bitova koji su BPSK modulirani. Razlog tome je u činjenici da sadrži kritične informacije sustava (npr. ID bazne postaje, profile silaznih *burstova*...).
 - Ima informacije o sadržaju okvira (lokacije i modulacije podataka namijenjenih pojedinim korisnicima). FCH ne sadrži dovoljno informacija da u potpunosti opiše profil sustava, ali prijamnici mogu započeti s dekodiranjem.

OFDM radijsko sučelje

- U silaznoj vezi nakon zaglavlja (FCH), odašilju se burstovi podataka namijenjeni određenim korisnicima
- Unutar jednog bursta ne mijenja se vrsta modulacije, ali se modulacija može mijenjati u različitim burstovima
- Burstovi koji koriste robusne modulacijske postupke odašilju se prvi (redoslijed: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM)
- Silazni burstovi sadrže jedan ili više simbola, kontrolne i korisničke podatke
- Jedan simbol u burstu može imati između 12 i 108 bajtova izvornih podataka

OFDM radijsko sučelje

- Modulacija i kodiranje
 - postoji 7 definiranih načina odašiljanja

Modulacija	Veličina nekodiranog bloka u bajtovima	Veličina kodiranog bloka u bajtovima	Ukupan omjer koda	Reed-Solomon kod (N, K, T)	omjer koda konvolucijskog kodera
BPSK	12	24	1/2	(12,12,0)	1/2
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16-QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16-QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64-QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64-QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

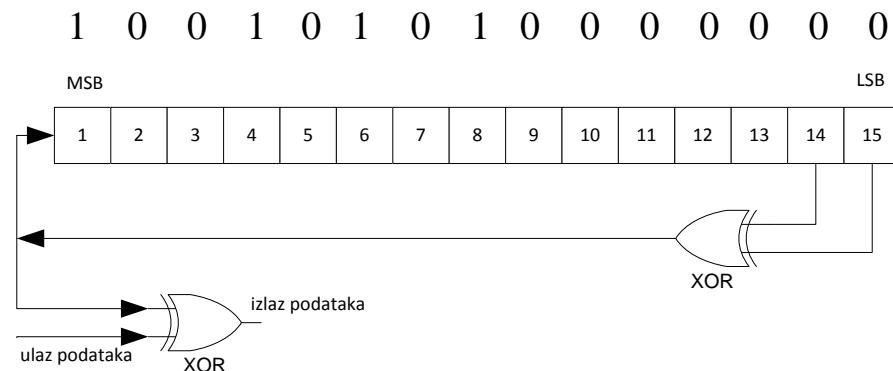
OFDM radijsko sučelje

- Kanalno kodiranje
 - Kanalno kodiranje osigurava zaštitu od pogreške koja će se vrlo vjerojatno pojaviti prilikom prijenosa kroz prijenosni medij. Zbog specifičnosti rasprostiranja elektromagnetskih valova i izloženosti signala raznim utjecajima i smetnjama, potrebno je prije postupka modulacije u signal ugraditi zaštitu od pogreške. Kanalno kodiranje se sastoji od tri sukcesivna postupka:
 - postupka slučajnog raspršivanja podataka (*randomisation*), ovaj postupak neki nazivaju i šifriranje
 - postupka zaštitnog kodiranja podataka (FEC – *Forward Error Correction*) i
 - postupka ispreplitanja podataka (*interleaving*).
 - Postupak zaštitnog kodiranja podataka podrazumijeva unošenje dodatnih bitova koji ne nose informaciju, već služe za kontrolu prilikom dekodiranja i ispravljanje pogrešno prenesenih bitova.

OFDM radijsko sučelje

– Šifriranje

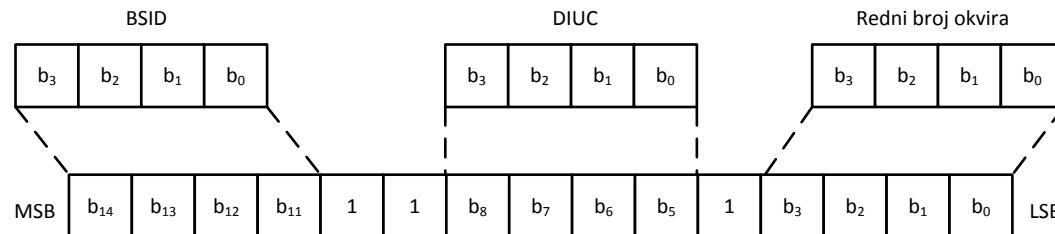
- Šifriranje se provodi nad svakim burstom podataka u silaznoj i uzlaznoj vezi. Za svaki blok podataka šifriranje se provodi nezavisno. Veličina bloka podataka u vremenskom odsječku odgovara veličini nekodiranog bloka, tj. količini podataka koja će biti odaslana u jednom OFDM simbolu.
- Ukoliko količina podataka u bloku ne odgovara propisanoj veličini nekodiranog bloka, blok se nadopunjava.
- Preamble se ne šifriraju. Šifrirani bitovi računaju se pomoću početne sekvene, a zatim se kombiniraju operacijom ekskluzivno ili (XOR).
- Postupak se provodi s generatorom pseudo slučajnog slijeda bitova (PRBS – *Pseudo Random Binary Sequence*)
- Na početku svakog okvira, PRBS registar se inicijalizira s kodnom riječi „1001010100000000“



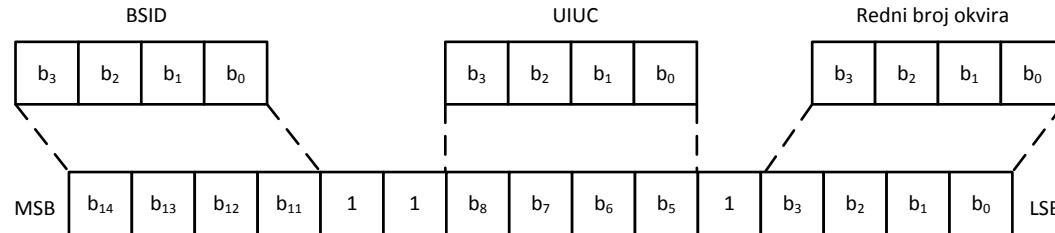
OFDM radijsko sučelje

– Šifriranje (nastavak)

- na početku svakog sljedećeg bursta, u silaznoj vezi, registar se inicijalizira vektorom prema slici:



- za uzlaznu vezu, inicijalizacija se provodi sljedećim vektorom:



- Polja BSID, DIUC i UIUC označavaju identifikaciju bazne postaje (*base station id*), kod namjene silaznog podokvira (*downlink interval usage code*) i kod namjene uzlaznog podokvira (*uplink interval usage code*). Navedena polja su sekvence duge četiri bita definirane normom, koja se prenose u zaglavljku okvira.
- Svrha šifriranja je izbjegavanje dugih nizova logičkih nula ili jedinica u podatkovnoj sekvenci, te pružanje najniže razine enkripcije.

OFDM radijsko sučelje

- Postupak zaštitnog kodiranja podataka (FEC)
 - Postupak zaštitnog kodiranja podataka sastoji se od vanjskog kodiranja pomoću Reed-Solomon postupka, te unutrašnjeg konvolucijskog kodiranja.
 - RS kodiranjem ispravljaju se blokovske pogreške, dok se konvolucijskim kodiranjem ispravljaju slučajne pogreške.
 - RS kodiranje izvodi se iz sustavnog RS koda ($N=255$, $K=239$, $T=8$)
 - N : ukupan broj bajtova nakon kodiranja
 - K : broj podatkovnih bajtova prije kodiranja
 - T : broj bajtova podataka koji se mogu ispraviti
 - Svaki blok podataka kodiran Reed-Solomon postupkom, kodira se pomoću binarnog konvolucijskog kodera. Konvolucijsko kodiranje unosi dodatnu zaštitu od pogreške pri prijenosu.

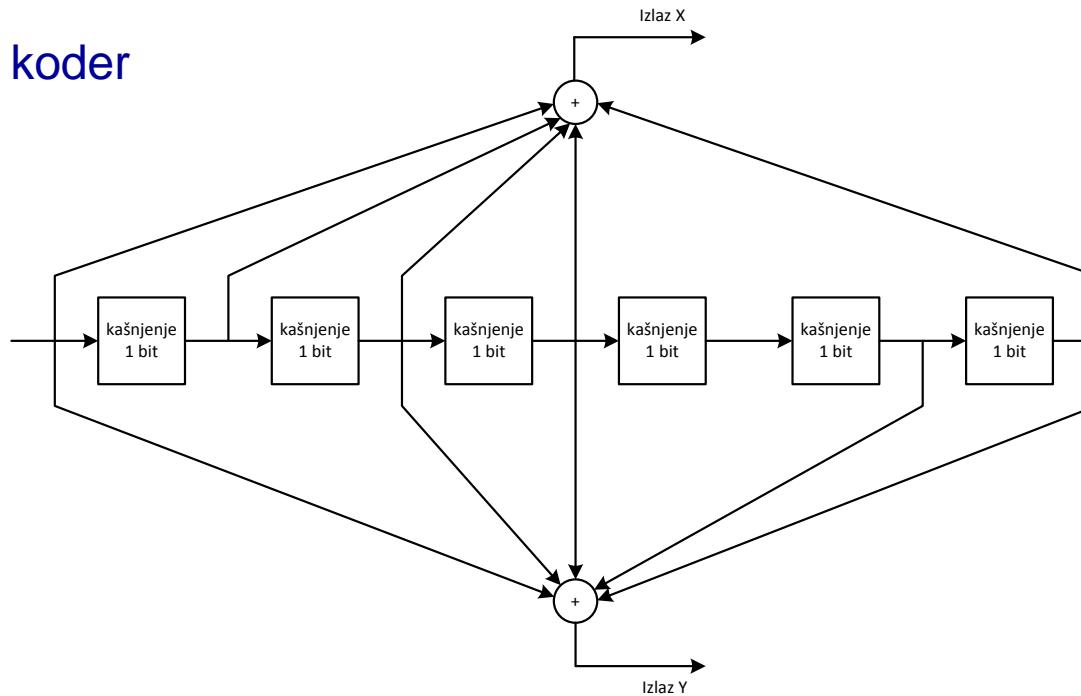
OFDM radijsko sučelje

- Postupak zaštitnog kodiranja podataka (nastavak)

- Omjer koda

$$\text{omjer_koda} = \frac{\text{broj_bita_prije_kodiranja_radi_zaštite_od_pogreške}}{\text{broj_bita_nakon_kodiranja_radi_zaštite_od_pogreške}}$$

- Konvolucijski koder

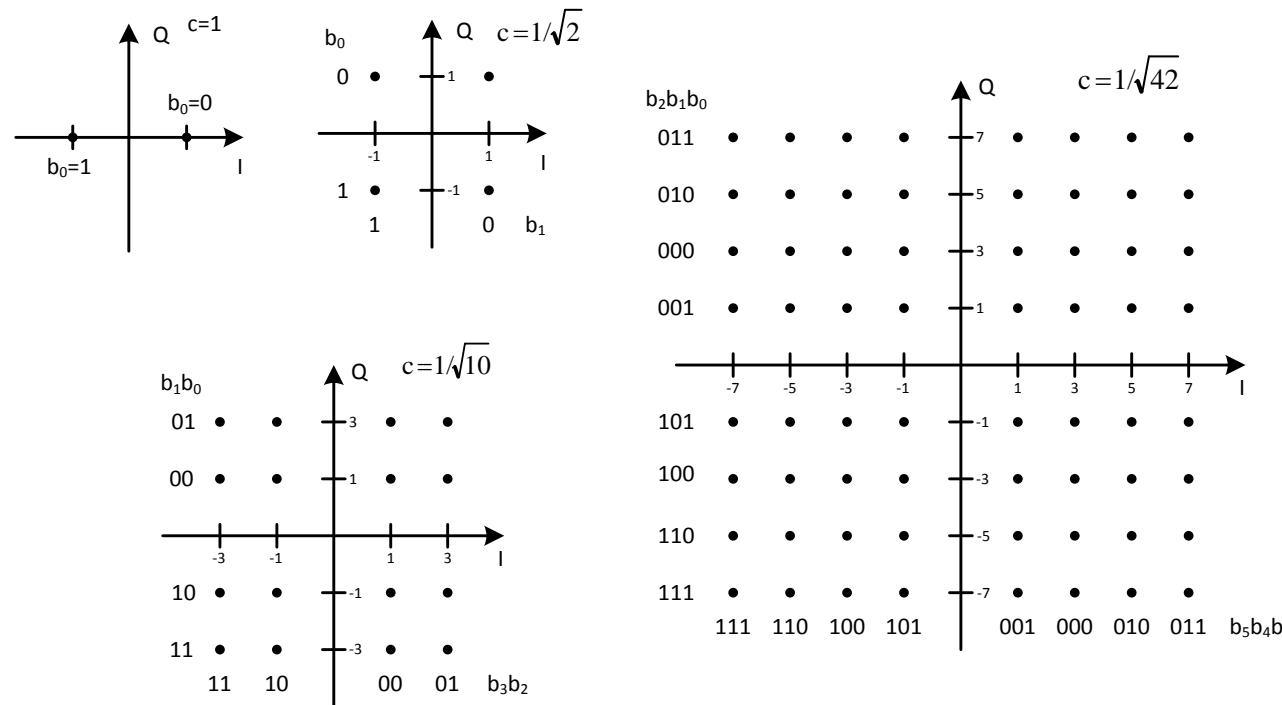


OFDM radijsko sučelje

- Postupak zaštitnog kodiranja podataka (nastavak)
 - Sustav kodiranja omogućava odabir različitog omjera koda, što omogućava prilagodbu sustava različitim uvjetima propagacije i vrsti prijama. Veći omjer koda omogućava efikasnije iskorištenje kapaciteta, jer se prenosi manje zaštitnih bitova, ali je sustav širokopojasnog bežičnog pristupa osjetljiviji na smetnje koje mogu nastati u prijenosnom mediju.
- Postupak ispreplitanja podataka (*interleaving*)
 - Kodirani podatkovni bitovi dovode se na sklop za blokovsko ispreplitanje, a veličina bloka odgovara broju kodiranih bitova. Sklop je definiran s dvije permutacije. Prva osigurava preslikavanje susjednih kodiranih bitova na različite podnosioce, dok druga osigurava preslikavanje susjednih kodiranih bitova na manje ili više značajne bitove u QAM konstelaciji. Na taj način se izbjegavaju dugi nizovi nepouzdanih bitova.

