
MIKROTAČASNI PRENOSNI SISTEMI

Mikrotalasni prenosni sistem

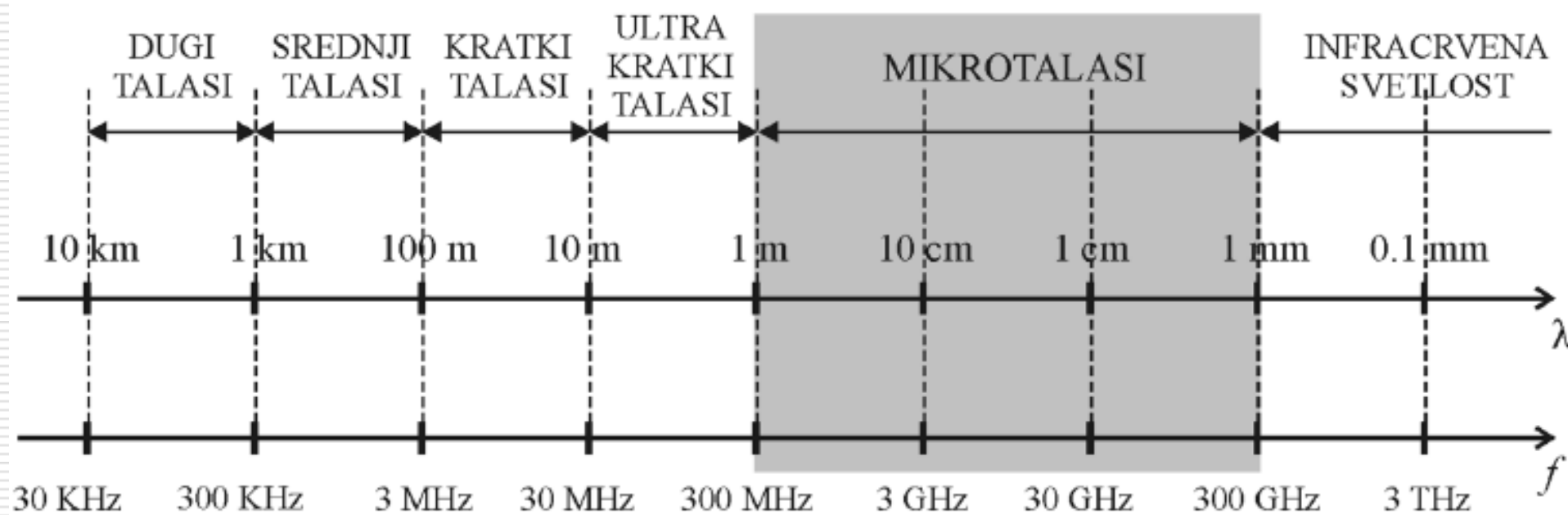
Telekomunikacioni sistem koji koristi RF opseg od 2 GHz do 60 GHz. Prema IEEE definiciji, elektromagnetni talasi frekvencije između 30 i 300 GHz zovu se **milimetarski talasi**, jer je njihova talasna dužina između 1 i 10 mm.

Karakteristike mikrotalasa

- ❑ Mikrotalasi omogućavaju prenos informacija u širokim frekvencijskim opsezima.
 - ❑ Mikrotalasi posjeduju kvazioptička svojstva – ponašaju se slično kao svjetlost, pa se koriste za usmjereni prenos informacija na vrlo velikim rastojanjima, na primjer u satelitskim komunikacijama.
 - ❑ Između predajne i prijemne antene se zahtijeva postojanje linije optičke vidljivosti.
-

Karakteristike mikrotalasa

- ❑ Mikrotalasi - elektromagnetne oscilacije, opseg od **300 MHz - 300 GHz**
- ❑ Veoma širok opseg spektra talasa, obuhvata 3 podopsega:
 - decimetarski talasi - λ : 1m \div 1dm (f: 300 MHz \div 3 GHz)
 - centimetarski talasi - λ : 1dm \div 1cm (f: 3 GHz \div 30 GHz)
 - milimetarski talasi - λ : 1cm \div 1mm (f: 30 GHz \div 300 GHz)



Karakteristike mikrotalasa

- ❑ Mikrotalasi prolaze kroz jonizovane slojeve Zemljinog omotača:
 - imaju primjenu u satelitskim komunikacijama, ispitivanju kosmosa, ostvarivanju veza između svemirskih stanica i Zemlje, itd.
 - ❑ Uticaj atmosfere na prostiranje mikrotalasa u velikoj mjeri zavisi od frekvencije:
 - mali uticaj u donjem dijelu mikrotalasnog opsega (do desetak GHz).
 - na višim učestanostima javljaju se efekti apsorpcije EM talasa i rasijanja talasa na česticama.
 - ❑ Ovi efekti utiču na povećano slabljenje, promjene polarizacije talasa, promjene intenziteta EM polja na mjestu prijema i slično.
-

