

# Radijske pristupne mreže

Doc. dr. sc. Gordan Šišul

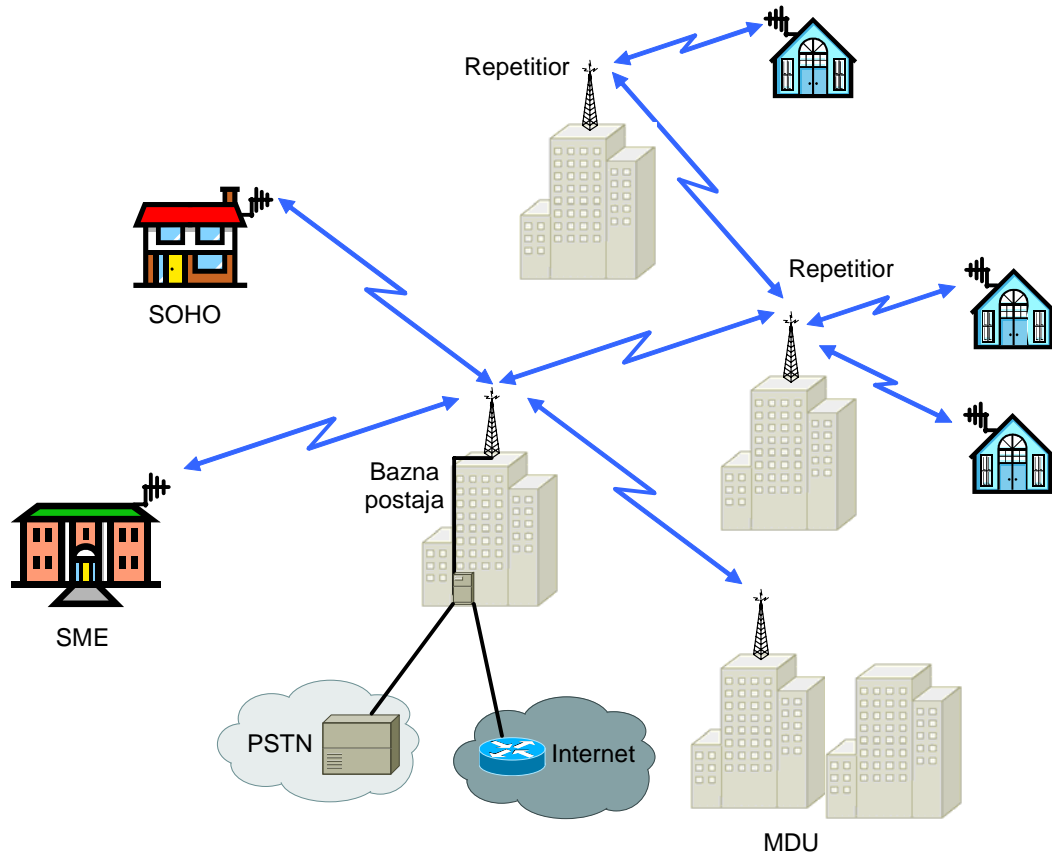
# Radijske mreže gradskih područja

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

# Arhitektura mreže

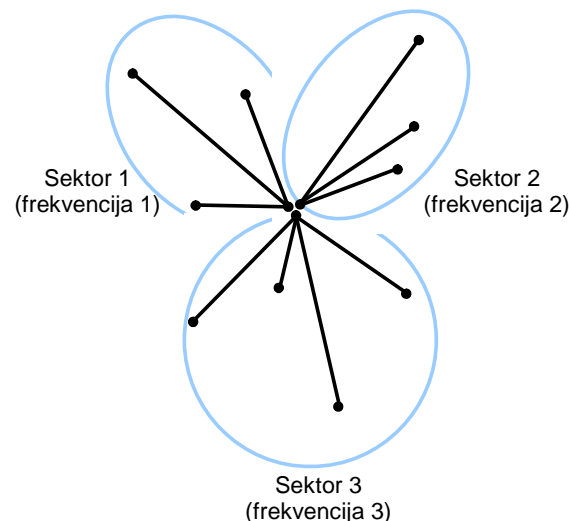
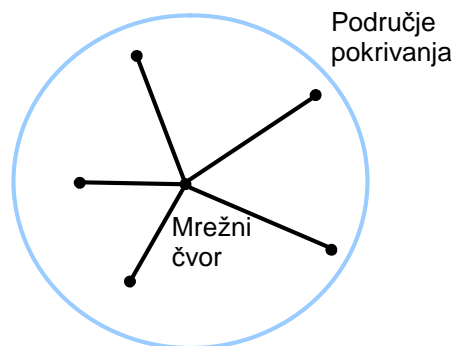
- Dominantno P2MP mreže (veza točka-više točaka)
  - Bazna postaja sadrži odašiljačku/prijamnu opremu za odašiljanje/prijam signala do/od korisničke opreme ili repetitora, te uređaje koji omogućavaju povezivanje P2MP sustava na jezgrenu mrežu. Bazna postaja može za različite smjerove rabiti usmjerene 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