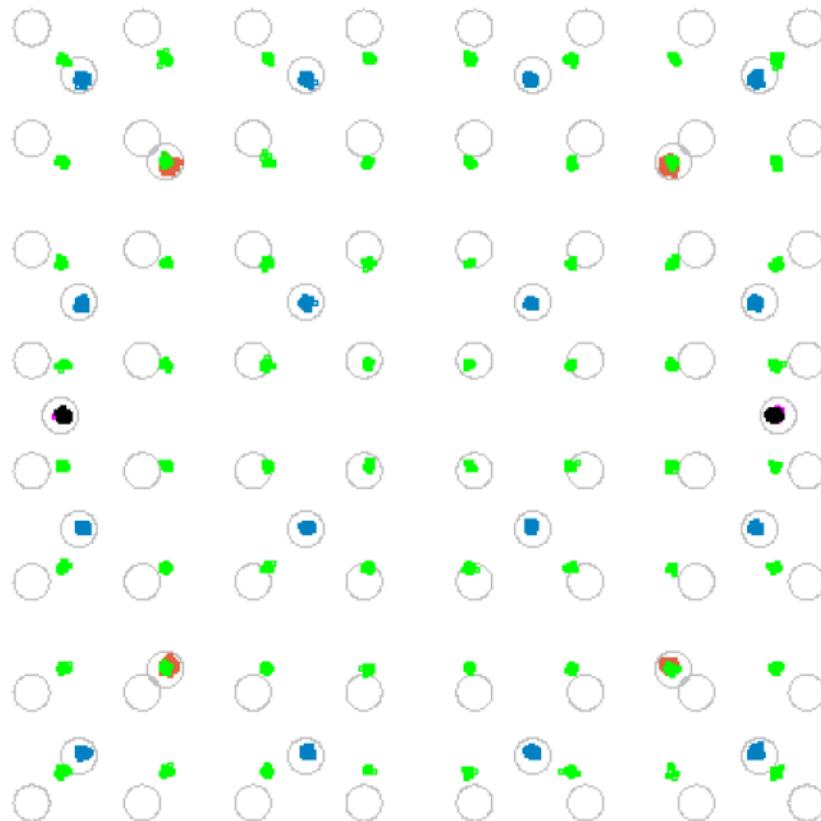
OFDM radijsko sučelje

- Modulacija
 - Nakon ispreplitanja bitovi serijski dolaze na QAM modulator koji bitove preslikava u konstelacijske točke. Konstelacije se normiraju faktorom c kako bi se postigle jednake srednje snage. Za svaku modulaciju, b_0 označava bit najmanje važnosti (LSB).



OFDM radijsko sučelje

- Normirane konstelacije



BPSK (pilots)

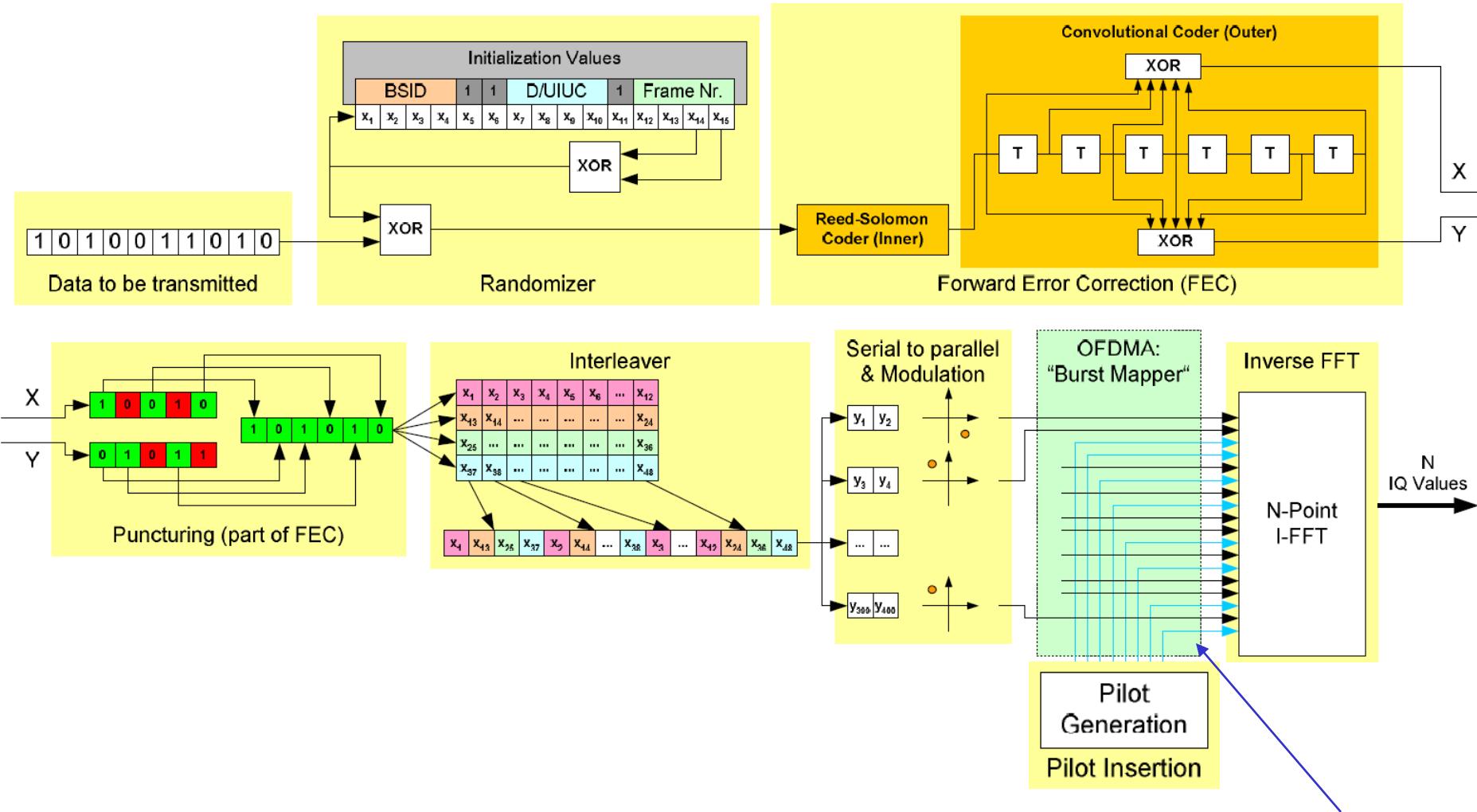
BPSK (FCH)

QPSK

16 QAM

64QAM

OFDM radijsko sučelje



ovog zelenog bloka nema
u OFDM radijskom sučelju

Radijske pristupne mreže

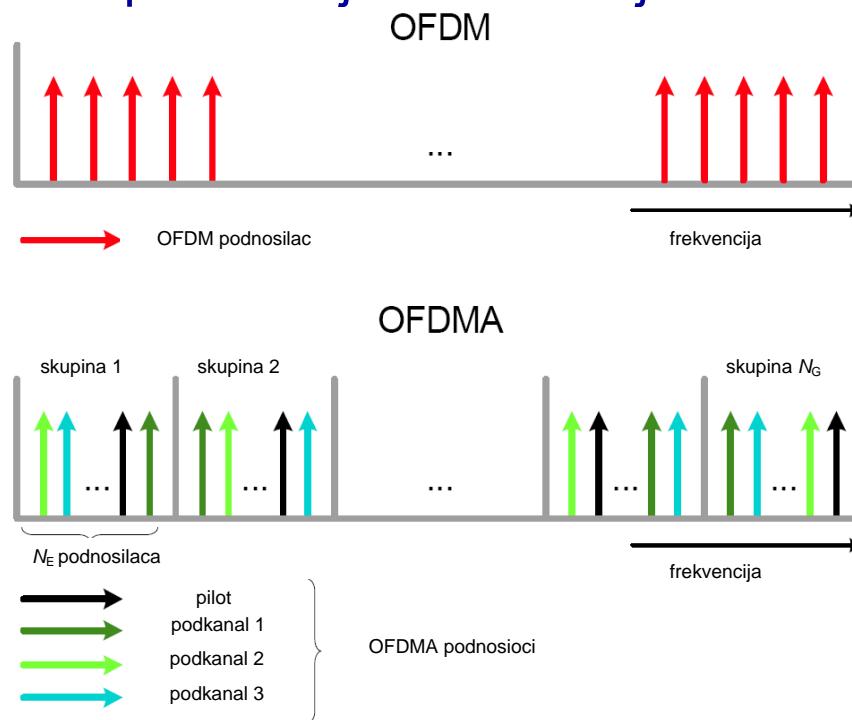
Izv. prof. dr. sc. Gordan Šišul

Radijske mreže gradskih područja

(802.16-2004 OFDMA radijsko sučelje, obilježja
norme IEEE 802.16e, QoS)

OFDMA radijsko sučelje

- OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)
 - svi prijenosni resursi (frekvencijski i vremenski) dijele se između svih korisnika.
 - kod OFDM-a se u nekome određenom vremenskom odsječku svi resursi stavljuju na raspolaganje jednom korisniku.
 - OFDMA u stvari predstavlja kombinaciju višestrukog pristupa TDMA i FDMA.



OFDMA radijsko sučelje

- OFDMA dijeli cijelokupni prostor podnositaca u N_G skupina od kojih svaka ima N_E podnositaca. Znači, postoji N_E logičkih podkanala (svaki logički podkanal opslužuje jednog korisnika).
- Kao primjer može se uzeti OFDMA s 2048 podnositaca kod koje je u silaznoj vezi $N_E = 32$ i $N_G = 48$, dok su u uzlaznoj vezi ti iznosi $N_E = 32$ i $N_G = 53$. Ostali podnosioci koriste se kao piloti ili se uopće ne koriste (zaštitni pojas).
- Kodiranje, modulacija i razine amplitude mogu se namjestiti različito za svaki podkanal ovisno o uvjetima u kanalu kako bi se optimizirao prijenos.

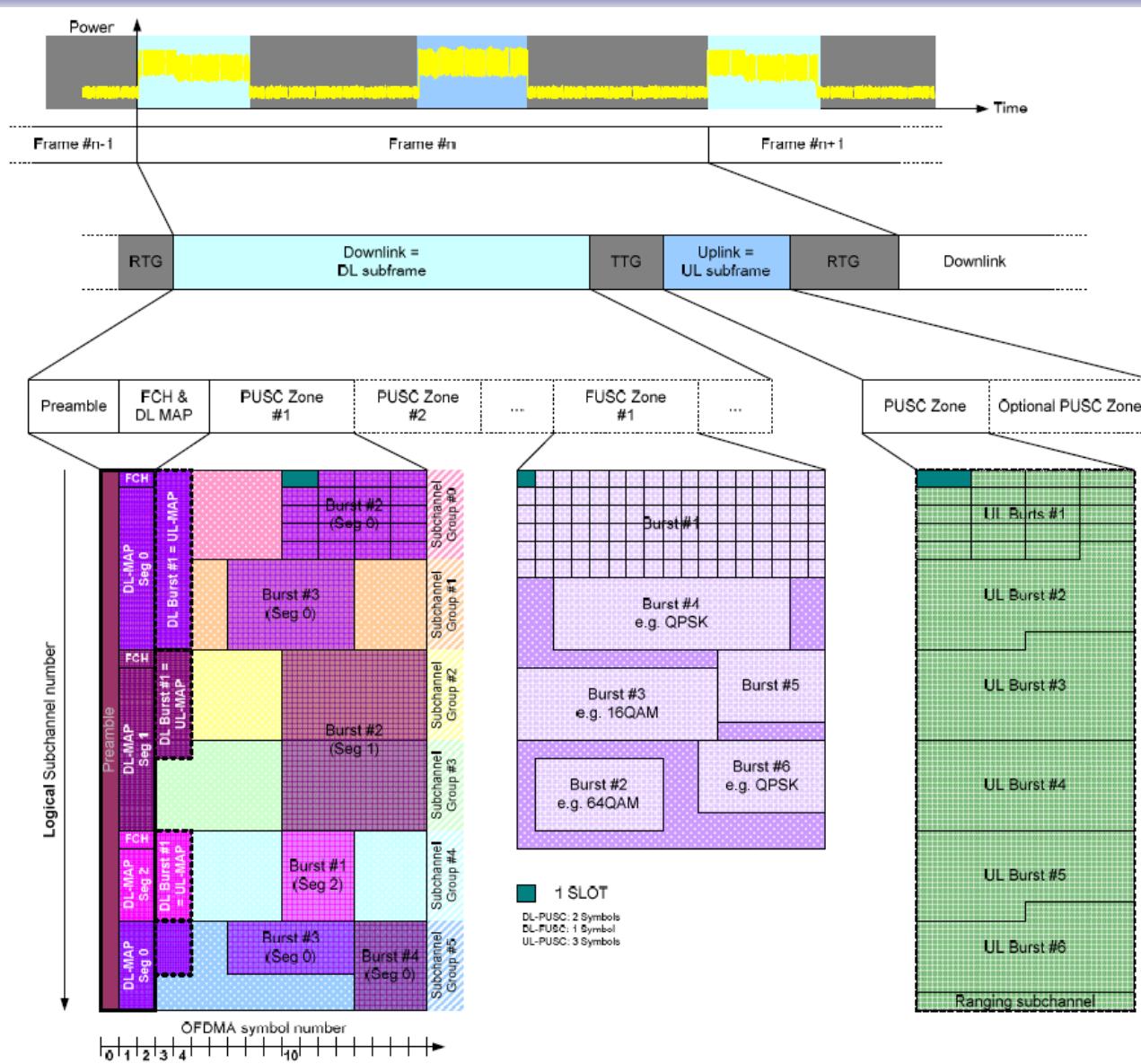
Terminologija kod OFDMA

- PODRUČJE (*zone*) – kompletan logički dio okvira. Postoje silazna i uzlazna područja (DL i UL). Neka koriste sve podkanale u OFDMA frekvencijskom području (FUSC, *Full Usage of SubChannels*), dok neka koriste samo dijelove (PUSC, *Partial Usage of Subchannels*). Područja se sastoje od burstova.
- BURST (*burst*) – dio unutar područja koji je dodijeljen jednom korisniku. Sastoji se od odsječaka. Koristi određen broj podkanala i simbola.
- ODSJEČAK (*slot*) – najmanja moguća jedinica podataka unutar OFDMA, definirana u vremenu i frekvenciji. Uvijek sadrži jedan podkanal i može sadržavati jedan do tri simbola (ovisno o vrsti područja). U DL-PUSC području odsječak je širok 2 simbola, a u UL-PUSC području 3 simbola.