Primjene mikrotalasa

- Radarski sistemi
 - Mikrotalasni komunikacioni sistemi:
 - Mobilne komunikacije
 - ⇒ mobilni sistemi II generacije (GSM)
 - ⇒ sistemi između II i III generacije - 900, 1800 ili 1900 MHz
 - ⇒ III generacija (UMTS) - oko 2 GHz
 - ⇒ IV generacija (LTE) – od 2 do 8 GHz
 - Satelitske komunikacije - prenos podataka, TV i telefonskih signala na velikim rastojanjima.
 - ⇒ C opseg - 6 / 4 GHz
 - ⇒ Ku opseg - 14 / 11 GHz
 - ⇒ Ka opseg - 30 / 20 GHz
 - Radiorelejne veze
 - Radioastronomija
-

IEEE podjela radio-frekvencija na opsege

Frekvencijski opseg	Oznaka opsega	Naziv frekvencija	Tipična primena
3 - 30 kHz	VLF	vrlo niske	navigacija, telegrafija, sonar
30 - 300 kHz	LF	niske	dugotalasni radio, navigacija
300 - 3000 kHz	MF	srednje	AM radio difuzija ($f=535 - 1605$ kHz)
3 - 30 MHz	HF	visoke	kratkotalasni radio
30 - 300 MHz	VHF	vrlo visoke	FM radio difuzija ($f= 88-108$ MHz), neki zemaljski i pomorski servisi, TV difuzija (2- 4. kanal: $f= 54-72$ MHz, 5-6. kanal: $f= 76 -88$ MHz, 7-13. kanal: $f =174-216$ MHz)
300 - 3000 MHz	UHF	ultra visoke	mobilne komunikacije, radionavigacioni sistemi, TV difuzija (14. - 83. kanal: $f= 470 - 890$ MHz), mikrotalasne pećnice ($f= 2.45$ GHz)
3 - 30 GHz	SHF	super visoke	mikrotalasni linkovi, radari, satelitske komunikacije
30 - 300 GHz	EHF	ekstremno visoke	specijalni radiodifuzni sistemi, vojne primene

Mikrotalasni frekvenčnijski podopsezi

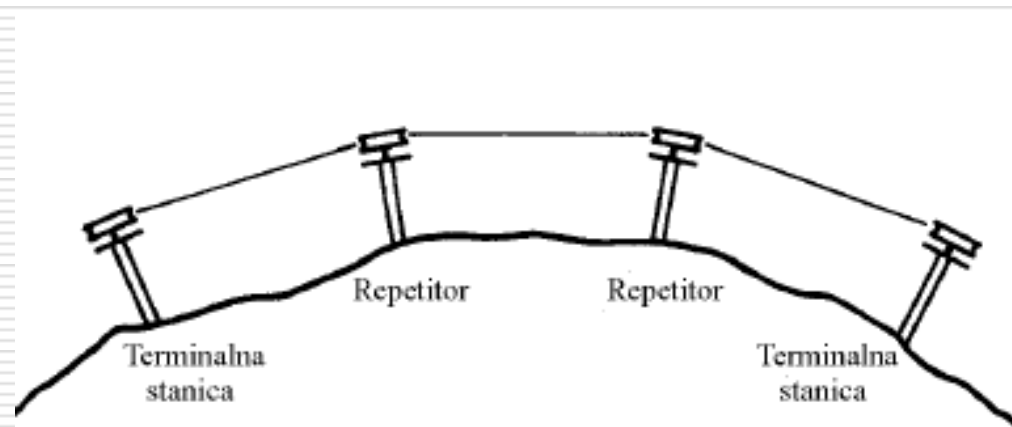
Frekvenčnijski opseg (GHz)	Stara oznaka	Nova oznaka
1 – 2	L	D
2 – 3	S	E
3 – 4	S	F
4 – 6	C	G
6 – 8	C	H
8 – 10	X	I
10 – 12.4	X	J
12.4 – 18	Ku	J
18 – 20	K	J
20 – 26.5	K	K
26.5 – 40	Ka	K

Prednosti bežičnih sistema

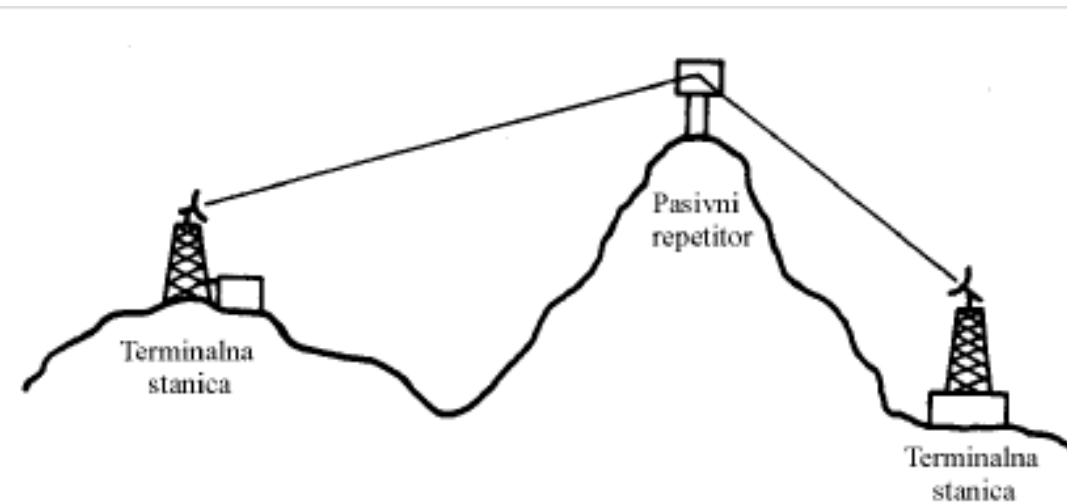
- ❑ Bežični komunikacioni sistemi se brzo i lako instaliraju, bez potrebe za obimnim građevinskim radovima i narušavanjem postojeće infrastrukture.
 - ❑ Instalacija mikrotalasnih radio-sistema je često znatno jeftinija od optičkih, posebno za sisteme manjeg kapaciteta.
 - ❑ Bežičnim sistemima može se rješavati problem tzv. „posljednje milje” (last mile). Naime, krajnji korisnici Interneta imaju potrebu za predajom i prijemom informacija velikim brzinama, što sadašnje bakarne parice u dovoljnoj mjeri ne omogućavaju.
 - ❑ Pored toga, bežični sistemi se ponekad instaliraju kao alternativa optičkim, jer su otporniji na prirodne katastrofe kao što su zemljotresi ili poplave.
-