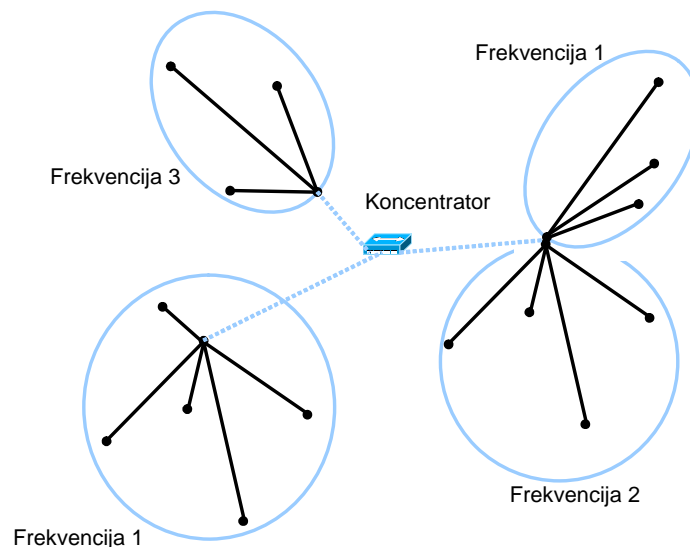
- bez podjele u sektore
- podjela područja pokrivanja na sektore (3)



- 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

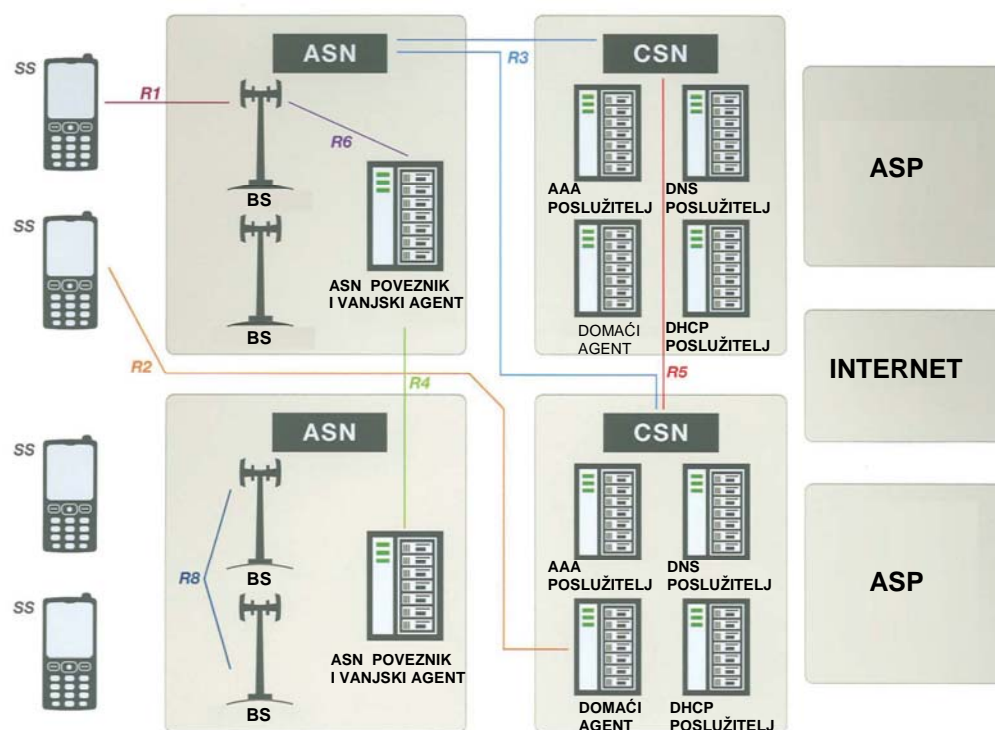
- Čelijska mreža nastala povezivanjem više P2MP sustava