Terminologija kod OFDMA

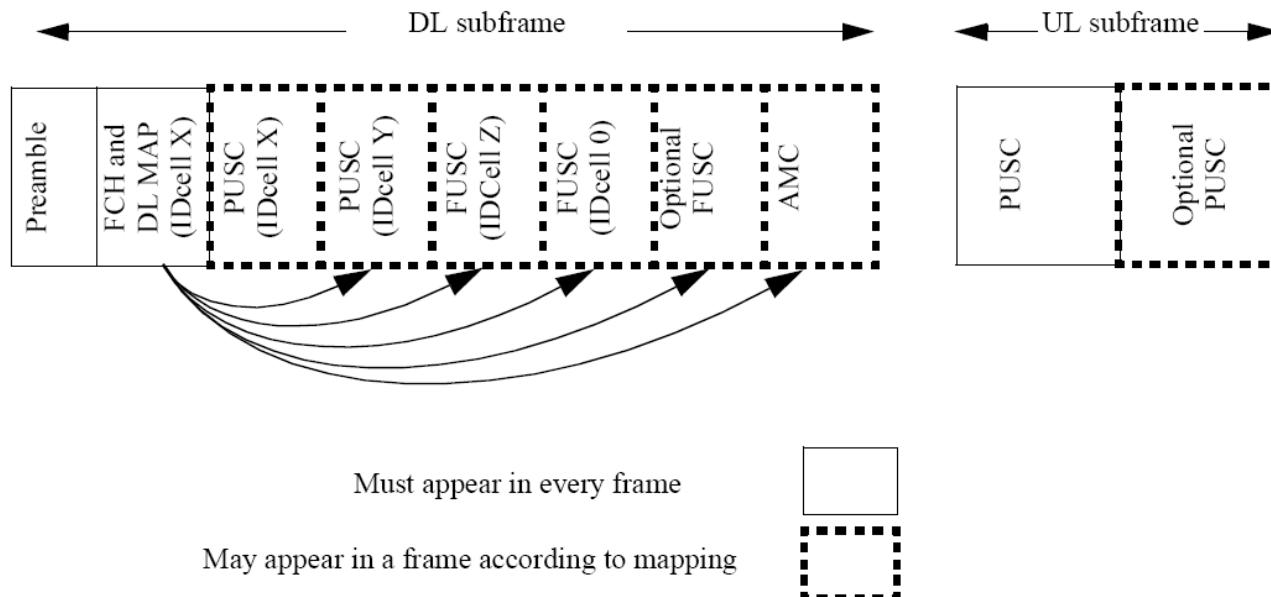
- PODKANAL (*subchannel*) – opisuje najmanju logičku jedinicu u frekvencijskoj domeni. Sadrži jedan ili više podnositaca (nisu susjedni) čiji raspored se može mijenjati unutar bursta, od simbola do simbola. Prema 802.16-2004 broj podkanala se mijenja od 32 do 96 ovisno o vrsti područja.
- SIMBOL (*symbol*) – najmanja jedinica unutar vremenske domene. Njegovo trajanje ovisi o zaštitnom vremenskom intervalu OFDMA simbola i razmaku frekvencija podnositaca. **Treba razlikovati ovo značenje pojmove simbol i OFDMA simbol.**
- SEGMENT (*segment*) – je skup OFDMA skupina podkanala. Postoje tri segmenta za silaznu i tri za uzlaznu vezu.
- SKUPINA PODKANALA (*subchannel group*) – jedan ili više podkanala (od kojih se svaki sastoji od 1 ili više fizičkih podnositaca) u DL PUSC području. Postoji 6 skupina podkanala.

Struktura OFDMA okvira



Struktura OFDMA okvira

- OFDMA okvir može trajati od 2 ms do 20 ms (približne vrijednosti, ovise o zaštitnom pojasu). Pri tome se prenese 19 do 198 OFDMA simbola. Iako se podržava FDD i TDD, dominantno se koristi TDD.
- Unutar silazne i uzlazne veze ne moraju se upotrijebiti različite vrste područja. U okviru se uvijek moraju nalaziti: preamble, FCH i DL MAP.



Struktura OFDMA okvira

- Na početku svakog podokvira silazne veze nalazi se preamble (traje jedan OFDMA simbol). Broj korištenih podnositaca određuje koji od tri segmenta (koristi se kod planiranje pokrivanja BS) će se koristiti.
- Nakon preambule odašilje se FCH (zaglavlj je kontrolira okvir) koje je QPSK modulirano i traje dva OFDMA simbola. Svaki segment sadrži FCH, a položaj FCH polja u okviru je fiksan. Sadržaj FCH opisuje koji podkanali se koriste te kolika je duljina DL-MAP-a koja slijedi.
- DL-MAP (raspoređivanje silazne veze) daje lokacije burstova u silaznim područjima. On sadrži broj silaznih burstova i njihov položaj kao i duljinu u matrici frekvencijski podnosioci – vrijeme. Odašilje se u svakom segmentu.
- UL-MAP (raspoređivanje uzlazne veze) se odašilje kao prvi burst u silaznoj vezi i sadrži informacije o lokacijama burstova uzlazne veze koji odašilju različiti korisnici.

Područja (zones)

- Više vrsta, ali DL-PUSC područje mora biti prvo u silaznoj vezi (tako je i UL-PUSC prvo područje u uzlaznoj vezi). Karakterizira ga djelomično korištenje podkanala.
- DL-FUSC nema segmente, koristi sve podkanale.
- Postoje i druge vrste područja kao što su opcijski DL-FUSC te AMC (*Advanced Modulation and Coding*). Sadržaj okvira može biti i AAS (*Adaptive Antenna System*) koji se koristi u slučaju korištenja inteligentnih antena i MIMO tehnike za unaprjeđivanje karakteristika.

Područja (zones)

- primjer nekih specifikacija-informativno

Parametar	DL-FUSC	Opcijski DL-FUSC	DL-PUSC	UL-PUSC
FFT veličina	2048	2048	2048	2048
DC podnosilac	1 (indeks 1024)	1	1 (indeks 1024)	1 (indeks 1024)
Lijevi zaštitni podnosioci	173	159	184	184
Desni zaštitni podnosioci	172	160	183	183
Korisni podnosioci (bez DC podnosioca)	1702	1728	1680	1680
Piloti	166 ($2 \times 12 + 2 \times 71$)	192	promjenjivo	promjenjivo
Podnosioci koji prenose podatke	1536	1536		
Broj podnositelja po podkanalu	48	48		
Podkanali	32	32	60	70
Veličina odsječka (podkanali × simbol)	1×1	1×1	1×2	1×3

Zaključak uz normu 802.16-2004

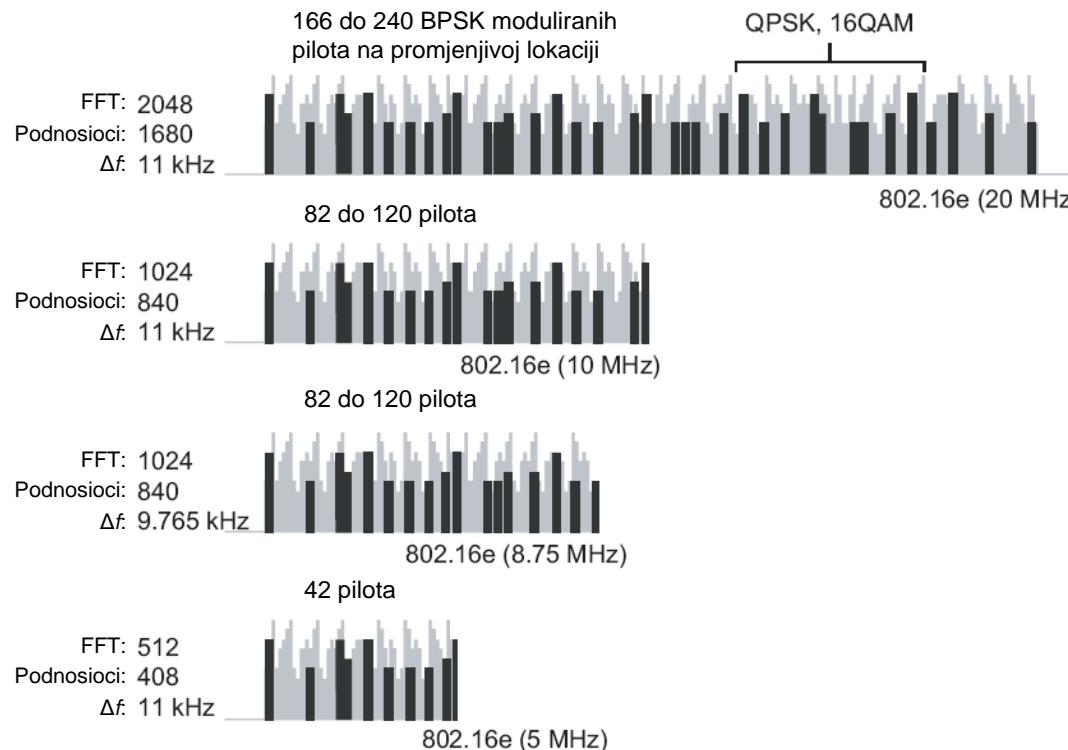
- iako postoji 5 definiranih radijskih sučelja, najviše se upotrebljava radijsko sučelje OFDM,
- OFDMA princip rada pogodniji je za mobilne mreže, dok je za fiksne mreže prikladniji OFDM (manje je kompleksan i jeftiniji),
- postoje certificirani proizvodi za OFDM radijska sučelja,
- proizvodi su već sazreli na tržištu,
- uklapa se u dodijeljeni spektar u našoj državi

Obilježja norme IEEE 802.16e

- Norma 802.16e također definira više vrsta radijskih sučelja.
- Osnovno – mobilnost; radijsko sučelje OFDMA
 - često u uporabi termin S-OFDMA- skalirajuća (*scalable*) OFDMA
 - osim FFT veličine 2048, koja se koristi u 802.16-2004, dopušta se i FFT razina 1024, 512 i 128. S mogućnošću namještanja FFT veličine, a istodobno fiksirajući razmak frekvencija između podnositaca (10,94 kHz) postigla se skalabilnost sustava.
 - Faktor uzorkovanja n može poprimiti vrijednosti $8/7$ i $28/25$, dok je omjer zaštitnog intervala i korisnog vremena simbola G iznosa $1/4$ ili $1/8$ ili $1/16$ ili $1/32$.
- Najveće razlike u odnosu na raniju normu iskazuju se u višim slojevima (MAC sloju) gdje su dodane još neke funkcionalnosti.
 - npr. prekapčanje (*handover*), neograničeno kretanje (*roaming*).

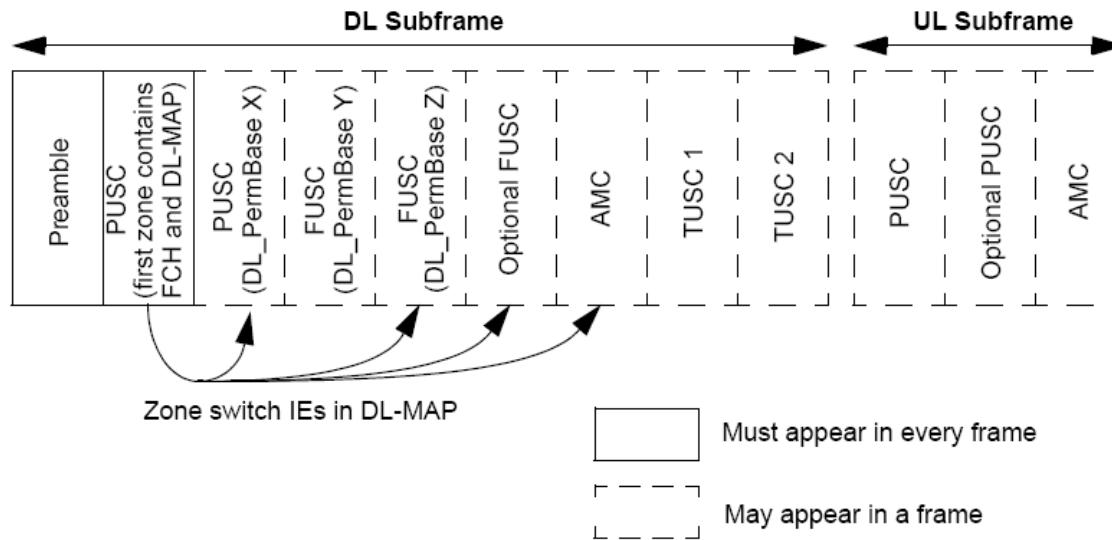
Obilježja norme IEEE 802.16e

- Sustav je također definiran za rad u različitim širinama kanala.
 - trenutno su najzastupljenije širine kanala 5 i 10 MHz (komercijalno dostupna oprema)
 - primjeri mogućih načina rada za različite širine kanala



Obilježja norme IEEE 802.16e

- Složenija kodiranja
 - turbo kodovi, LDPC
- Više profila *burstova* (modulacija+kodiranje), čak 65
- Područja (*zone*): postojeće + TUSC (*Tile Usage of Subcarriers*)
 - svako područje na određeni način raspodjeljuje podnosioca (različite permutacije), odsječci (*slots*) su im različitih veličina

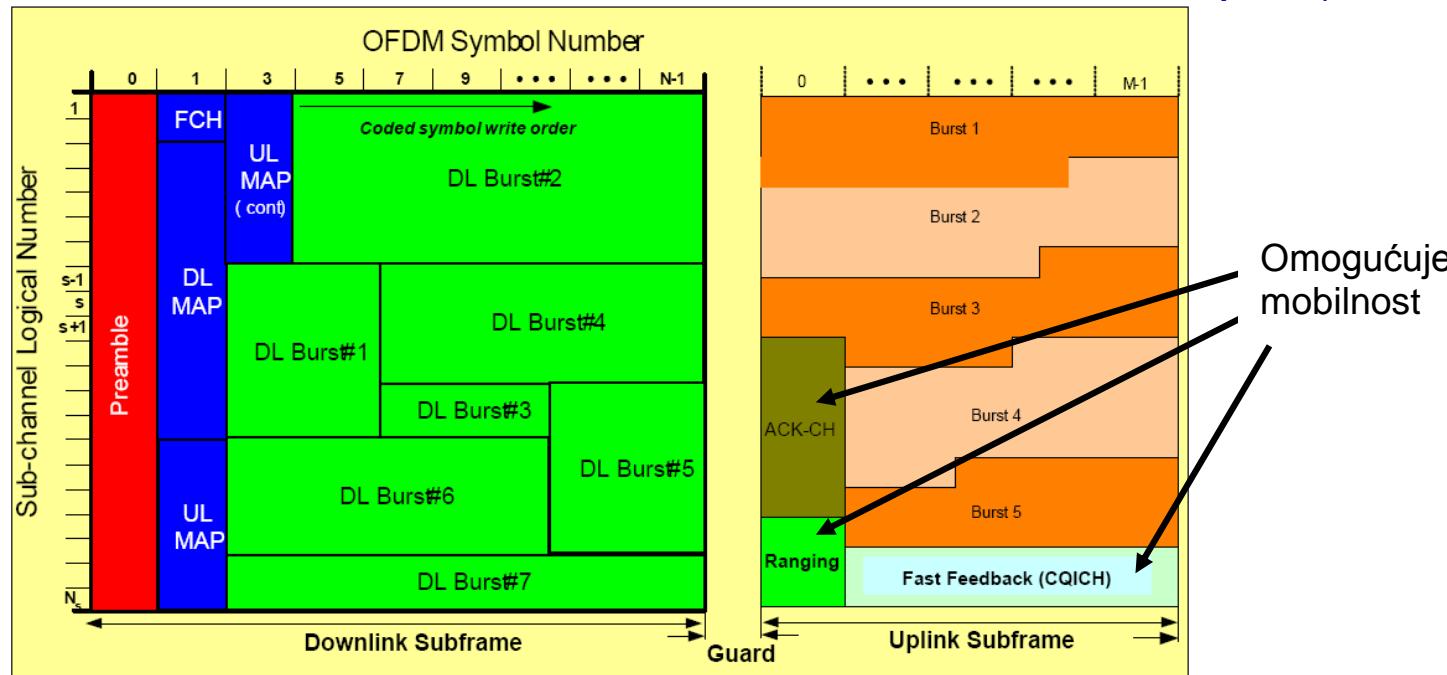


Obilježja norme IEEE 802.16e

- primjeri
 - FUSC - odsječak ima 48 podnosioca unutar 1 OFDMA simbola
 - DL PUSC - odsječak ima 24 podnosioca unutar 2 OFDMA simbola
 - UL PUSC i TUSC - odsječak ima 16 podnosioca unutar 3 OFDMA simbola
 - AMC - odsječak ima 8, 16, 24 podnosioca unutar 6, 3, 2 OFDMA simbola
- podsjetnik
 - “osnovna građevna jedinica podataka” u matrici vrijeme-frekvencija je odsječak, više odsječaka tvori *burst*
 - *burst* je obilježen istim modulacijskim postupkom i kodiranjem

Struktura okvira

- Da bi se osigurala mobilnost, u uzlaznoj vezi nalaze se tri bloka:
 - UL podešavanje (UL Ranging): služi da bi se ostvarilo namještanje snage, frekvencije, traženog pojasa itd.
 - UL CQICH, zove se i CQI (Channel Quality Indicator), indikator kvalitete kanala: služi za povratnu informaciju o stanju u fizičkom kanalu,
 - UL ACK (acknowledgement), odgovor: služi da bi se odgovorilo na upit iz bazne postaje DL HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request).