Zemaljski radio-relejni sistemi

- ❑ Zemaljski radio-relejni linkovi predstavljaju jednu od osnovnih primjena mikrotalasa u oblasti komunikacija bežičnim putem. To su sistemi tipa “tačka-tačka”.
- ❑ Oni su bazirani na prostiranju mikrotalasa duž linije optičke vidljivosti, a domet u okviru jedne dionice ograničen je na oko 50 km, pa se po pravilu koriste sistemi sa više relejnih stanica (repetitora).
- ❑ Sistemi tipa “tačka-tačka” koriste se za prenos različitih vrsta informacija.



Mikrotalasni link realizovan u više skokova (hopova)

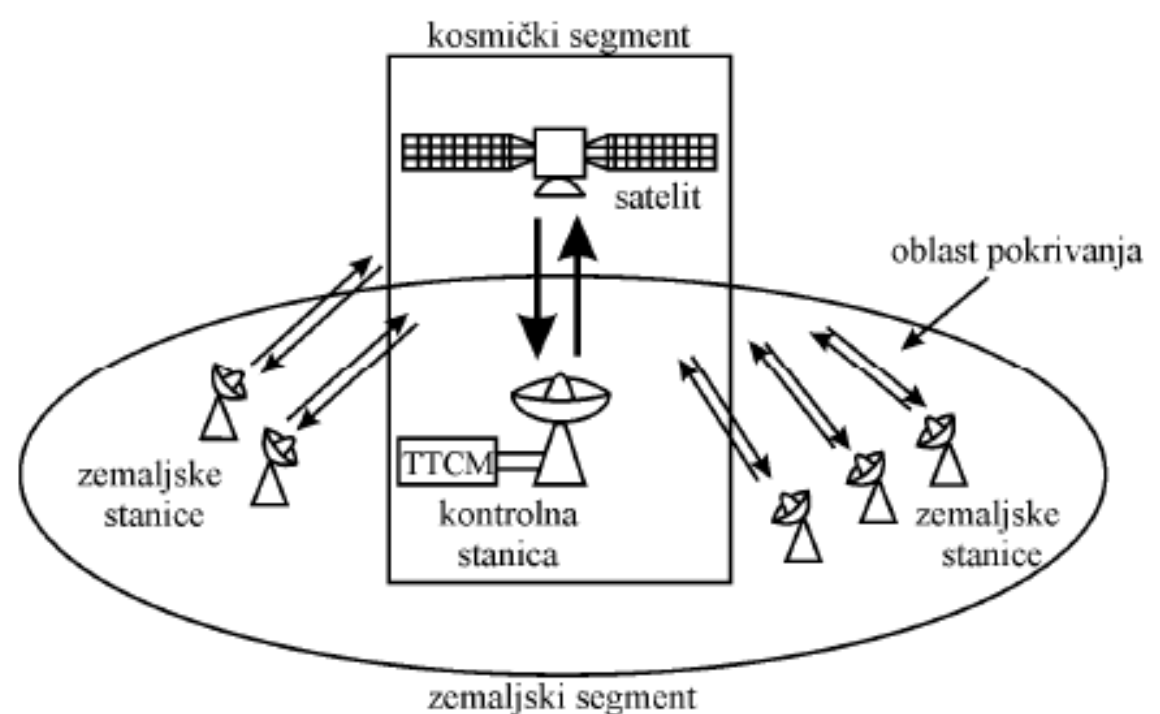


Mikrotalasni link u planinskom regionu

Satelitski komunikacioni sistemi

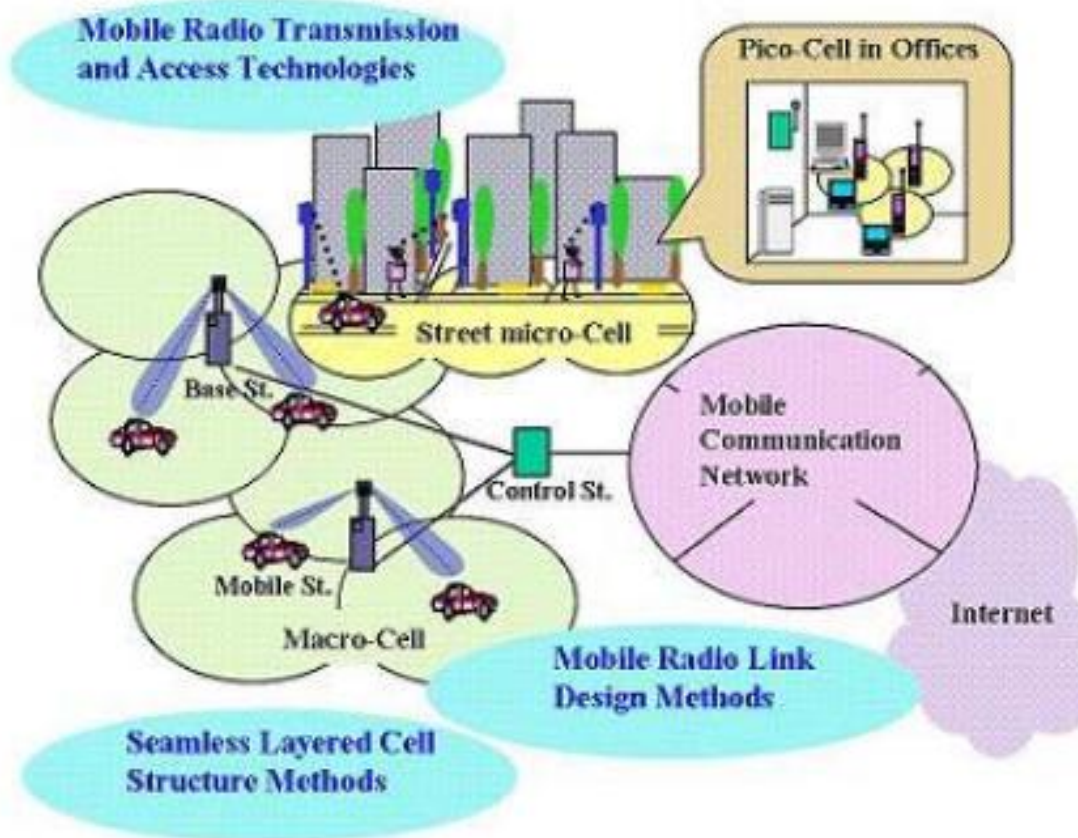
- ❑ Satelitski komunikacioni sistemi koriste se za prenos govora, video-sadržaja i podataka. Ovaj način prenosa signala omogućen je zahvaljujući svojstvu mikrotalasa da prolaze kroz jonosferu.
- ❑ Satelitski sistemi omogućavaju komunikaciju na veoma velikim rastojanjima, praktično između bilo koje dvije tačke na planeti.
- ❑ Među satelitskim sistemima posebno važno mjesto zauzimaju satelitski radio-difuzni sistemi, globalni pozicioni sistemi - GPS sistemi, satelitski sistemi za prenos podataka itd.