- 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

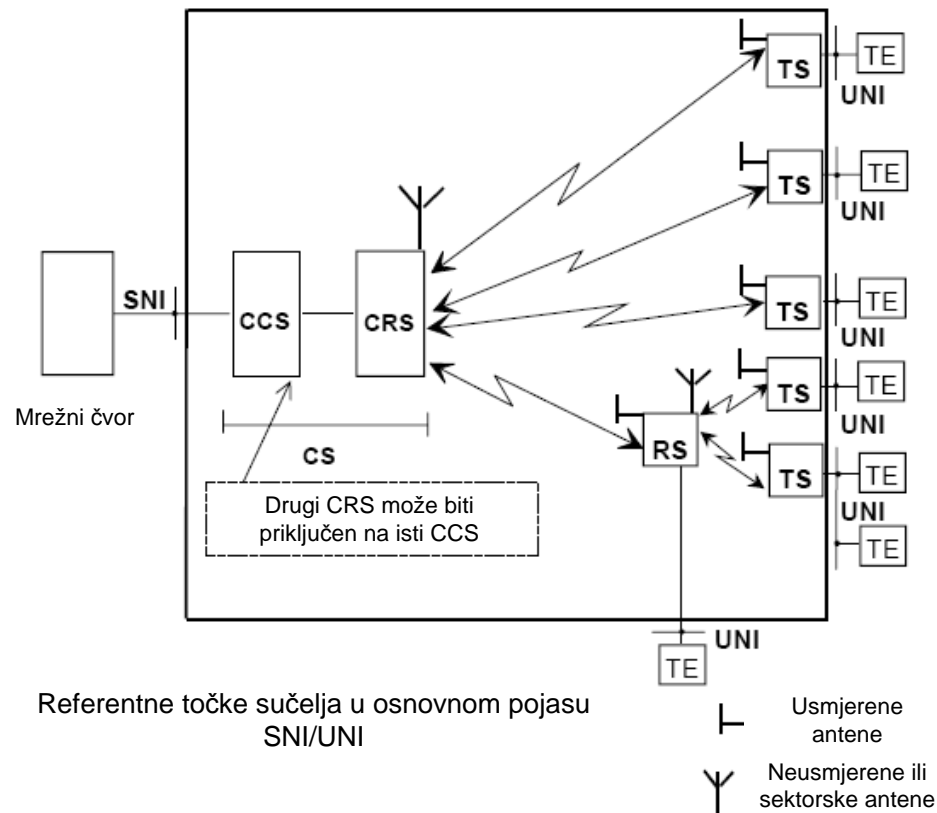


# Mrežna arhitektura mobilnog WiMAX-a

- 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

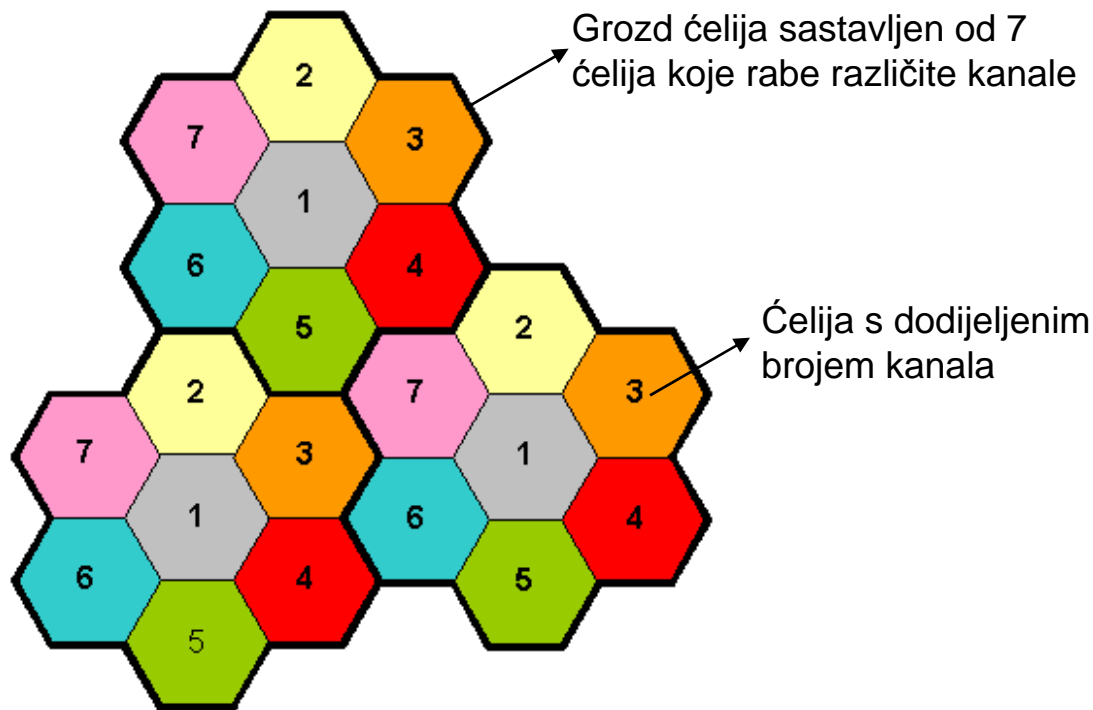
- U skladu s navedenom normom govori se o:
  - CS (*Central Station*) – bazna postaja, može biti jedna cjelina ili pak može sadržavati sljedeće dijelove:
    - CCS (*Central Controller Station*) – upravljački dio bazne postaje;
    - CRS (*Central Radio Station*) – radijski dio bazne postaje. Jedan CCS 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

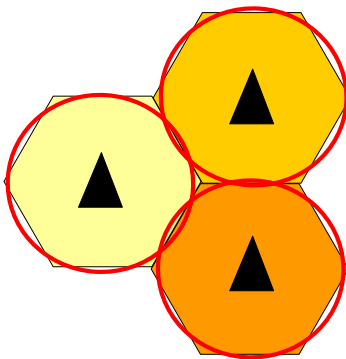
- zadatak ćelijskog planiranja
  - dodijeliti kanale ćelijama u grozdu te grozdovima pokriti određeno područje pazeći da razmak istokanalnih ćelija bude dovoljno velik kako bi istokanalna interferencija ostala u prihvatljivim granicama



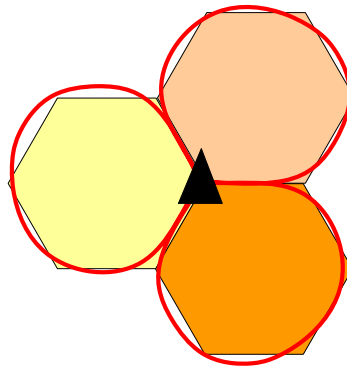
# Ćelijski sustav

- 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).

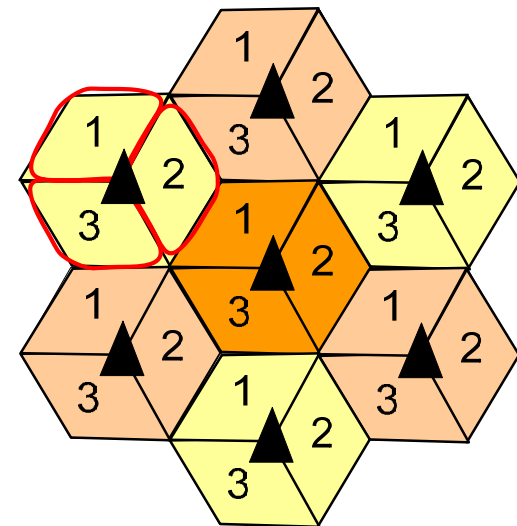
a)



b)