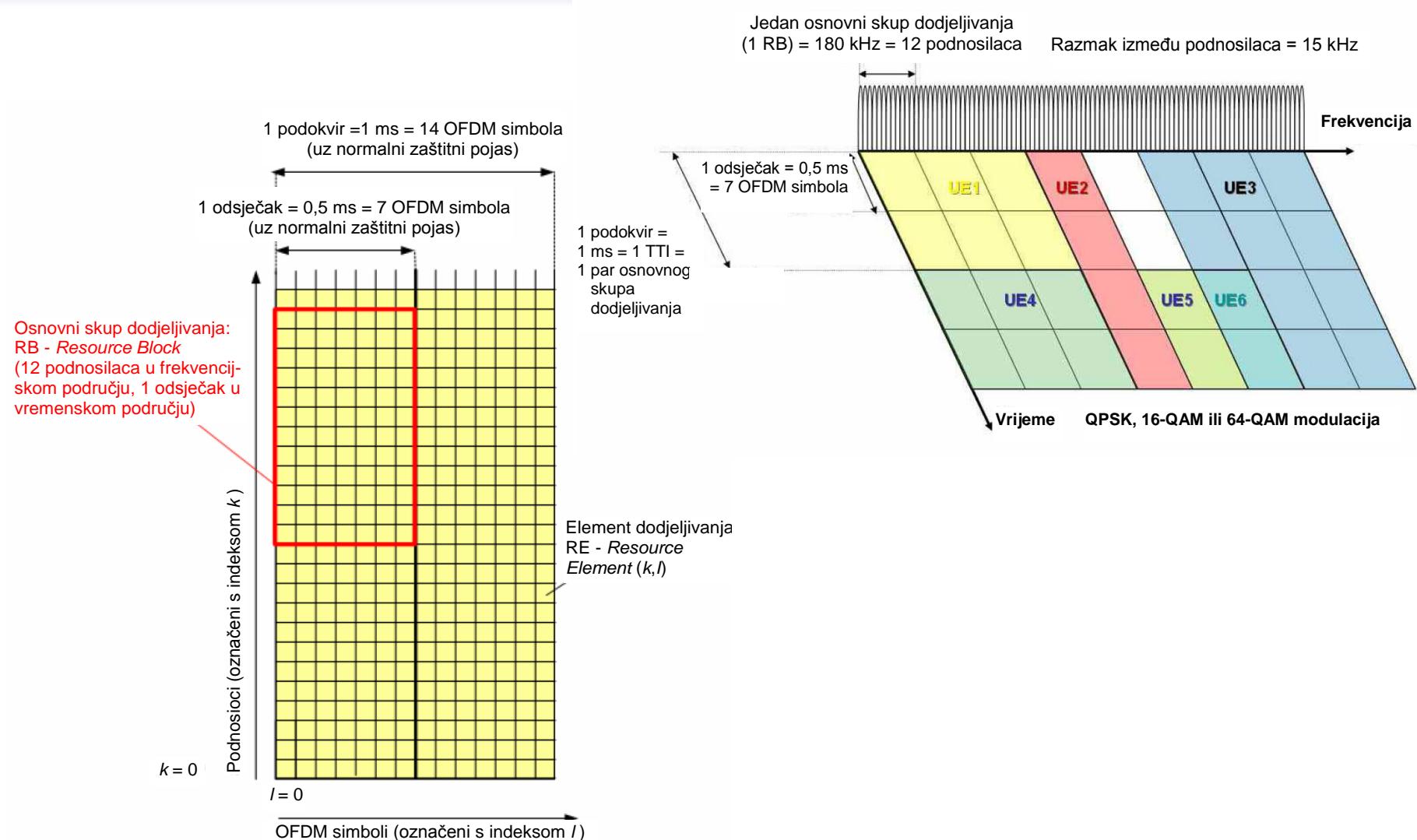
Usporedba najčešćih radijskih sučelja

- WiMAX je pokriven normama 802.16–2004 (nepokretnе mreže) i 802.16e (mobilne mreže)
- U praksi se za nepokretni WiMAX koristi OFDM radijsko sučelje, dok se za mobilni WiMAX upotrebljava skoro isključivo OFDMA radijsko sučelje.
- U Južnoj Koreji zaživio je WiBRO sustav kojeg možemo smatrati dijelom mobilnog WiMAX-a

Usporedba najčešćih radijskih sučelja

Parametar	802.16-2004 OFDM	802.16-2004 OFDMA	802.16e	WiBRO
Veličina FFT	256	2048	2048, 1024, 512, 128	1024
Broj korisnih podnosilaca	200	1680/1728	promjenljiv	864/840
Broj pilota	8	166/192	promjenljiv	96
Frekvencijska širina kanala	1,25 do 28 MHz	1,25 do 28 MHz	1,25 do 28 MHz	8,75 MHz
Modulacijski postupci	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64- QAM
Dupleks	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD
Zaštitni interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/8
Podržano više korisnika po frekvenciji za vrijeme trajanja OFDM/OFDMA simbola	NE	DA	DA	DA
Podržano više korisnika po vremenu unutar jednog kanala	DA	DA	DA	DA
MIMO (<i>Multiple Input Multiple Output</i>)	DA	DA	DA	DA

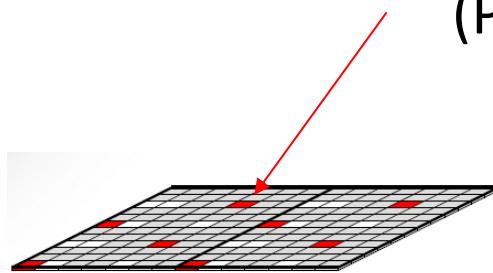
OFDMA – primjer LTE



OFDMA – primjer LTE

- Procjena kanala pomoću pilota unutar bloka

Referentni signali
(Piloti)



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

- Zaključno: WiMAX i LTE rabe OFDMA, ali uz različitu strukturu

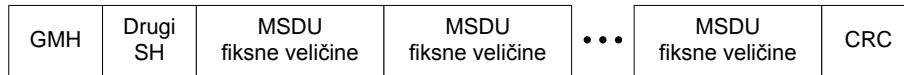
MAC sloj – kratki pregled

- paketi iz višeg sloja MSDU (*MAC service data units*) organiziraju se u MPDU (*MAC protocol data units*) za odašiljanje u radijskom sučelju
- MPDU u WiMAX-u imaju varijabilnu duljinu
- svaki okvir započinje s generičkim MAC zaglavljem (GMH)
 - ono sadrži identifikaciju spajanja (CID), duljinu okvira, bitove koji govori o postojanju CRC-a, pod-zaglavljia, kako i koji su podaci kriptirani i s kojim ključem
- sadržaj okvira su korisnički ili upravljački podaci
- osim MSDu-a korisnički podaci mogu sadržavati podatke koji govore o zahtjevima za pojasom ili retransmisiji
- vrstu korisničkih podataka kazuje pod-zaglavje koje slijedi

MAC sloj – kratki pregled

- zahtjev za reemitiranjem (ARQ) također može biti sadržaj okvira
- maksimalna duljina okvira je 2047 bajtova
- cijela upravljačka pamet nalazi se u baznoj postaji
 - dodjeljivanje resursa korisničkim postajama naziva se *polling* (prozivanje)
 - ono se može raditi individualno ili grupno (*multicast, broadcast*)

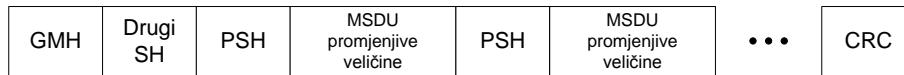
Primjeri različitih MAC PDU okvira



(a) MAC PDU okvir koji sadrži nekoliko MSDU paketa fiksne veličine



(b) MAC PDU okvir koji sadrži jedan MSDU paket



(c) MAC PDU okvir koji sadrži nekoliko MSDU paketa promjenjive veličine



(d) MAC PDU okvir koji sadrži ARQ



(e) MAC PDU okvir koji sadrži ARQ i MSDU pakete



(f) MAC upravljački okvir

- **CRC:** *cyclic redundancy check*
- **FSH:** *fragmentation subheader*
- **GMH:** *generic MAC header*
- **PSH:** *packing subheader*
- **SH:** *subheader*
- **ARQ:** *automatic repeat request*

Kvaliteta usluge (QoS)

- prije prijenosa podataka (korisničkih), BS i SS uspostavljaju vezu između svoja dva MAC sloja
- svaka veza je označena (određena) s CID-om
- WiMAX definira tzv. protok usluge (*service flow*)
 - protok paketa s različitim postavkama QoS parametara identificira se pomoću identifikatora protoka usluge SFID (*service flow identifier*)
 - QoS parametri: prioritet u prometu, maksimalna neprekinuta brzina prijenosa, maksimalna brzina bursta, minimalna tolerancija u promjeni brzine, plan (raspored) dodjeljivanja resursa, vrsta ARQ, maksimalno kašnjenje...

Kategorije kvalitete usluge

- Sustav ima sljedeće kategorije kvalitete usluga (QoS, *Quality of Service*):
 - UGS (*Unsolicited Grant Service*) – usluge s nezatraženim dodjeljivanjem: koristi se za prijenos VoIP-a, T1/E1 prijenos, a karakterizira ga maksimalni kontinuirani protok podataka, maksimalna tolerancija razdoblja čekanja, tolerancija na podrhtavanje takta, ima najveći prioritet;
 - rtPS (*Real Time Polling Service*) – usluge s prozivanjem u stvarnom vremenu: koristi se za prijenos audio ili video tijeka podataka (MPEG video), karakterizira ga minimalni rezervirani protok, maksimalni mogući kontinuirani protok podataka, maksimalna tolerancija razdoblja čekanja, prioritet u prometu;

Kategorije kvalitete usluge

- ErtPS (*Extended Real-Time Polling Service*) – proširene usluge s prozivanjem u stvarnom vremenu: koristi se za prijenos audio tijeka podataka (VOIP) s uključenom detekcijom aktivnosti, karakterizira ga sve što i rtPS plus tolerancija na podrhtavanje takta;
- nrtPS (*Non Real Time Polling Service*) – usluge s nekontinuiranim prozivanjem: koristi se za prijenos datoteka (FTP), karakterizira ga minimalni rezervirani protok, maksimalni mogući kontinuirani protok, određeni prioritet u prometu;
- BE (*Best Effort Service*) – najbolje moguće ostvarive usluge: koristi se za prijenos datoteka (HTTP), pregledavanje Web sadržaja, karakterizira ga da nisu zajamčene brzina prijenosa niti kašnjenje, maksimalni mogući kontinuirani protok, ima najmanji prioritet u prometu.

Radijske pristupne mreže

Izv. prof. dr. sc. Gordan Šišul

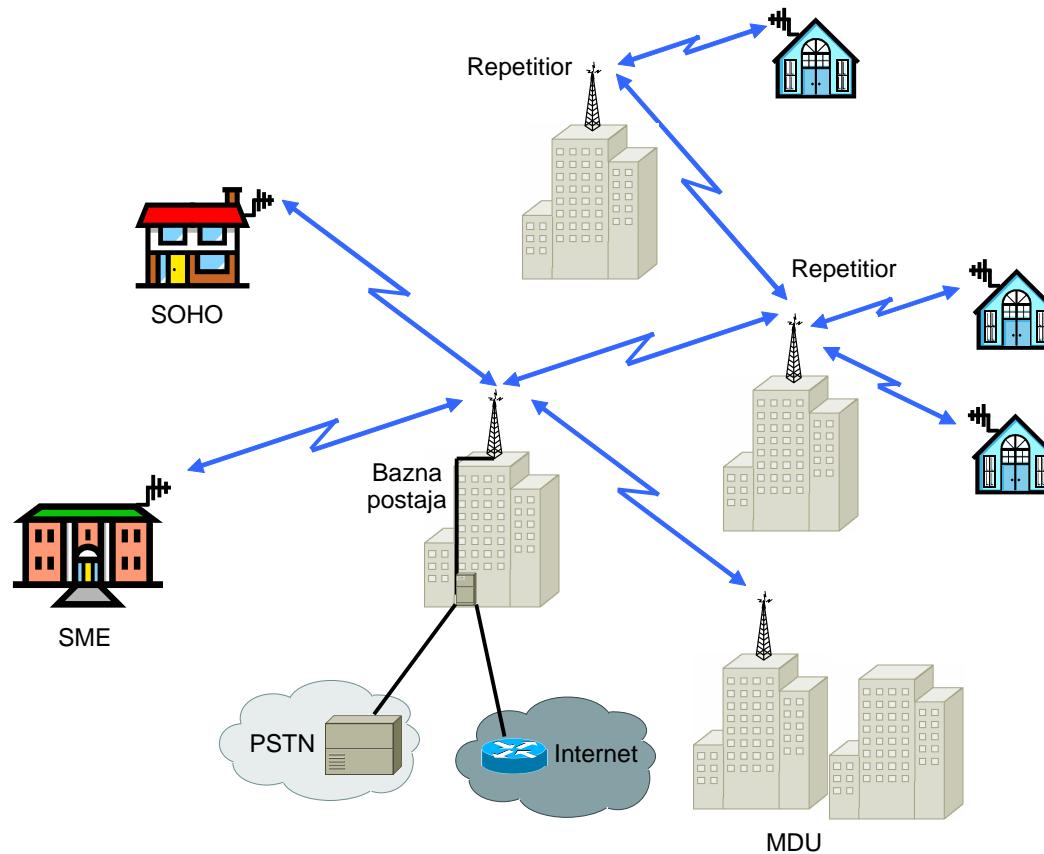
Radijske mreže gradskih područja

(arhitektura mreže, ćelijski sustav, osnovni dijelovi radijskog sustava, planiranje sustava, proračun veze)

Arhitektura mreže

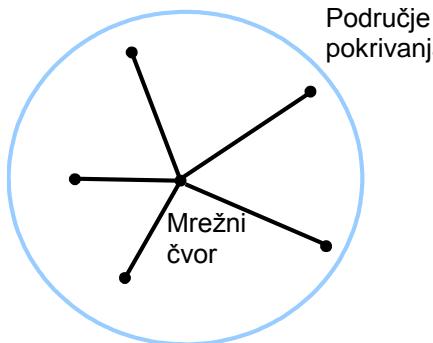
- Dominantno P2MP mreže (veza točka-više točaka)
 - Bazna postaja sadrži odašiljačku/prijamnu opremu za odašiljanje/prijam signala do/od korisničke opreme ili repetitora, te uređaje koji omogućavaju povezivanje P2MP sustava na jezgrenu mrežu. Bazna postaja može za različite smjerove rabiti usmjerene antene čime se postiže podjela područja pokrivanja sustava u sektore.
 - Na baznu postaju su priključene različite vrste korisnika: pojedinačni korisnici, mali i kućni uredi (SOHO), mala i srednja poduzeća (SME) i blokovi zgrada (MDU, Multi-dwelling Units).
 - Repetitori se rabe radi povećanja područja pokrivanja ili se rabe kao međupostaje u onim područjima gdje nema optičke vidljivosti između bazne postaje i korisničkog terminala.