Ilustracija satelitskog komunikacionog sistema



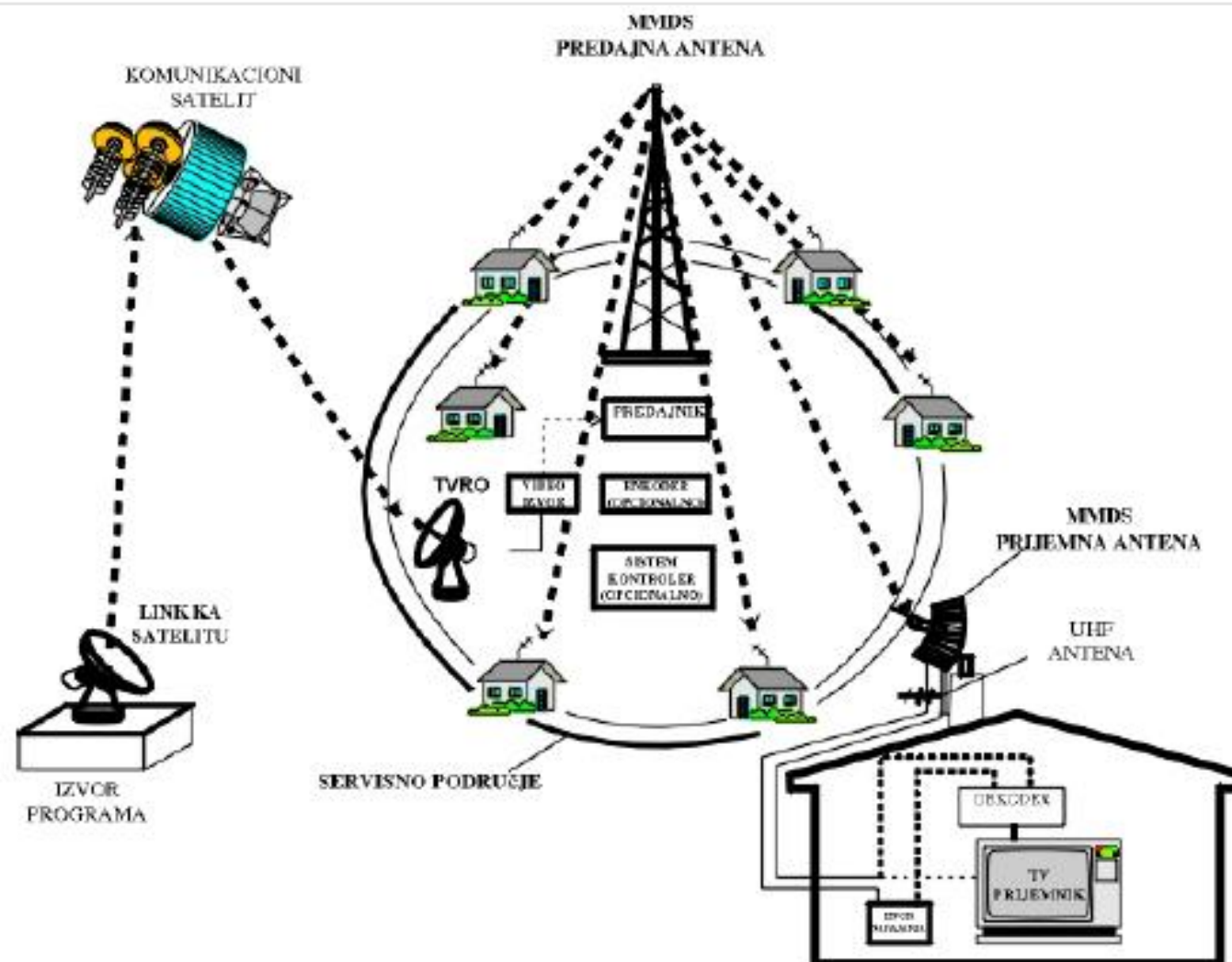
Mobilni komunikacioni sistemi

- ❑ Mobilni komunikacioni sistemi doživjeli su najveću ekspanziju u odnosu na ostale bežične sisteme prenosa.
- ❑ Njihov razvoj je i dalje intenzivan i ide u pravcu uvođenja novih, širokopojasnih usluga, kao i poboljšanja kvaliteta usluga.



Zemaljski radio-difuzni sistemi

- ❑ Neki zemaljski radio-difuzni sistemi rade takođe u oblasti mikrotalasa. Na primjer, jedan broj TV kanala smješten je u donjem dijelu mikrotalasnog frekvencijskog opsega.
- ❑ LMDS (Local Multipoint Distribution Systems) i MMDS (Multipoint Multichannel Distribution Systems) sistemi obezbjeđuju širokopojasne bežične veze između centralne stanice i većeg broja korisnika. Ovi sistemi omogućavaju individualnim korisnicima i kompanijama prenos podataka velikim brzinama, brzi pristup Internetu, telefonske veze, video prenos i slično.



Mikrotalasni prenosni sistem

- ❑ Sistemi malog kapaciteta rade na frekvencijama manjim od 3 GHz, dok sistemi srednjeg i velikog kapaciteta koriste frekvencije od 3 do 15 GHz.
 - ❑ Frekvencije > 15 GHz se uglavnom koriste za prenos na kratkim rastojanjima.
-

Prednosti mikrotalasnog radio-prenosa

- Manja osjetljivost na prirodne nepogode
 - Manja osjetljivost na slučajna oštećenja
 - Linkovi na planinskim terenima ili duž vodenih tokova imaju ekonomsku opravdanost
 - Jednostavna instalacija i održavanje
 - Brzo uvođenje u operativni rad
-

Linija optičke vidljivosti

- Mikrotalasne radio-komunikacije zahtijevaju postojanje linije optičke vidljivosti (line-of-sight - LOS)
 - Pod normalnim atmosferskim uslovima, radio-horizont se nalazi na 30 % ispod optičkog horizonta
 - Radio LOS uzima u obzir Fresnel-ovu zonu (elipsoid) i odgovarajuće kriterijume prostiranja
-

Linija optičke vidljivosti

- **Fresnel-ova zona** – oblast konstruktivne i destruktivne interferencije kao posljedica prostiranja EMT u slobodnom prostoru (refleksija ili difrakcija). Fresnel-ova zona je zasnovana na umnošcima polovine talasne dužine koje predstavljaju razliku u putanji propagacije radio-talasa i direktne putanje talasa.
 - Fresnel-ova mora biti van domašaja svih opstrukcija (prepreka).
-