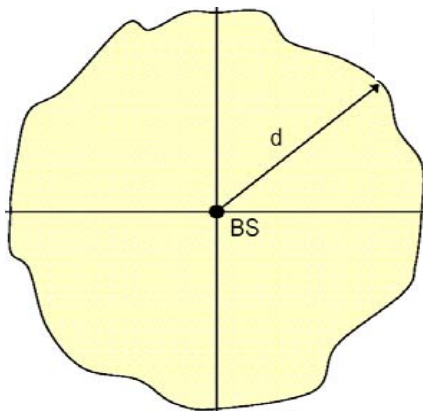


c)

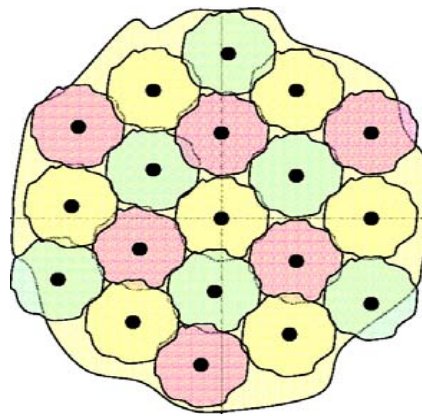


# Ćelijski sustav

- 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



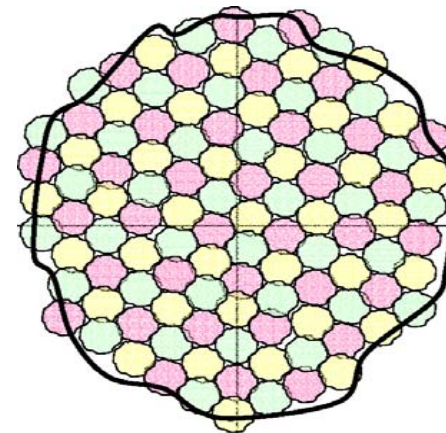
1 ćelija, 10 kanala  
**1x10xN korisnika**



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

**19x3xN korisnika**

manje ćelije → povećanje kapaciteta



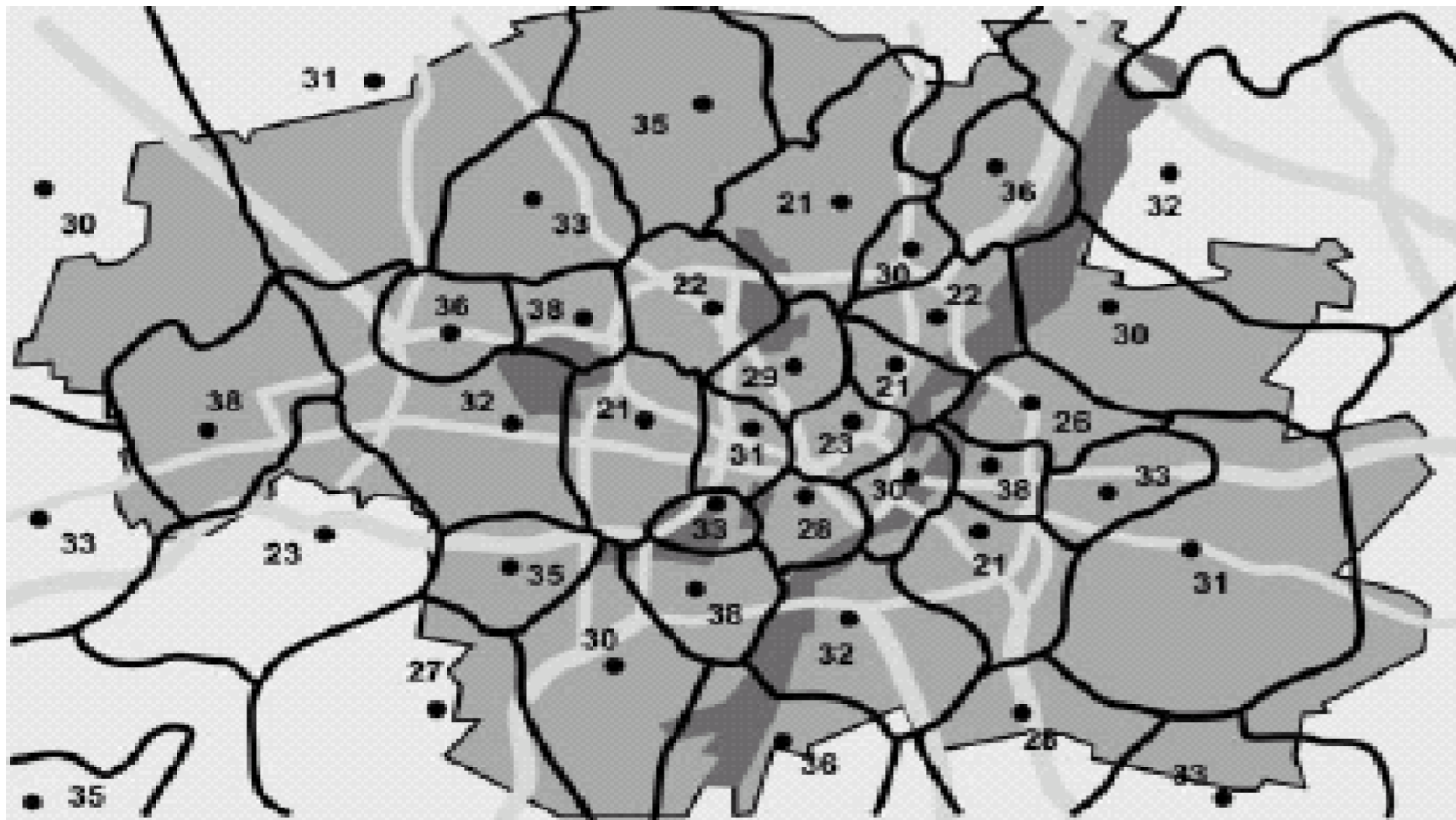
Veliki broj ćelija, svaka ćelija po 3 kanala  
(ukupno 10 različitih kanala)