Arhitektura P2MP mreže

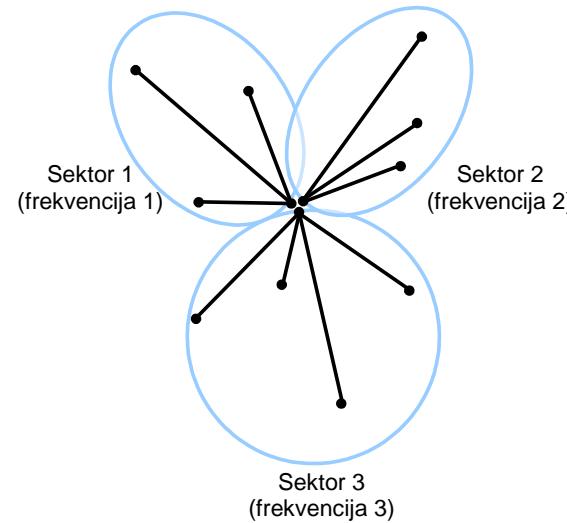


Arhitektura P2MP mreže

- bez podjele u sektore



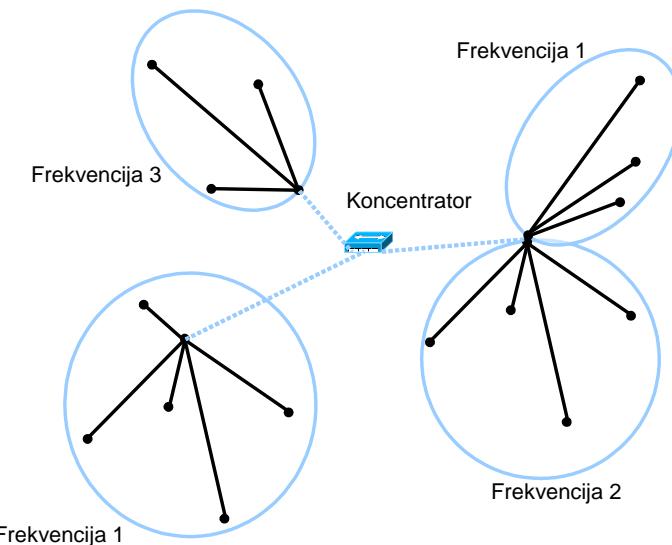
- podjela područja pokrivanja na sektore (3)



- Povezivanjem više P2MP sustava na istu okosnicu mreže (*backbone network*) nastaje ćelijska mreža u kojoj pojedina frekvencija može biti više puta iskorištena za pokrivanje različitih područja radijskim signalom, pri čemu frekvencijsko planiranje treba provoditi tako da se smetnje svedu na najmanju moguću mjeru.
- Svaka P2MP mreža ili sektor u P2MP mreži naziva se ćelijom

Arhitektura P2MP mreže

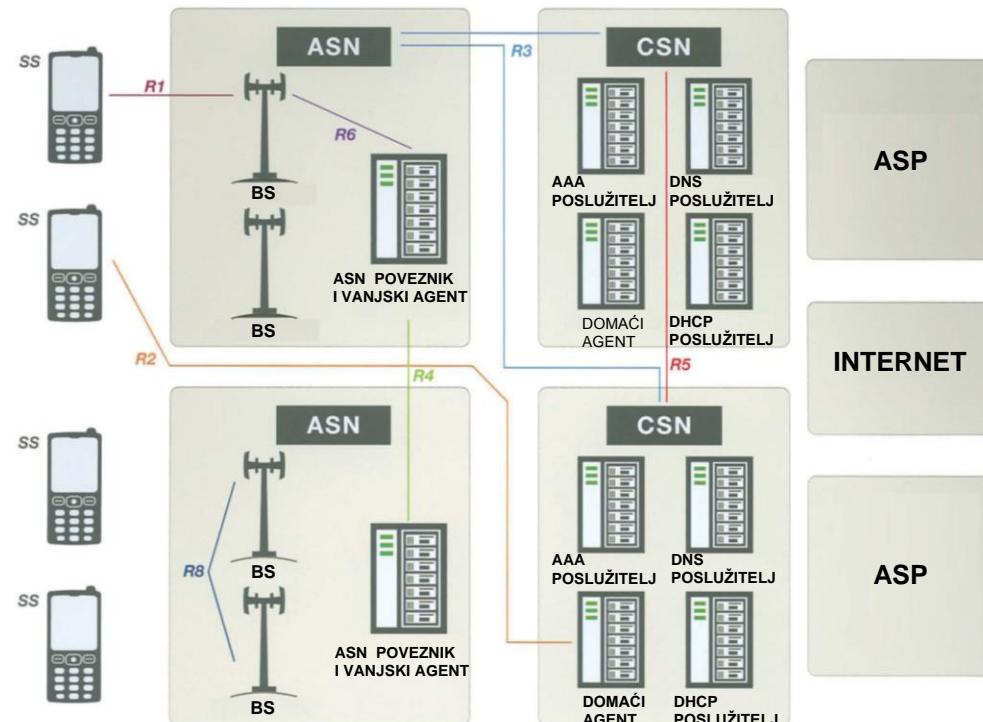
- Čelijska mreža nastala povezivanjem više P2MP sustava



- iako WiMAX podržava mreže vrste više točaka – više točaka (*mesh arhitektura*), ona se gotovo ne primjenjuje.
- Mrežna arhitektura WiMAX-a je u potpunosti IP mreža

Mrežna arhitektura mobilnog WiMAX-a

- ASN: *Access Service Network* – pristupna mreža usluga
- CSN: *Connectivity Service Network* – mreža za usluge spajanja
- ASP: *Application Service Provider* – dobavljač namjenskih usluga
- BS: *Base Station* – bazna postaja
- SS: *Subscriber Station* – korisnička postaja



Mrežna arhitektura mobilnog WiMAX-a

– ASN

- osigurava radijsko sučelje koje povezuje korisničku postaju na mrežu, sadrži bazne postaje i upravlja radijskim sučeljem, sadrži ASN poveznik (*gateway*) koji osigurava uslugu mobilnosti između baznih postaja, vanjski agent ima funkciju kojom vrši provjeru vjerodostojnosti i dodjelu mobilnog IP-a

– CSN

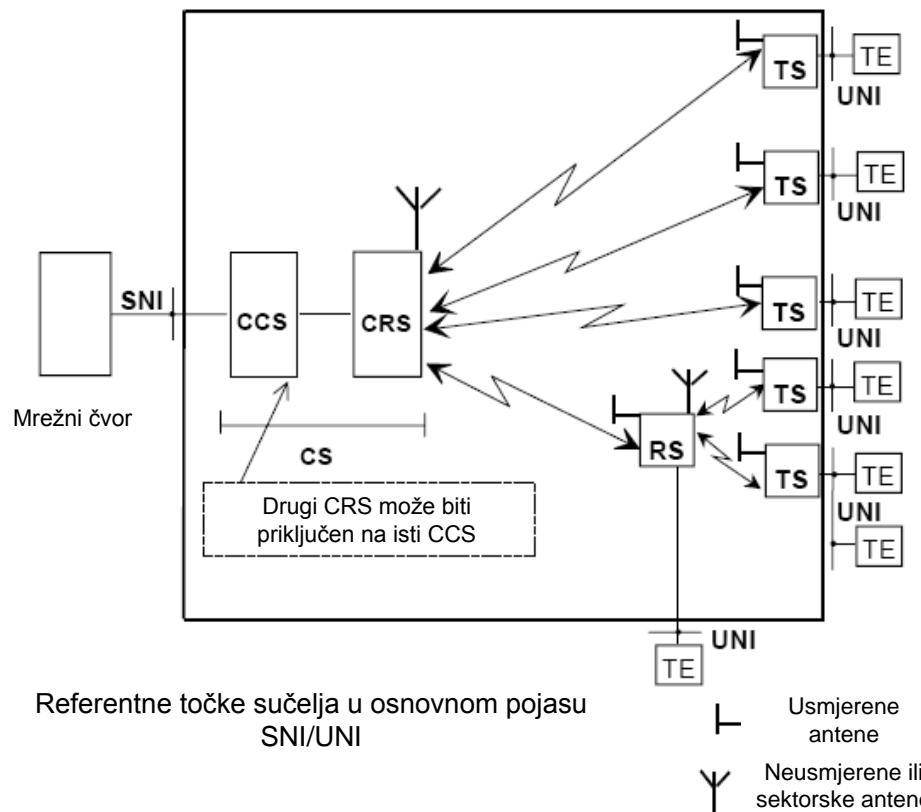
- omogućava povezivanje između ASN te usluge interneta i drugih aplikacija, domaći agent i AAA poslužitelj (*Authentication, Authorization & Accounting Server*) provode provjeru vjerodostojnosti (*authentication*), domaći agent i DHCP poslužitelj (*Dynamic Host Configuration Protocol Sever*) provode upravljanje IP adresama, AAA poslužitelj zapisuje naplatu, domaći agent potpomaže mobilnost

Mrežna arhitektura mobilnog WiMAX-a

- Postoji 8 logičkih sučelja. Sučelje R1 (između SS i BS) određuje radijsko sučelje. Ostala sučelja su:
 - R2 između domaćeg agenta (HA) i SS (za potporu *roamingu*);
 - R3 između ASN i CSN (provjera vjerodostojnosti, naplata, MIP poruke);
 - R4 između dva ASN (procedura prilikom mobilnosti kada SS prelazi s jednog ASN na drugi);
 - R5 između dva CSN (*roaming*);
 - R6 između BS i ASN poveznika
 - R7 interno sučelje do ASN poveznika;
 - R8 između dviju BS (prekapčanje).
- ova mrežna arhitektura je u skladu s preporukama WiMAX foruma

Mrežna arhitektura fiksnog WiMAX-a

- jednostavnija je jer se ne trebaju podržavati funkcije mobilnosti, prekapčanja. Na slici je primjer jednoga općenitog modela fiksnog P2MP sustava sukladno normi ETSI EN 301 021



Arhitektura fiksnog WiMAX-a

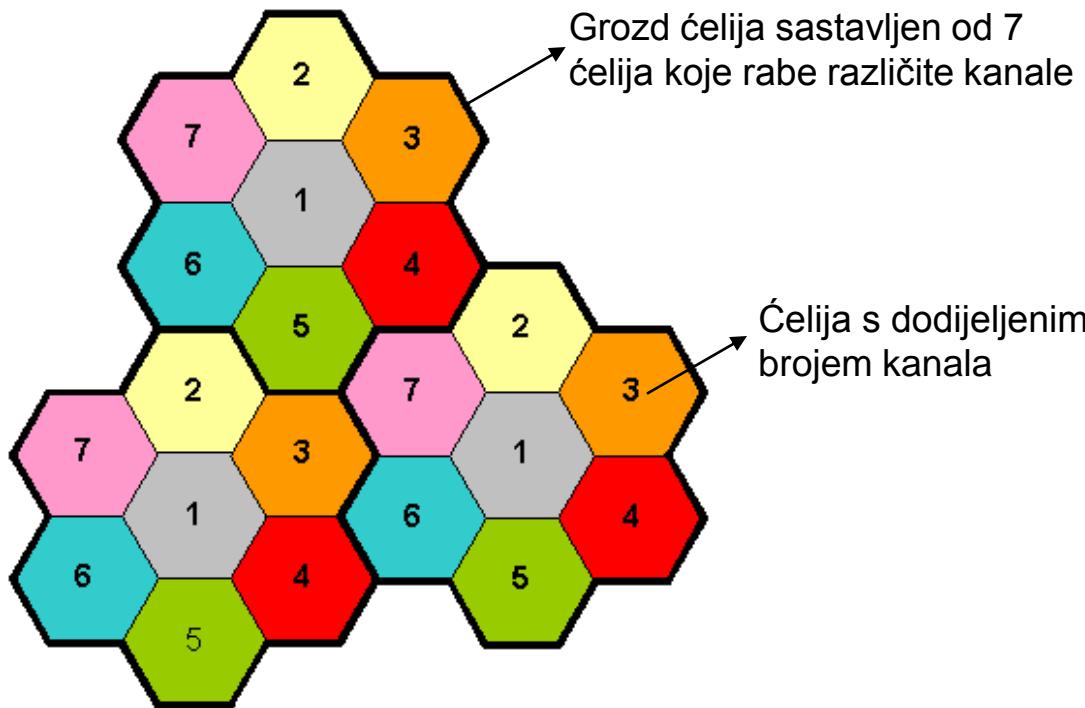
- U skladu s navedenom normom govori se o:
 - CS (*Central Station*) – bazna postaja, može biti jedna cjelina ili pak može sadržavati sljedeće dijelove:
 - CCS (*Central Controller Station*) – upravljački dio bazne postaje;
 - CRS (*Central Radio Station*) – radijski dio bazne postaje. Jedan CCS može kontrolirati više CRS.
 - TS (*Terminal Station*) – korisnička postaja, sadrži korisnička sučelja prema korisničkim uređajima.
 - Jedan TS može opsluživati više TE (*Terminal Equipment*) – korisničkih uređaja.
 - RS (*Repeater Station*) – repetitor;
 - SNI (*Service Node Interface*) – sučelje prema mrežnom čvoru (jezgrenoj mreži);
 - UNI (*User Network Interface*) – sučelje prema korisničkoj mreži.