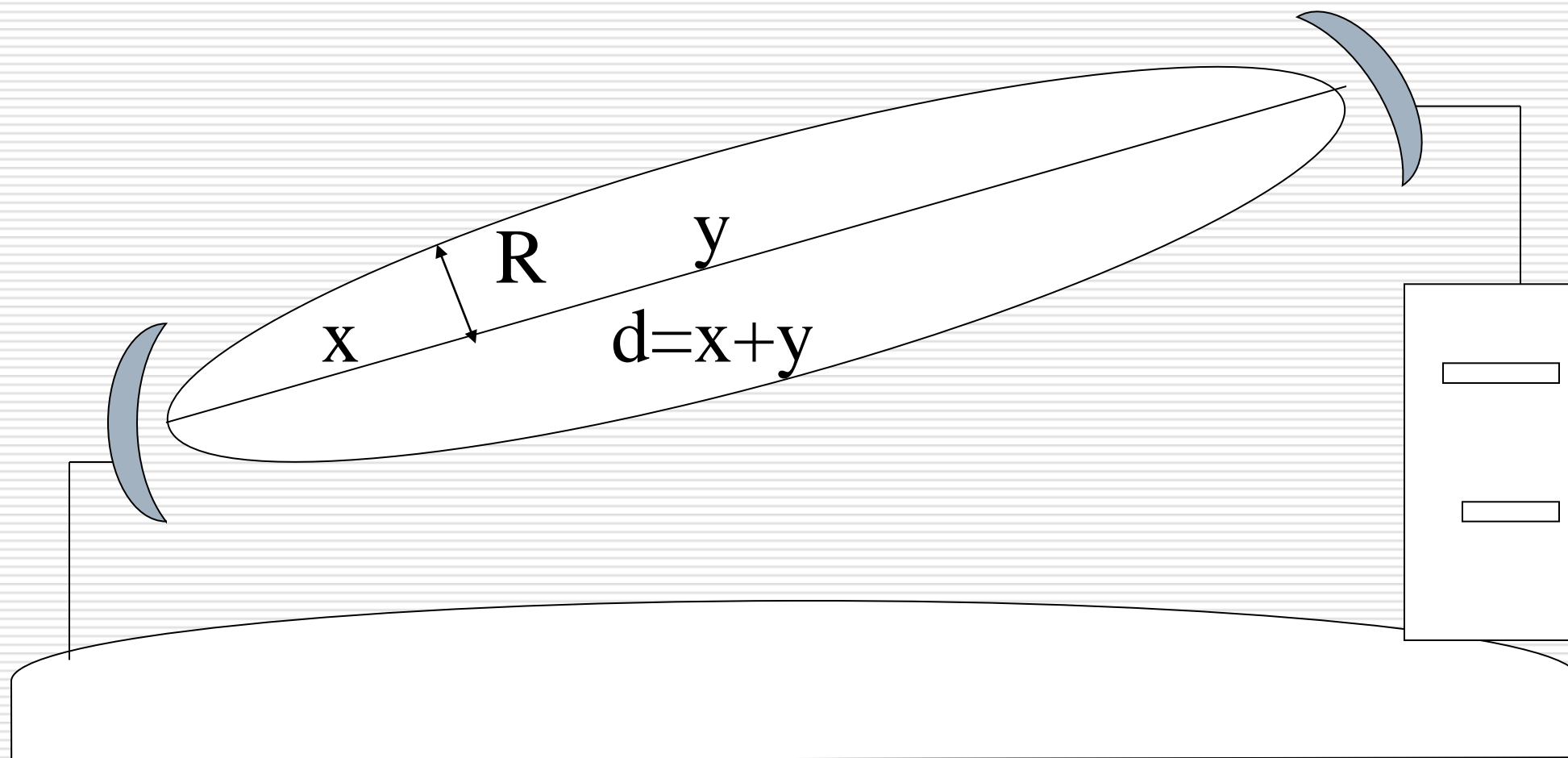
□ Radijus prve Fresnel-ove zone

$$R=17.32(x(d-x)/fd)^{1/2}$$

d = udaljenost između antena (u km)

R= radijus prve Fresnel-ove zone (u metrima)

f= frekvencija (u GHz)



Linija optičke vidljivosti

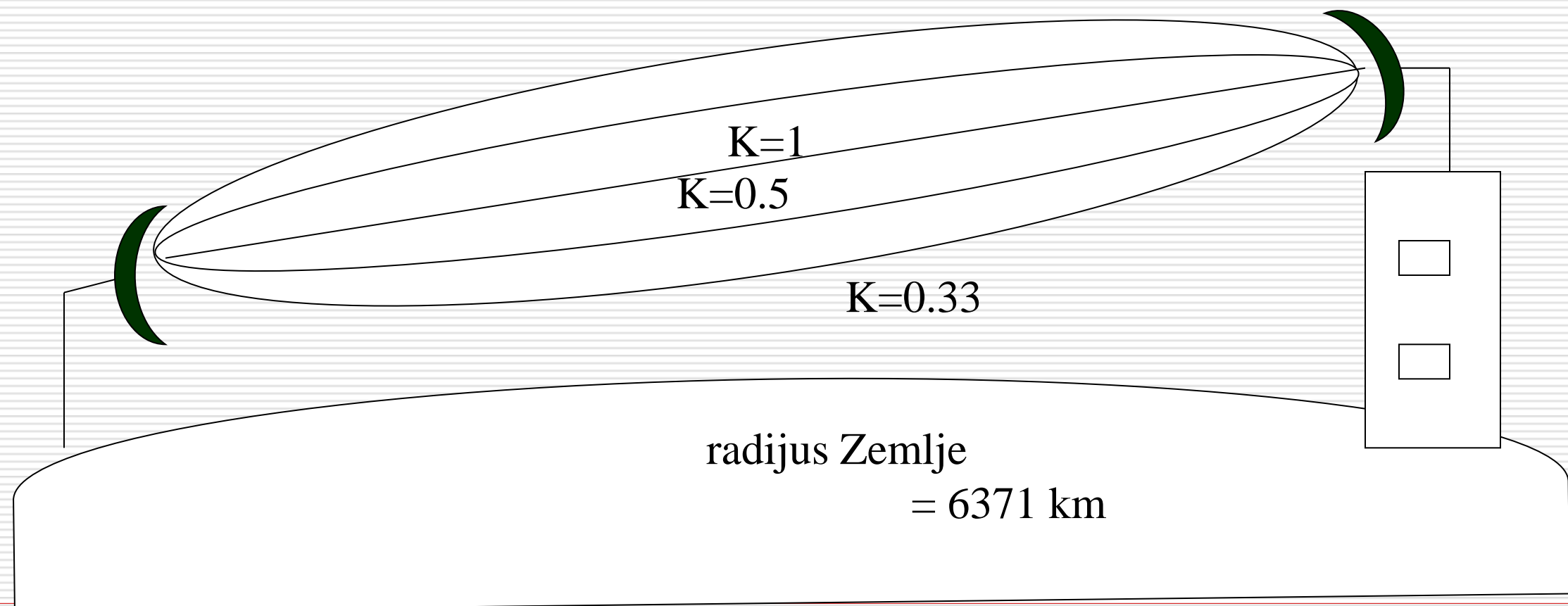
- Najčešće se prva Fresnel-ova zona ($N=1$) koristi za izračunavanje gubitaka usljed opstrukcije
 - Direktna putanja između predajnika i prijemnika zahtijeva klirens (*clearance*) iznad površine Zemlje u iznosu minimalno 60% radijusa prve Fresnel-ove zone, da bi se postigli uslovi prostiranja u slobodnom prostoru
 - Earth-radius faktor k kompenzuje refrakciju u atmosferi
 - Clearance je kriterijum koji obezbjeđuje dovoljnu visinu antene i za najnepovoljnije uslove refrakcije (za koje je k minimalno).
-