**Broj opsluživanja korisnika  
određen je brojem ćelija,**

npr. broj ćelija = 36  
36x3xN korisnika

# Ćelijski sustav

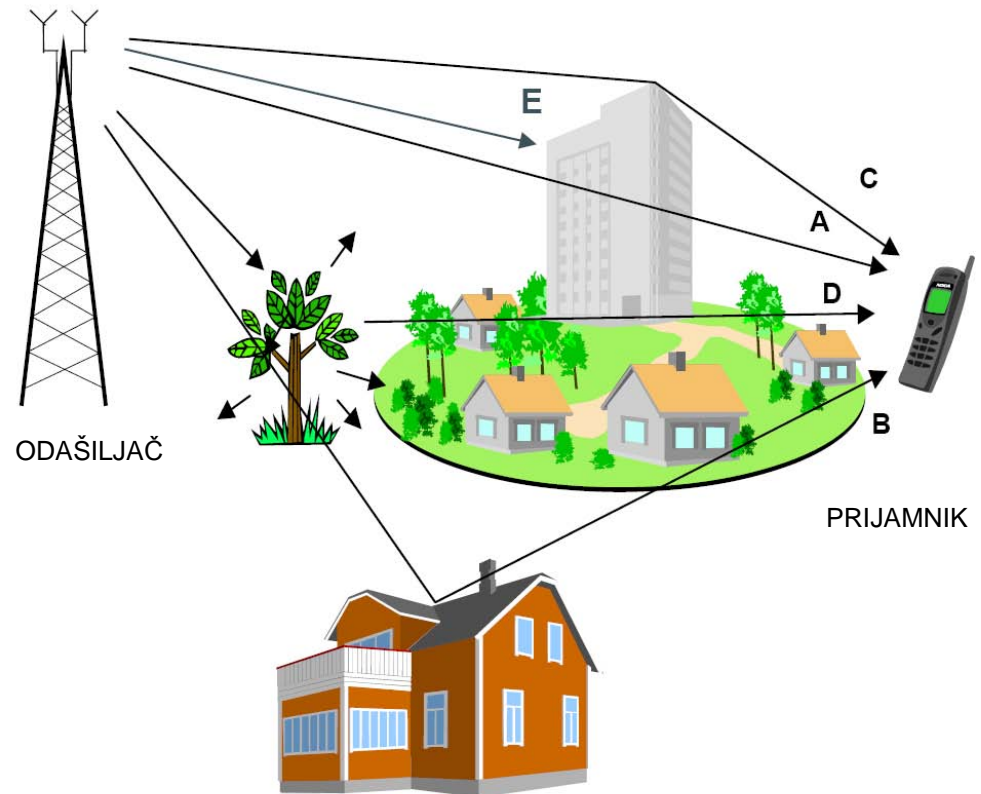
- stvarni oblik ćelija ovisi o konfiguraciji terena





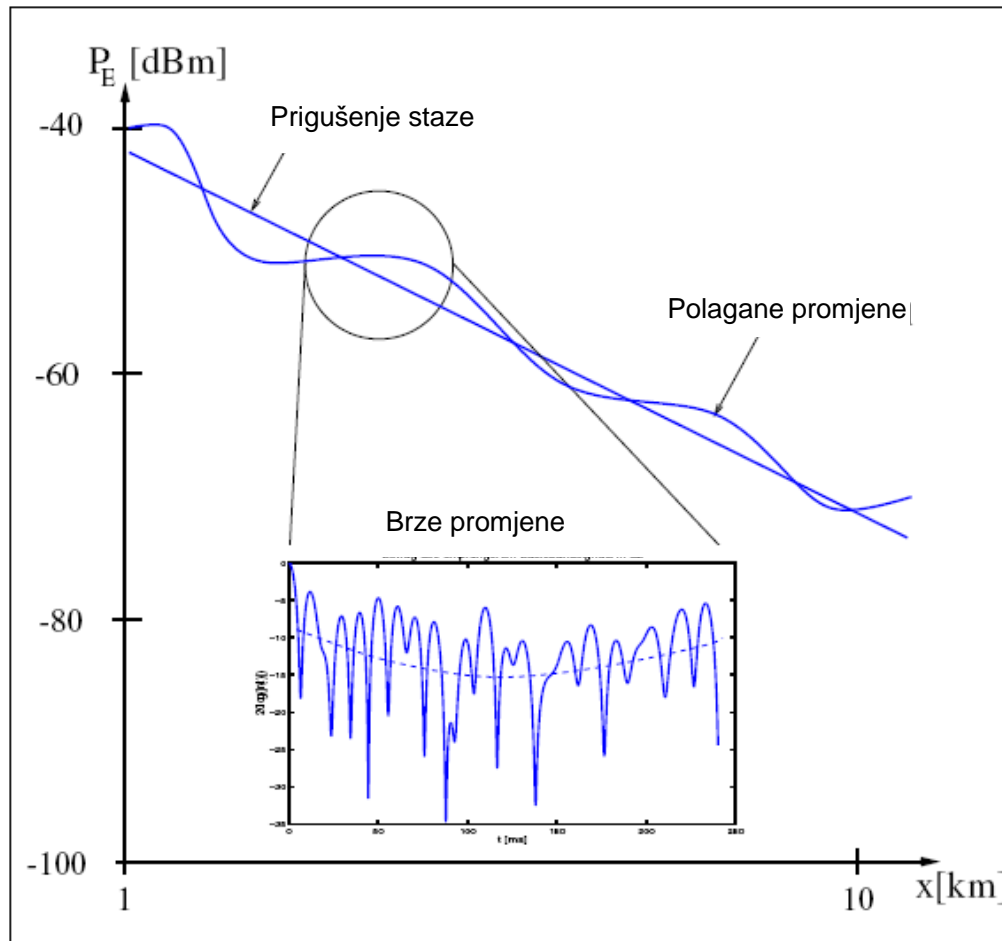
# Mehanizmi širenja EM vala

- 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



# Varijacije 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 (orijentacija 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