Ćelijski sustav

- ćelija je područje koje bazna postaja pokriva radijskim signalom
- oblik i veličina ćelije ovise o frekvencijskom području, dijagramu zračenja antenskog sustava i izračenoj snazi bazne postaje
 - oblik ćelije aproksimira se krugom ili češće šesterokutom
- rubna se područja susjednih ćelija preklapaju
 - prekapčanje veze (*handover*) i kontinuirana komunikacija
- ograničenje u planiranju ćelijskog sustava je istokanalna smetnja (*interferencija*)
 - između ćelija koje rabe istu frekvenciju (kanal)
- skup ćelija kod kojeg su jednom iskorišteni svi raspoloživi kanali naziva se grozd ćelija (*cell cluster*)

Ćelijski sustav

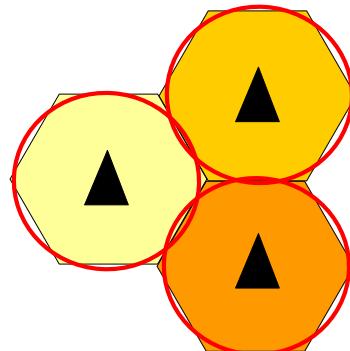
- zadatak ćelijskog planiranja
 - dodijeliti kanale ćelijama u grozdu te grozdovima pokriti određeno područje pazeći da razmak istokanalnih ćelija bude dovoljno velik kako bi istokanalna interferencija ostala u prihvatljivim granicama



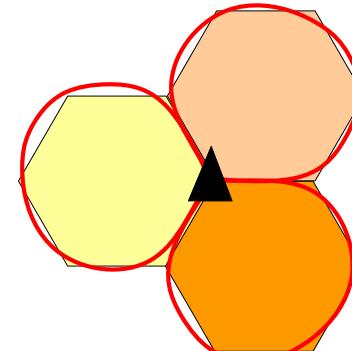
Ćelijski sustav

- a) Ćelija stvorena centralnim smještajem bazne postaje. Antene imaju omnidirekcijski (kružni) dijagram.
- b) Dijagram zračenja bazne postaje podijeljen u tri sektora. Svaki dio stvara svoju ćeliju - ušteda na infrastrukturi.
- c) Prikaz sektoriranja pojedinih centralnih ćelija (smanjenje istokanalne interferencije).

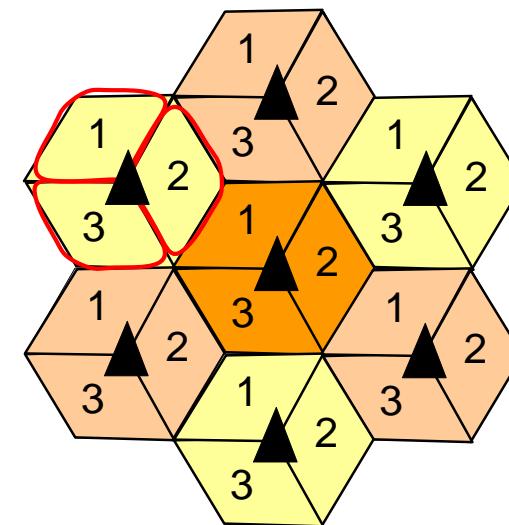
a)



b)

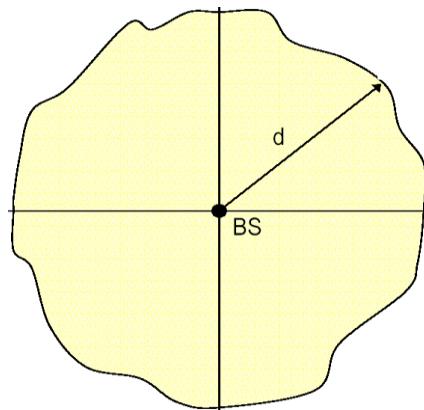


c)

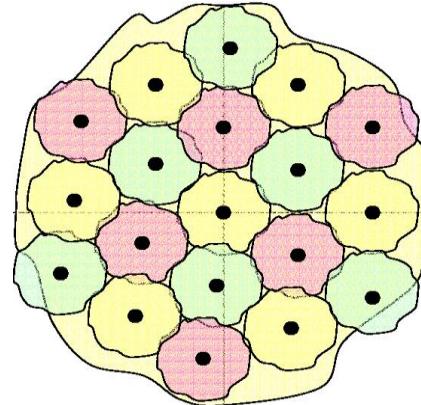


Ćelijski sustav

- uz definirani broj frekvencija (kanala) po ćeliji, ukupni kapacitet sustava na određenom području može se povećati smanjenjem ćelija
- primjer: neka jedan kanal opslužuje N korisnika

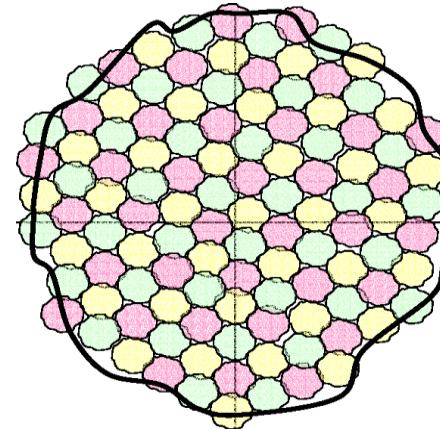


1 ćelija, 10 kanala
1x10xN korisnika



19 ćelija, svaka ćelija po 3 kanala
(ukupno 10 različitih kanala)
19x3xN korisnika

manje ćelije → povećanje kapaciteta

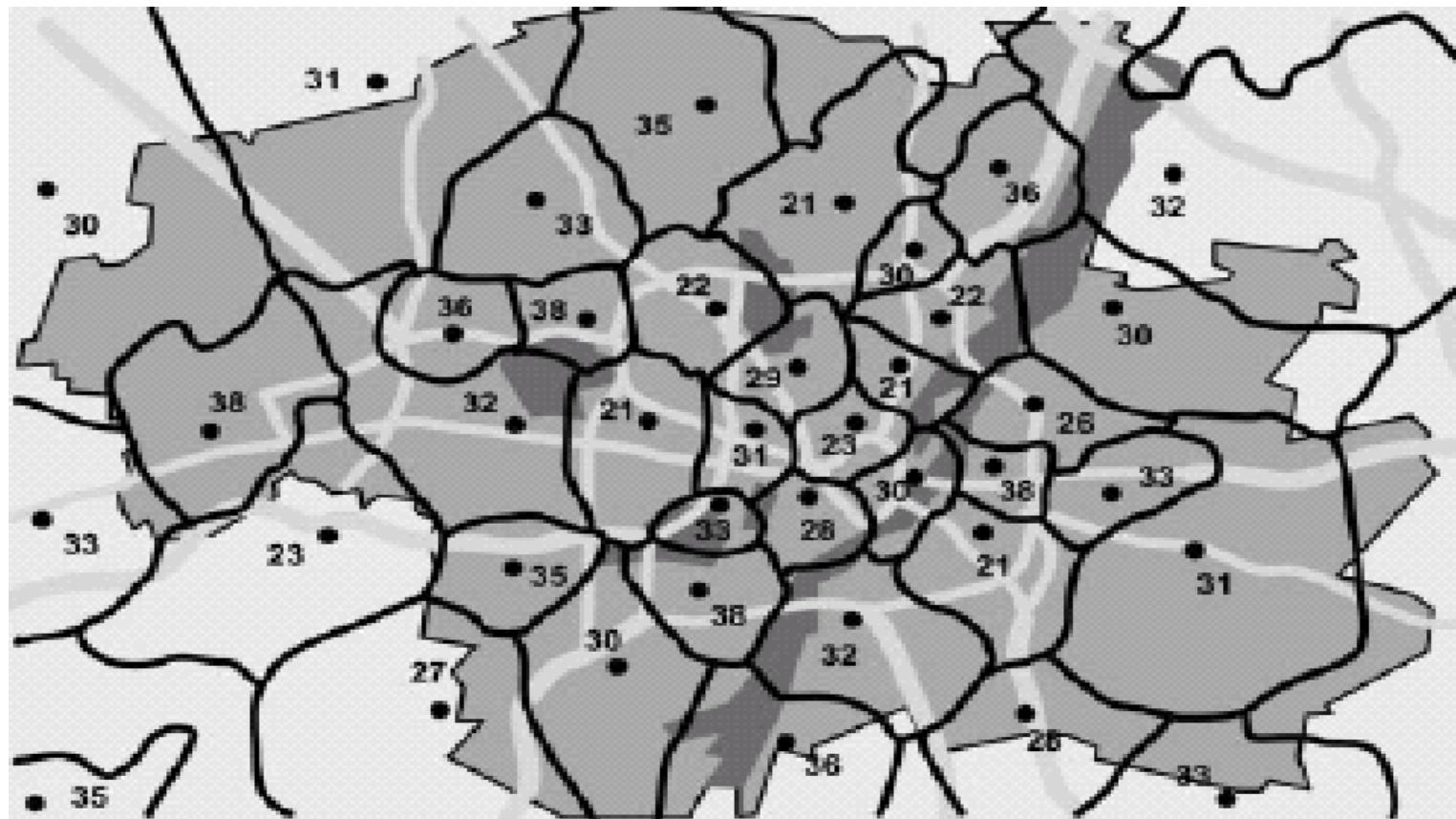


Veliki broj ćelija, svaka ćelija po 3 kanala (ukupno 10 različitih kanala)

Broj opsluživanja korisnika određen je brojem ćelija,
npr. broj ćelija = 36
36x3xN korisnika

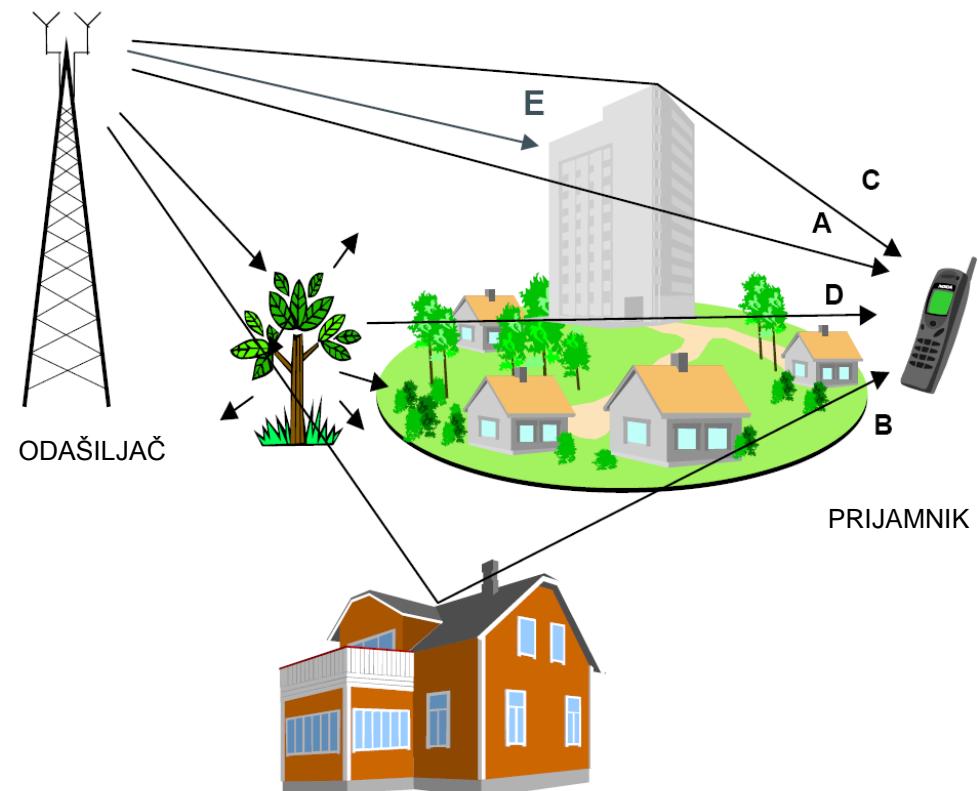
Ćelijski sustav

- stvarni oblik ćelija ovisi o konfiguraciji terena



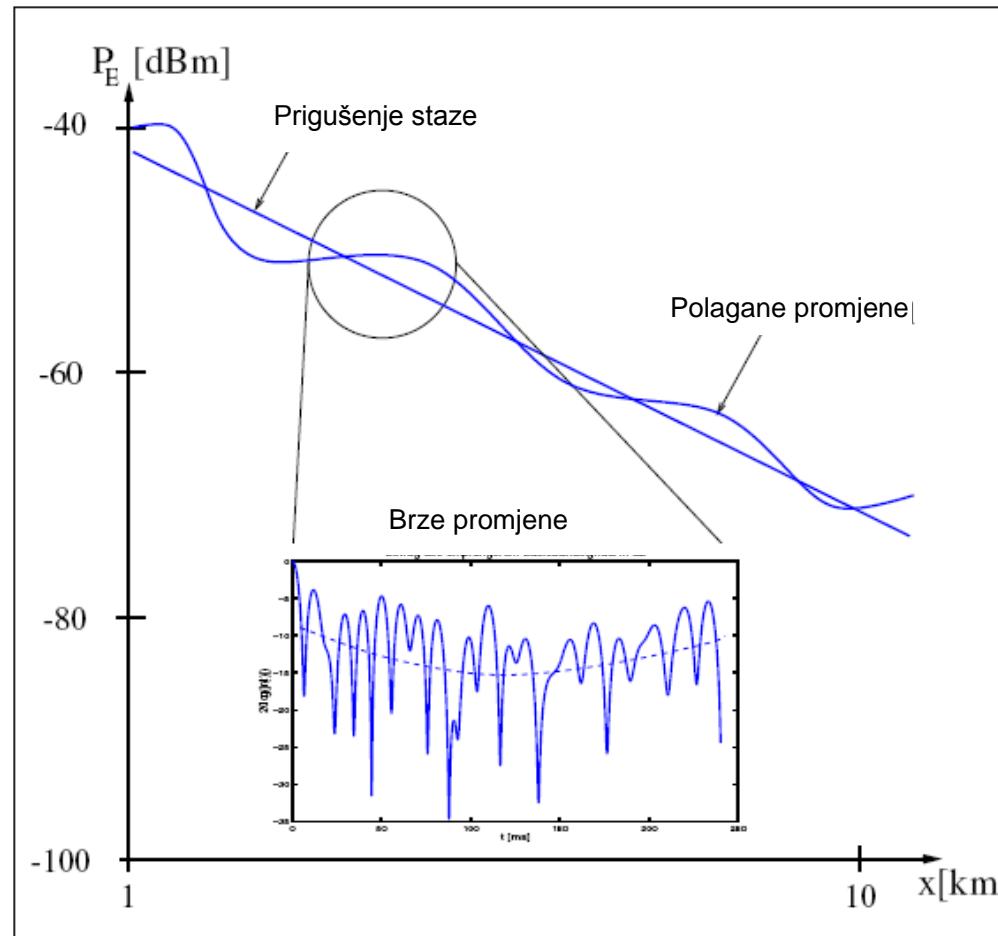
Mehanizmi širenja EM vala

- A) širenje kroz slobodan prostor
 - optička vidljivost
- B) refleksija
 - objekt je velik u usporedbi s valnom duljinom
- C) ogib (difrakcija)
- D) raspršenje
 - mali objekti, hrapava površina
- E) sjenjenje



Varijacijske prijamnog signala

- Prilikom propagacije dolazi do mijenjanja uvjeta širenja što dovodi do kolebanja prijamne razine.