efektivni radijus Zemlje = $k \cdot$ radijus Zemlje

radijus Zemlje= 6371 km

$k=4/3=1.33$, za standardnu atmosferu sa normalnom putanjom refrakcije (ova vrijednost se koristi ako druge nisu date)

Varijacije zakrivljenosti zraka u funkciji k



Linija optičke vidljivosti

Clearance kriterijum u određenim uslovima prostiranja:

- Clearance od 60% ili veći pri minimalnom k (uslov za određene putanje)
 - Clearance od 100% za $k=4/3$
 - U slučaju prostornog diverzitija, antena može imati 60% clearance za $k=4/3$ + dodatak za okolne prepreke (zgrade, drveće itd.)
-

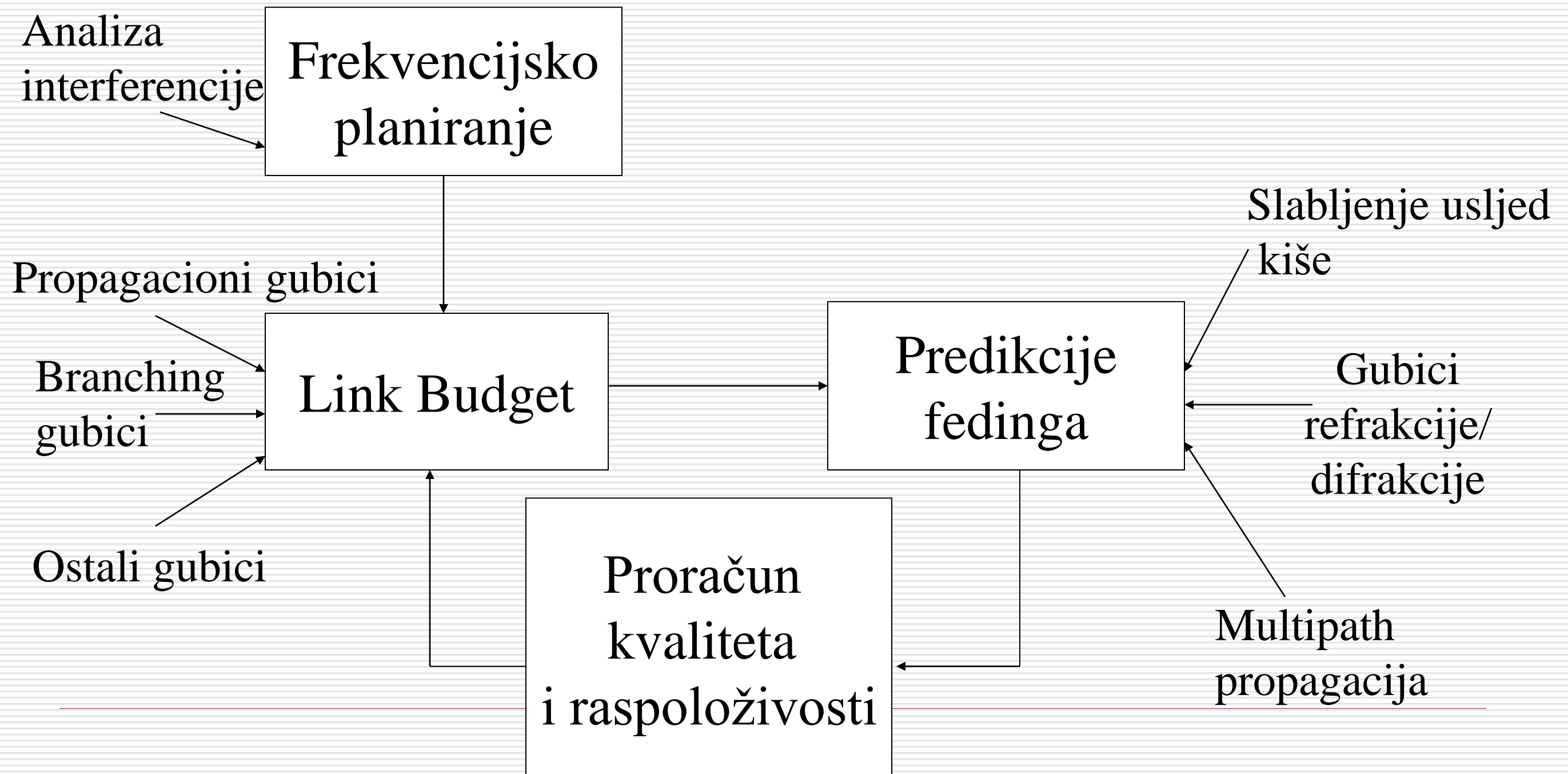
Projektovanje mikrotalasnog linka

Projektovanje mikrotalasnog linka je metodološki postupak, koji obuhvata nekoliko vrsta proračuna:

- Proračune slabljenja/gubitaka
 - Proračune fedinga/margine fedinga
 - Frekvencijsko planiranje i proračun interferencije
 - Proračun kvaliteta i raspoloživosti
-

Projektovanje mikrotalasnog linka

Kompletan proces je iterativan i prolazi kroz nekoliko faza redizajniranja, prije nego što se postigne željeni kvalitet i raspoloživost sistema.



Proračun gubitaka/slabljenja