$N_0 = kT_e$   $k$  Boltzmannova konstanta,  $T_e$  temperatura

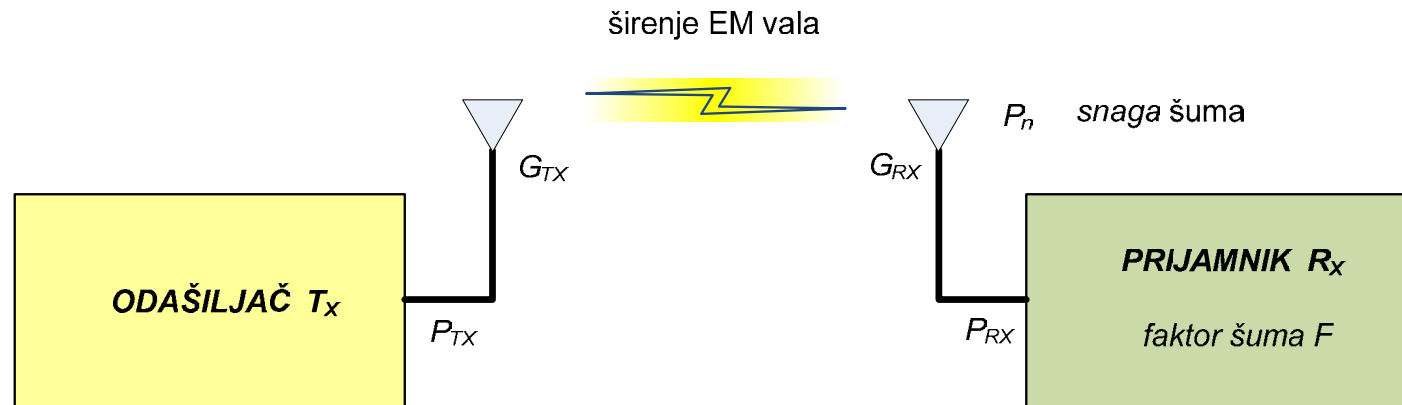
- gustoća snage šuma za prosječnu temperaturu je  $N_0 = -174$  dBm/Hz
- ukupna snaga šuma ovisi o širini pojasa  $B$  (Hz)

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

- 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

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

- $P_{\text{od}}$  snaga odašiljača,  $P_{\text{pr}}$  snaga na prijamnoj anteni,  $\lambda$  valna duljina,  $R$  udaljenost između odašiljačke i prijamne antene, a  $G_{\text{od}}$  i  $G_{\text{pr}}$  su dobitci odašiljačke i prijamne antene
- mnogi kompliciraniji 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 ( $\sigma$ ). Za suburbana područja u literaturi se nalazi podatak da je  $\sigma = 9,6$  dB (podatak dobiven mjerenjima na terenu). Uz 90% pokrivenosti na rubu područja (obično to žele operatori) iz navedene standardne devijacije slijedi da su granice zalihosti 12,3 dB tj. za toliki iznos treba uvećati prijenosnu jednadžbu (uz granice zalihosti 9,6 dB imamo 50% pokrivenost na rubu područja).

Source	Frequency (GHz)	Path Loss Exponent $n$	$\sigma$ (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.

# 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	dB	$B$	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	dB	$E$	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	$\sigma$	9,6	9,6
Zalihost uslijed fedinga	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*).

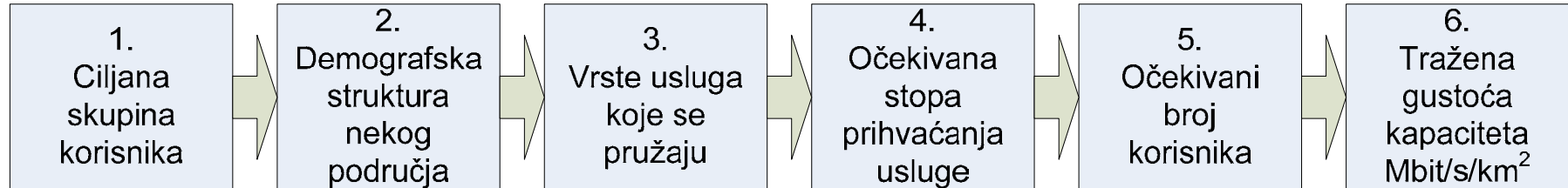
# Kapacitet sustava (brzina prijenosa)

- 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 (orijentacijske 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