Osnovni dijelovi radijskog sustava

- Radijsko sučelje
 - antene
 - odašilju elektromagnetski val u prostor, geometrijske dimenzije antene reda su veličine valne duljine (četvrtine do polovine).
 - izotropni radijator – antena koja u svim smjerovima zrači isto (ne postoji u praksi)
 - definira se efektivna izotropna izračena snaga $EIRP$ koja uzima u obzir i dobitak antene u odnosu na izotropni radijator. To je ustvari izračena snaga odašiljača u smjeru maksimalnog zračenja antene.
 - $EIRP = G \times P$, računa se i u decibelima ($EIRP [dB] = 10\log EIRP$)
 - karakteristike antena:
 - polarizacija (orientacija vektora električnog polja)
 - dijagram zračenja (raspored intenziteta zračenja u prostoru)
 - impedancija
 - usmjerenost (odnos intenziteta zračenja u pojedinom smjeru u odnosu na izotropni radijator)
 - dobitak (vezano uz usmjerenost no uključeni su i gubici), G
 - efektivna površina
 - temperatura šuma
 - razne mehaničke i ostale karakteristike

Osnovni dijelovi radijskog sustava

- odašiljač (snaga odašiljača)
- prijamnik
 - termički šum (ovisi o temperaturi okoline, na prijamnoj anteni)
 - gustoća snage spektra termičkog šuma

$$N_0 = kT_e \quad k \text{ Boltzmannova konstanta, } T_e \text{ temperatura}$$

- gustoća snage šuma za prosječnu temperaturu je $N_0 = -174 \text{ dBm/Hz}$
- ukupna snaga šuma ovisi o širini pojasa B (Hz)

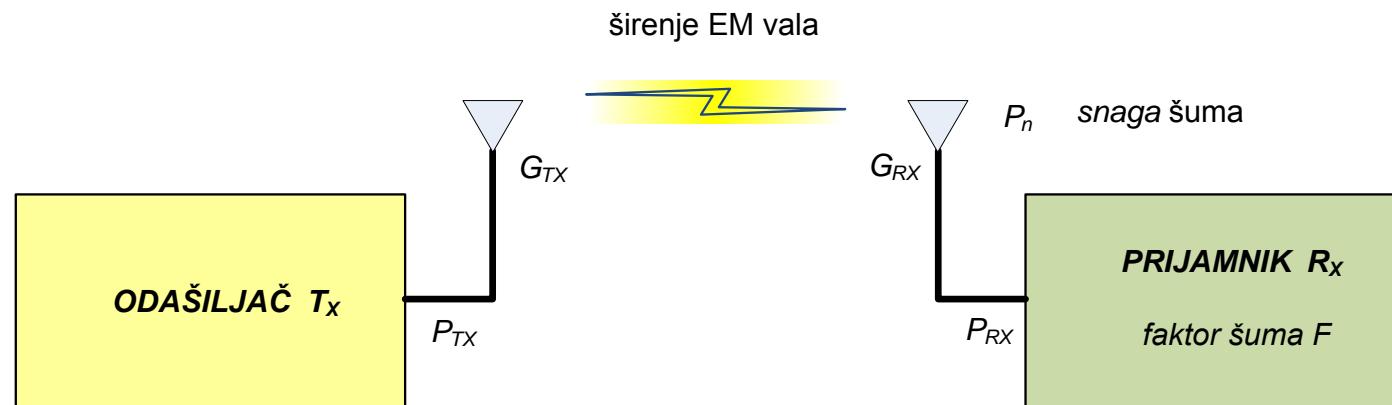
$$P_n = N_0 B \Rightarrow -174 + 10 \log B \quad \text{dBm}$$

- faktor šuma F
 - veličina koja pokazuje koliko vlastitog šuma dodaje prijamnik u procesu prijama

Osnovni dijelovi radijskog sustava

- osjetljivost prijamnika

- odnosi na najmanju razinu signala na ulazu u prijamnik pri kojoj se zadržavaju parametri kvalitete prijama (tipično oko -100 dBm)
- proizvođači opreme znaju skrivati ili preuveličavati ove podatke
- na sveukupnu osjetljivost prijamnika utječe:
 - širina pojasa prijamnika
 - faktor šuma prijamnika
 - vrsta modulacije signala
 - vrsta kodiranja



Proračun veze

- Najjednostavniji način proračuna područja pokrivanja bazne postaje osniva se na uporabi Friisove prijenosne jednadžbe (gušenje slobodnog prostora, $n=2$):

$$P_{\text{pr}} = P_{\text{od}} G_{\text{od}} G_{\text{pr}} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^n , \quad n = 2$$

- logaritamski zapis

$$10 \log \left(\frac{P_{\text{pr}}}{P_{\text{od}}} \right) = G_{\text{od}} [\text{dB}] + G_{\text{pr}} [\text{dB}] + n \cdot 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right), \quad n = 2$$

- P_{od} snaga odašiljača, P_{pr} snaga na prijamnoj anteni, λ valna duljina, R udaljenost između odašiljačke i prijamne antene, a G_{od} i G_{pr} su dobitci odašiljačke i prijamne antene
- mnogi komplikiraniji modeli (naročito oni izvedeni iz mjernih rezultata) pokušavaju koristiti Friisovu jednadžbu u kojoj se umjesto kvadratne zavisnosti uvodi neki novi koeficijent n (nije mu vrijednost 2)

Proračun veze

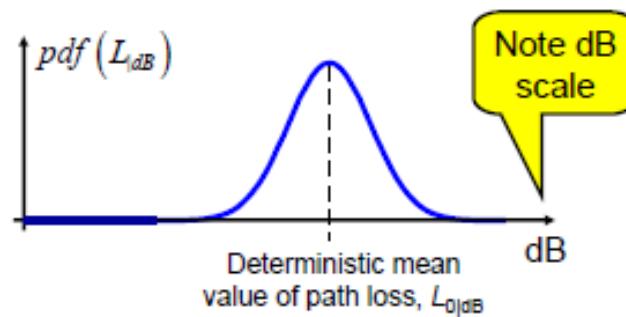
- U slučaju FWA sustava navedenoj formuli dodaju se dodatna gušenja uslijed učinka zasjenjenja. Ta dodatna gušenja (mjereno u dB) imaju normalnu razdiobu (**znači imamo log-normalnu razdiobu**) s određenom srednjom vrijednosti i standardnom devijacijom (σ). Za suburbana područja u literaturi se nalazi podatak da je $\sigma = 9,6$ dB (podatak dobiven mjeranjima na terenu). Uz 90% pokrivenosti na rubu područja (obično to žele operatori) iz navedene standardne devijacije slijedi da su granice zalihosti (rezerva fedinga) 12,3 dB tj. za toliki iznos treba uvećati prijenosnu jednadžbu.

Source	Frequency (GHz)	Path Loss Exponent n	σ (dB)	Comments
Seidel [23]	0.9	2.8	9.6	Suburban (Stuttgart)
Erceg [13]	1.9	4.0	9.6	Terrain-category B
Feuerstein [24]	1.9	2.6	7.7	Medium antenna height
Abhayawardhana [25]	3.5	2.13	6.7–10	Ref. 25, tables 2 and 3
Durgin [26]	5.8	2.93	7.85	Ref. 26, figure 7, residential
Porter [27]	3.7	3.2	9.5	Some denser urban
Rautiainen [28]	5.3	4.0	6.1	Ref. 28, figures 3 and 4
Schwengler [29]	5.8	2.0	6.9	LOS
	5.8	3.5	9.5	NLOS
	3.5	2.7	11.7	See Section 5.3.4
Average	3.5–5.8	3.0	8.7	

Summary of values for various frequencies reported for suburban or residential areas.

Kako računati rezervu (marginu) fedinga

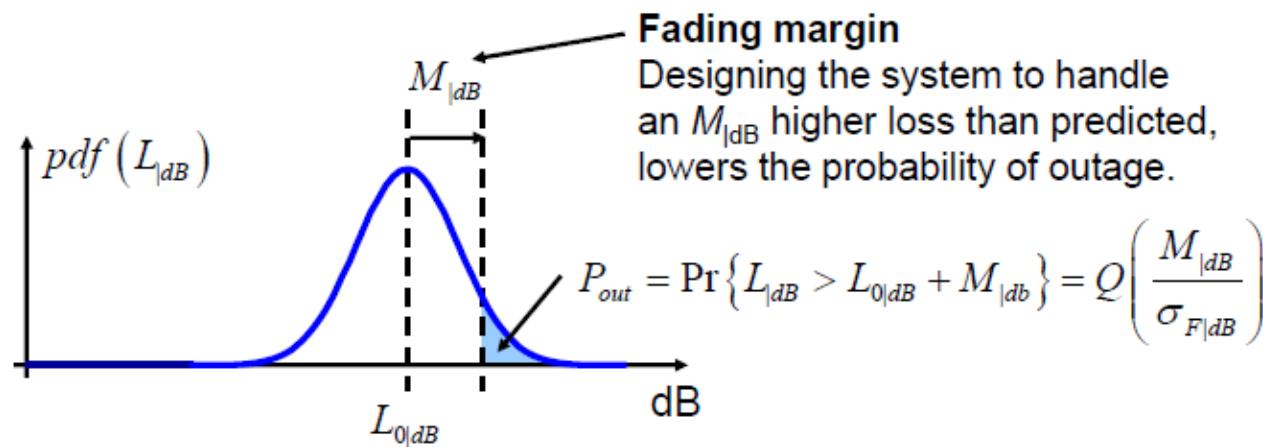
- Prepostavka: feding ima log-normalnu razdiobu
 - Propagacijskim modelima izračunavamo **medijan** gušenja (L_{50})
 - To je prigušenje koje nije veće za 50% lokacija na danoj udaljenosti
 - Sveukupno gušenje uz spori feding postaje slučajna varijabla oblika:
- $$L = L_{50} + L_s$$
- L_s je slučajna varijabla sa srednjom vrijednošću nula te standardnom devijacijom σ
 - σ se kreće obično u rasponu od 4 do 10 dB



$$pdf(L_{dB}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{F|dB}} \exp\left(-\frac{(L_{dB} - L_{0|dB})^2}{2\sigma_{F|dB}^2}\right)$$

Kako računati rezervu (marginu) fedinga

- Povećavanje rezerve fedinga smanjuje **vjerojatnost ispada** (*probability of outage*) tj. smanjuje vjerojatnost da će prijamnik primiti premalu snagu signala i neće ispravno raditi



- Plava površina ispod krivulje – vjerojatnost ispada; bijela površina – pouzdanost na udaljenosti d

Kako računati rezervu (marginu) fedinga

- Tabelarni prikaz Q funkcije

X	Q(x)
4.265	0.00001
4.107	0.00002
4.013	0.00003
3.944	0.00004
3.891	0.00005
3.846	0.00006
3.808	0.00007
3.775	0.00008
3.746	0.00009
3.719	0.00010
3.540	0.00020
3.432	0.00030
3.353	0.00040
3.291	0.00050
3.239	0.00060
3.195	0.00070
3.156	0.00080
3.121	0.00090

X	Q(x)
3.090	0.00100
2.878	0.00200
2.748	0.00300
2.652	0.00400
2.576	0.00500
2.512	0.00600
2.457	0.00700
2.409	0.00800
2.366	0.00900
2.326	0.01000
2.054	0.02000
1.881	0.03000
1.751	0.04000
1.645	0.05000
1.555	0.06000
1.476	0.07000
1.405	0.08000
1.341	0.09000

X	Q(x)
1.282	0.10000
0.842	0.20000
0.524	0.30000
0.253	0.40000
0.000	0.50000

Očitanje za vjerojatnost
ispada od 10%
(tj. pouzdanost od
90%)

$M = \sigma \cdot x \rightarrow$ REZERVA
FEDINGA



Očitanje za vjerojatnost
ispada od 5%
(tj. pouzdanost od
95%)

Proračun uzlazne veze

Parametar	Jedinica	Izraz	BPSK 1/2	64-QAM 3/4
Brzina prijenosa	Mbit/s	r	1,4	12,7
Snaga korisničke postaje	dBm	A	23,0	23,0
Dobitak antene korisničke postaje	dBi	B	18,0	18,0
Gubici u kabelu korisničke postaje	dB	C	0	0
Odaslani EIRP korisničke postaje	dBm	$D=A+B-C$	41,0	41,0
Dobitak antene bazne postaje	dBi	E	17,0	17,0
Gubici u kabelu bazne postaje	dB	F	1,0	1,0
Gustoća toplinskog šuma	dBm/Hz	$10 \times \log(kT) + 30$	-174,0	-174,0
Širina kanala	MHz	G	3,5	3,5
Toplinski šum u kanalu	dBm	$H = 10 \times \log(kTG) + 90$	-108,6	-108,6
Šum bazne postaje	dB	I	4,0	4,0
Prag šuma bazne postaje	dBm/Hz	$J=H+I$	-104,6	-104,6
Traženi omjer S/N	dB	K	6,4	24,4
Zalihost za smetnje	dB	L	0	0
Osjetljivost bazne postaje	dBm	$M=J+K+L$	-98,2	-80,2
Dobitak uslijed diverzitija	dB	N	0	0
Ukupan dobitak cijelog sustava	dB	$Q=D+E-F-M+N$	155,2	137,2
Standardna devijacija log-normalne razdiobe	dB	σ	9,6	9,6
Zalihost uslijed sjenjenja	dB	O	12,3	12,3
Gubici širenja kroz zgradu	dB	P	0	0
Maksimalni gubici uzlazne veze	dB	$R=D+E-F-M+N-O-P$	142,9	124,9

Proračun uzlazne veze

- napomena:
 - proračun uzlazne veze napravljen je za WiMAX u području 3,5 GHz, širine kanala 3,5 MHz, antena korisničke postaje je na otvorenom prostoru
 - proračun je prikazan za BPSK modulaciju s omjerom koda 1/2 i 64-QAM modulaciju s omjerom koda 3/4 (najmanja i najveća brzina prijenosa).

Planiranje sustava

- Da bi sustav u cjelini bio funkcionalan i ekonomski isplativ, potrebno je, pored radiofrekvencijskog planiranja, razmotriti i sljedeće zahtjeve na:
 - karakteristike i izbor opreme, izbor lokacije i utvrđivanje vlasništva objekata, izbor sustava sa stanovišta korisničkih potreba, način izgradnje
 - međupovezivanje (*interconnection*), napajanje i održavanje.
- Postoji pet osnovnih aspekata planiranja realnog komunikacijskog sustava:
 - cijena (*Cost*), pokrivenost (*Coverage*), kapacitet (*Capacity*), kompleksnost (*Complexity*) i smetnja (*C/I*).

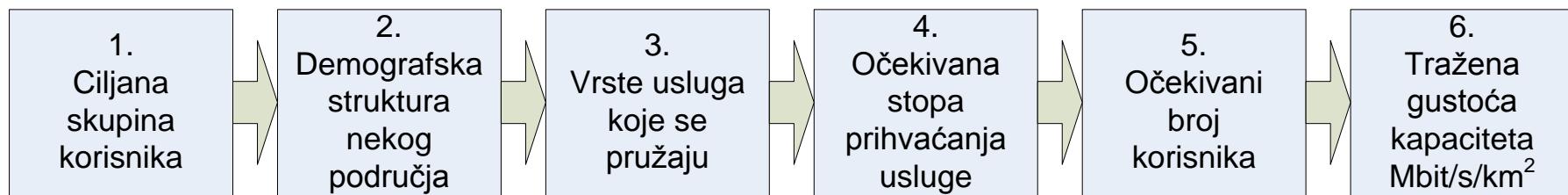
Kapacitet sustava (brzina prijenosa)

- Trenutni kapacitet ovisi o jako puno faktora: upotrijebljenoj modulaciji, zaštitnom kodiranju, ugrađenoj opremi, uvjetima propagacije, širini kanala... Svi ti parametri se dinamički mijenjaju tako da kapacitet u stvari stalno varira. Može se govoriti samo o prosječnim vrijednostima.
- Maksimalni kapacitet WiMAX-a u području 3,5 GHz za kanal širine 3,5 MHz i FDD način rada (orientacijske vrijednosti)

Modulacija	Osjetljivost (dBm)	SNR (dB)	Teorijska brzina (Mbit/s)	Stvarna brzina (Mbit/s)
BPSK, 1/2	-90,6	6,4	1,41	0,86
BPSK, 3/4	-88,6	8,5	2,1	1,28
QPSK, 1/2	-87,6	9,4	2,82	1,72
QPSK, 3/4	-85,8	11,2	4,23	2,58
16-QAM, 1/2	-80,6	16,4	5,64	3,44
16-QAM, 3/4	-78,8	18,2	8,47	5,16
64-QAM, 2/3	-74,3	22,7	11,29	6,88
64-QAM, 3/4	-72,6	24,4	12,71	7,74

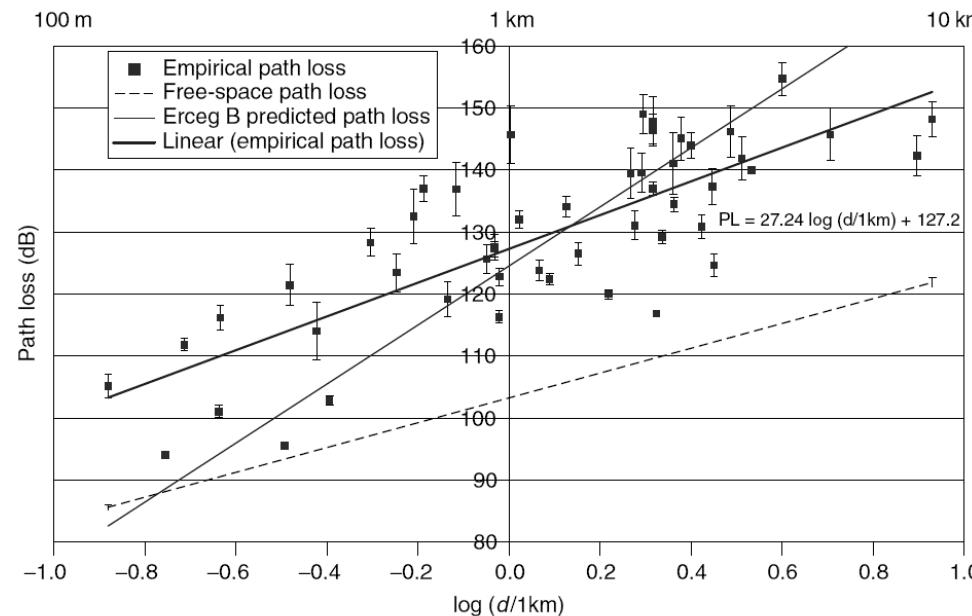
Kapacitet sustava

- Gledajući s perspektive operatora, limitiranost je znatno veća zbog ograničenog kapaciteta nego zbog područja pokrivanja. To znači da operatori moraju predvidjeti strukturu korisnika i vrstu usluge koja im je namijenjena (privatni korisnici, poduzeća), njihovu gustoću na nekom području i očekivani stupanj korištenja kao i buduća očekivanja. Tada oni planiraju u biti gustoću kapaciteta po nekoj određenoj površini. Na osnovu toga raspoređuju se bazne postaje.
- Određivanje zahtjeva za traženu gustoću kapaciteta



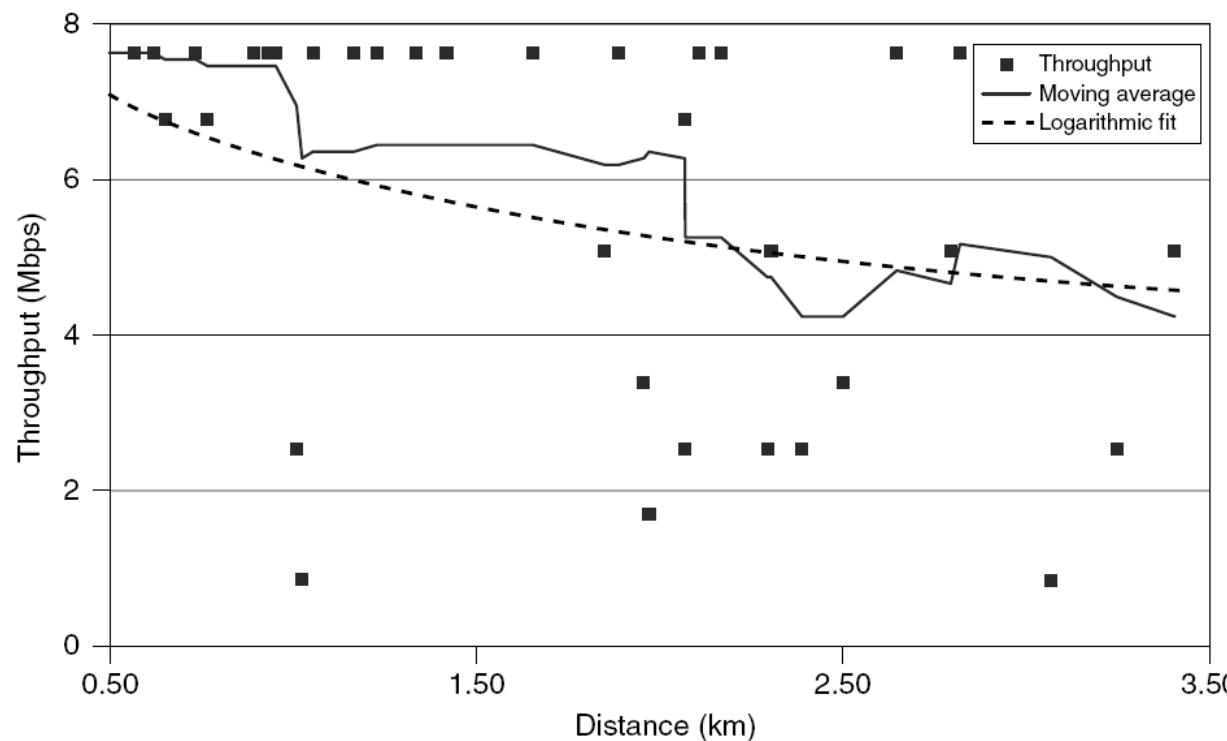
Ispitna mjerena

- Prije samog lociranja baznih postaja, često puta se rade ispitna mjerena na terenu. Na osnovu rezultata tih mjerena mogu se modelirati odgovarajući modeli pomoću kojih se računaju područja pokrivanja. Empirijski izraz se dobije na temelju minimalnog kvadrata pogreške između mjerenih vrijednosti i linearног modela.
- Empirijski model prigušenja staze dobiven na osnovu ispitnih mjerena



Ispitna mjerena

- Također se rade mjerena propusnosti slanja podataka (kapaciteta) u ovisnosti o udaljenosti od bazne postaje. Na osnovu tih mjerena radi se empirijski model ovisnosti kapaciteta o udaljenosti od bazne postaje.

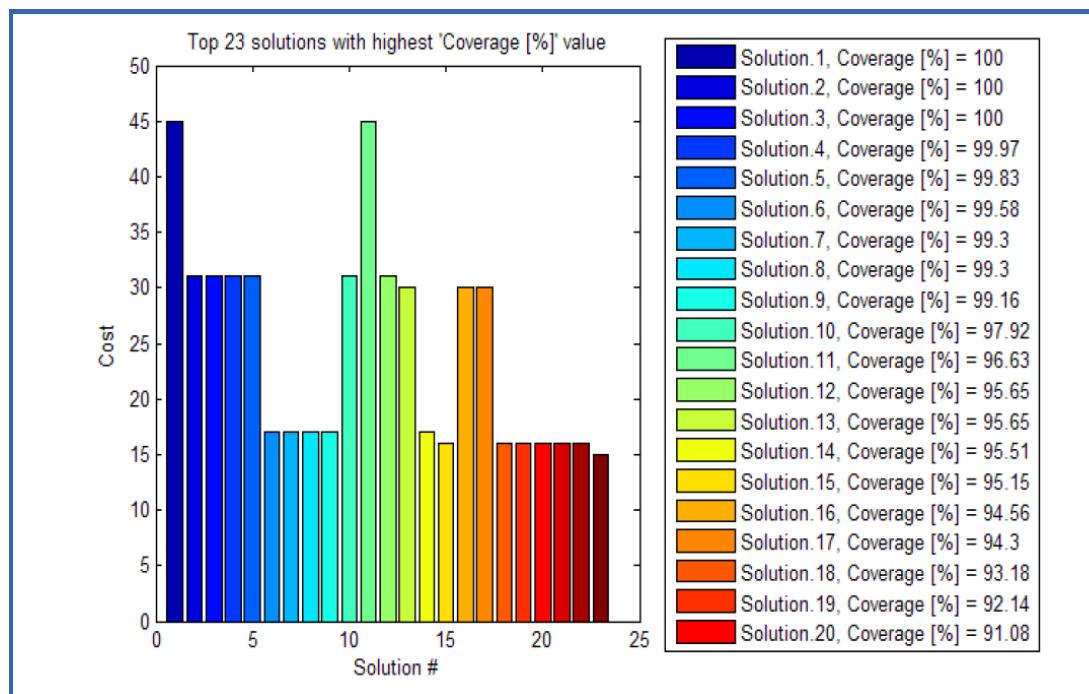


Korištenje programske podrške

- Danas projektantima stoji na raspolaganju mnoštvo korisničkih programskih paketa pomoću kojih mogu optimizirati izgradnju cjelokupne radijske mreže.
- Koraci prilikom projektiranja
 - Prilikom korištenja programskih paketa, projektanti također na početku moraju definirati željeno pokrivanje, željene iznose kapaciteta, očekivane promete, kapacitet mreže na koju se spajaju bazne postaje, dozvoljene troškove.
 - Na početku procesa optimiranja mreže ugrubo se odrede neke poželjne lokacije (važno iskustvo projektanata) baznih postaja. Nakon toga odaberu se kontrolne točke u kojima se želi ostvariti određena brzina prijenosa ili razina signala. Pomoću tih ulaznih podataka programski paketi računaju listu najpovoljnijih lokacija baznih postaja koje zadovoljavaju postavljene zahtjeve.

Korištenje programske podrške

- Primjer rangiranja mogućih lokacija baznih postaja po kriteriju ostvarene pokrivenosti

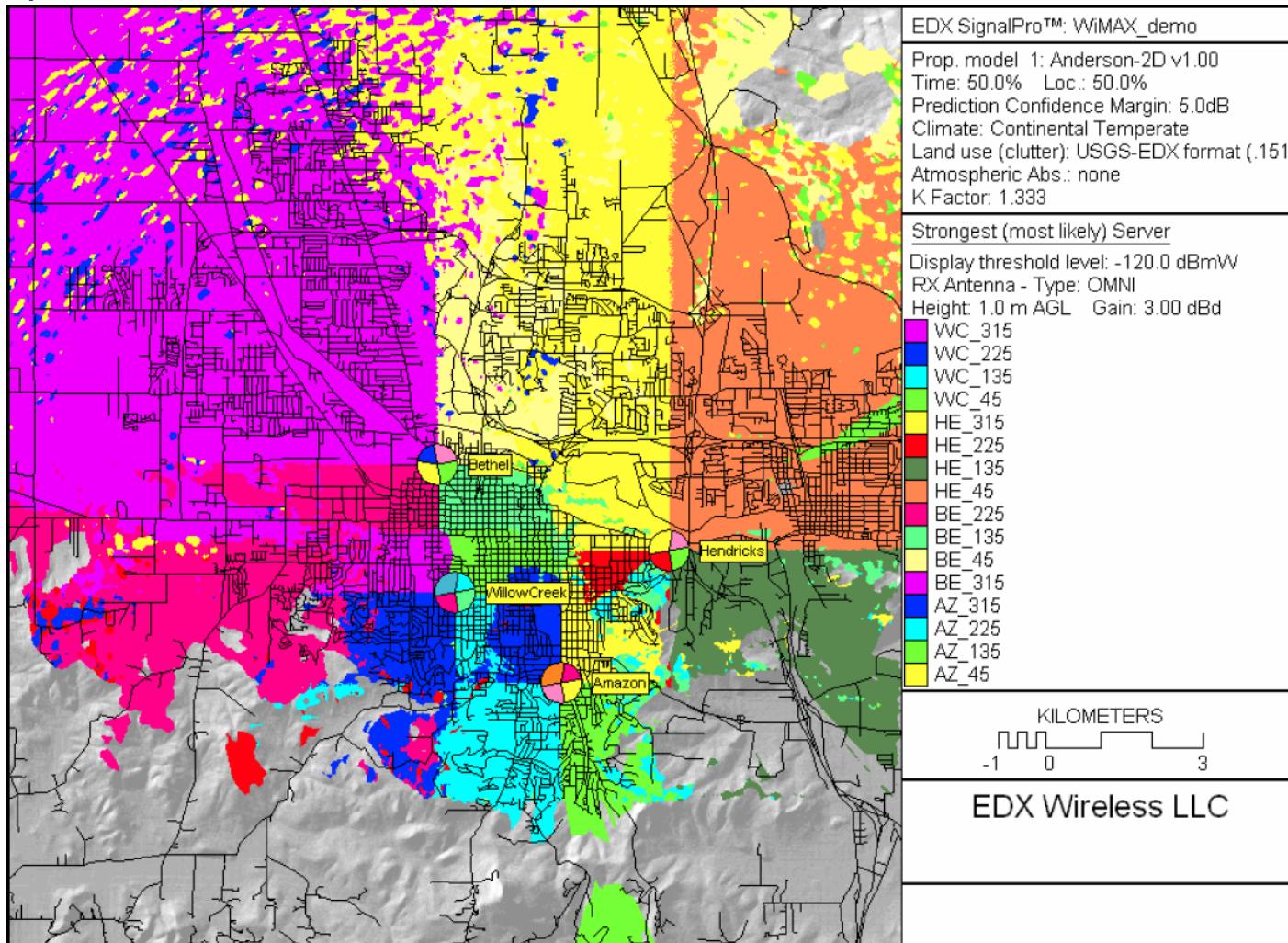


Korištenje programske podrške

- Umješnost projektanata sastoji se u tome da suze izbor ponuđenih rješenja na osnovu prije utvrđenih kriterija. Kad je ovaj inicijalni dio posla gotov, pristupa se detaljnijem planiranju koje uključuje točne dijagrame zračenja, visine antena, sektoriziranje. U konačnici se dobiju rezultati koji za odabране lokacije baznih postaja daju područja pokrivanja i moguće brzine prijenosa.
- U nastavku će se prikazati primjeri za 4 lokacije od kojih svaka ima 4 sektora.

Korištenje programske podrške

- Prikaz područja pokrivanja sektora baznih postaja dobiven programskom podrškom



Korištenje programske podrške

- Prikaz mogućih brzina prijenosa dobiven programskom podrškom