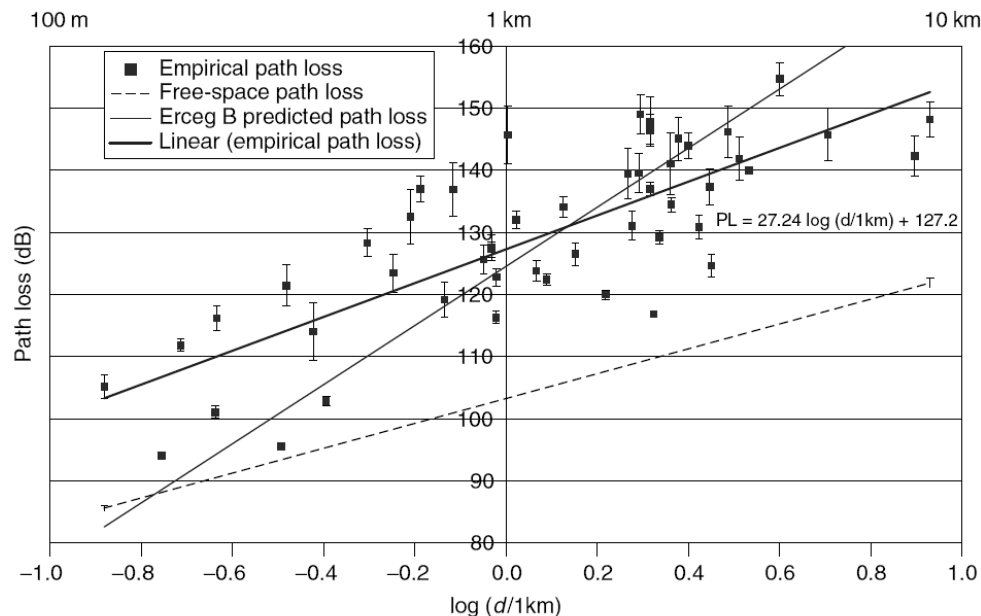
# Kapacitet sustava

- 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



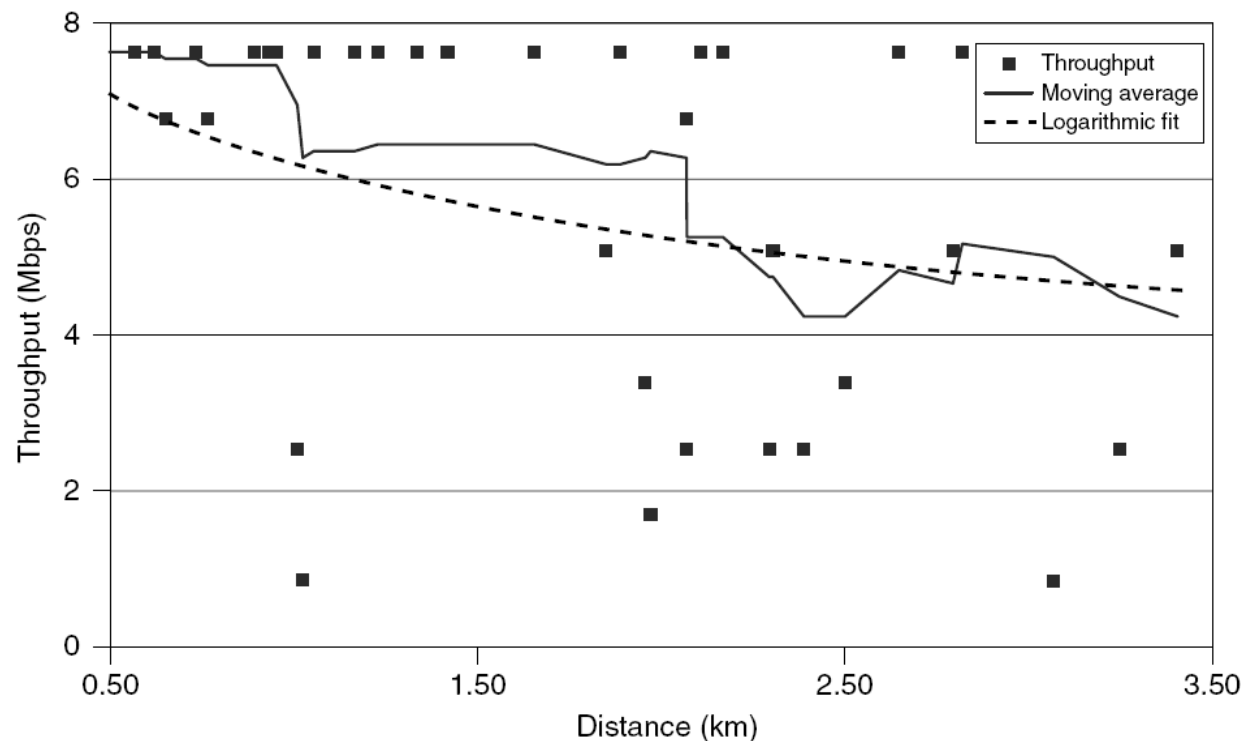
# Ispitna mjerenja

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



# Ispitna mjerenja

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

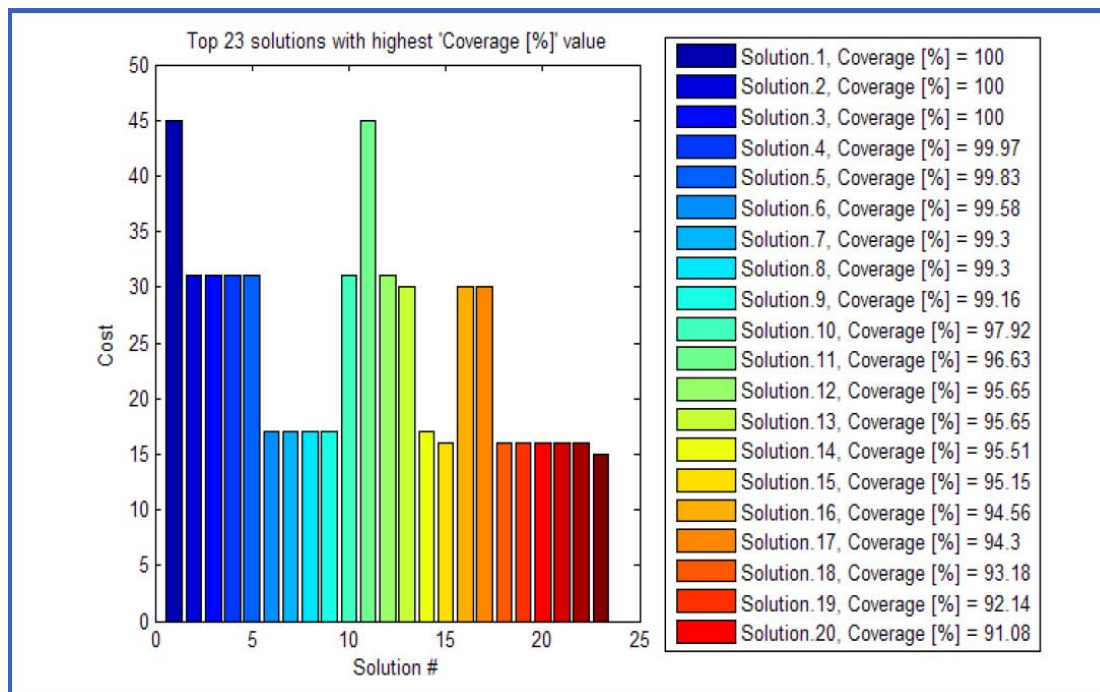


# Korištenje programske podrške

- 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



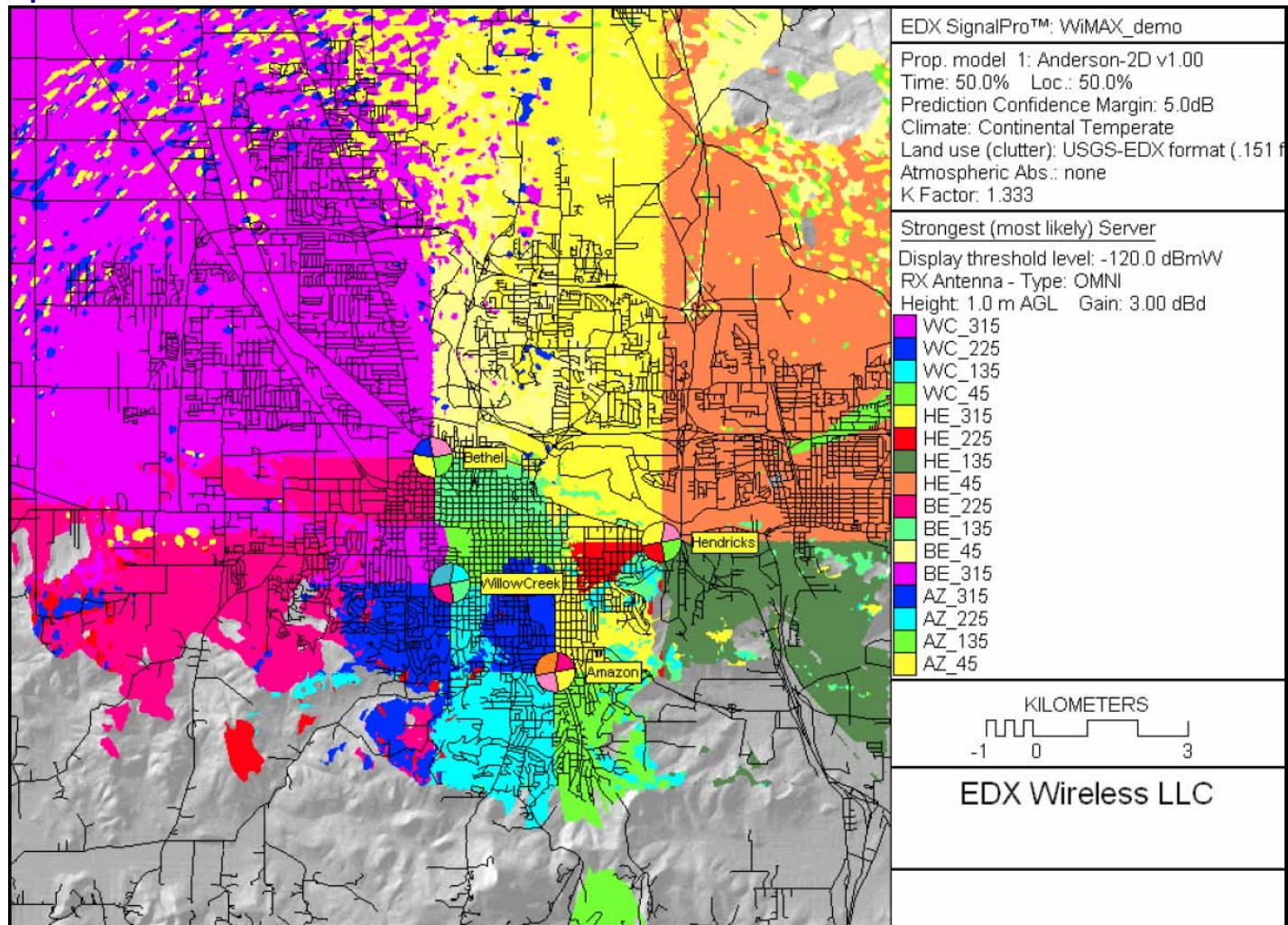


# Korištenje programske podrške

- 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 odabrane 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