Proračuni gubitaka/slabljenja zasnovani su na tri osnovna elementa:

- Propagacioni gubici
(atmosferski uticaji i struktura terena)
 - Branching losses
(struktura hardvera koji povezuje izlaz predajnika/prijemnika sa antenom)
-

Proračun gubitaka/slabljenja

- Ostali gubici

(nepredvidivi i povremeni – npr. pojava magle, kretanje objekata duž putanje, loša instalacija opreme, neprilagođen antenski sistem i dr.).

- Ovaj doprinos se uzima u obzir prilikom planiranja kao dodatni gubitak.
-

Propagacioni gubici

- Gubici u slobodnom prostoru – kada predajnik i prijemnik imaju jasnu LOS (bez opstrukcija)

$$L_{fsl}=92.45+20\log(f)+20\log(d) \quad [\text{dB}]$$

f = frekvencija (GHz)

d = LOS opseg između antena (km)

- Slabljenje usljed vegetacije

$$L=0.2f^{0.3}R^{0.6}(\text{dB})$$

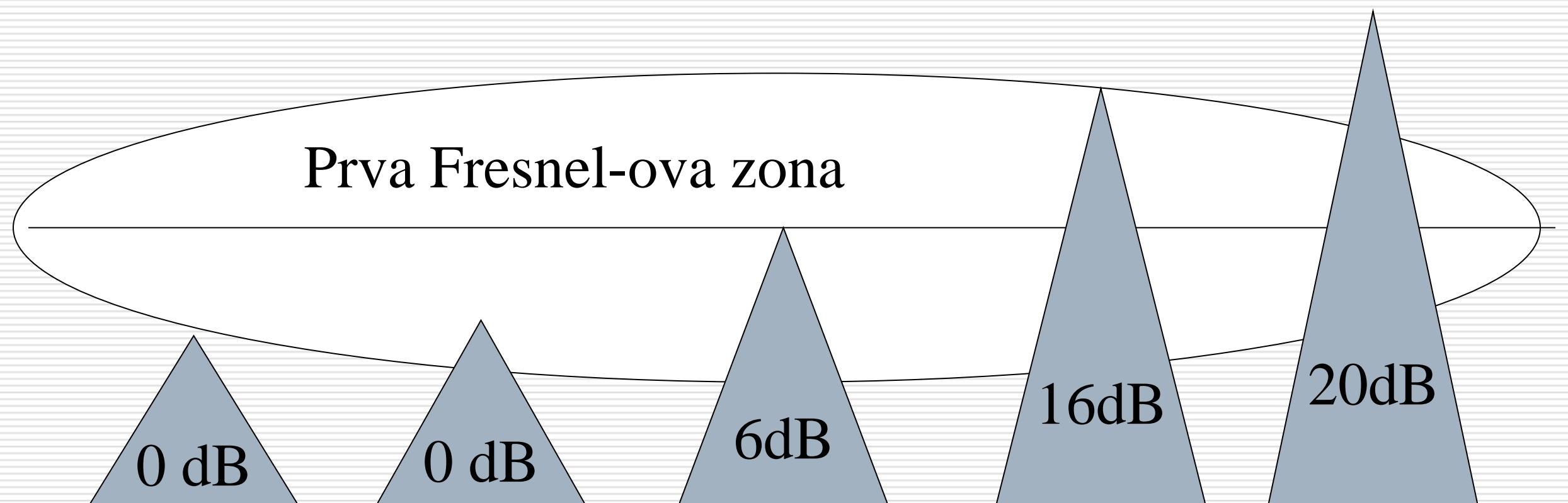
f = frekvencija (MHz)

R= dubina vegetacije u metrima (za $R < 400\text{m}$)

Propagacioni gubici

- Gubici usljed prepreka – nazivaju se i difrakcioni gubici (slabljenje). Jedan metod proračuna je zasnovan na “knife edge” aproksimaciji.

npr. Ako je i pri pojavi prepreke slobodno više od 60% prve Fresnel-ove zone \Rightarrow gubici su 0 dB

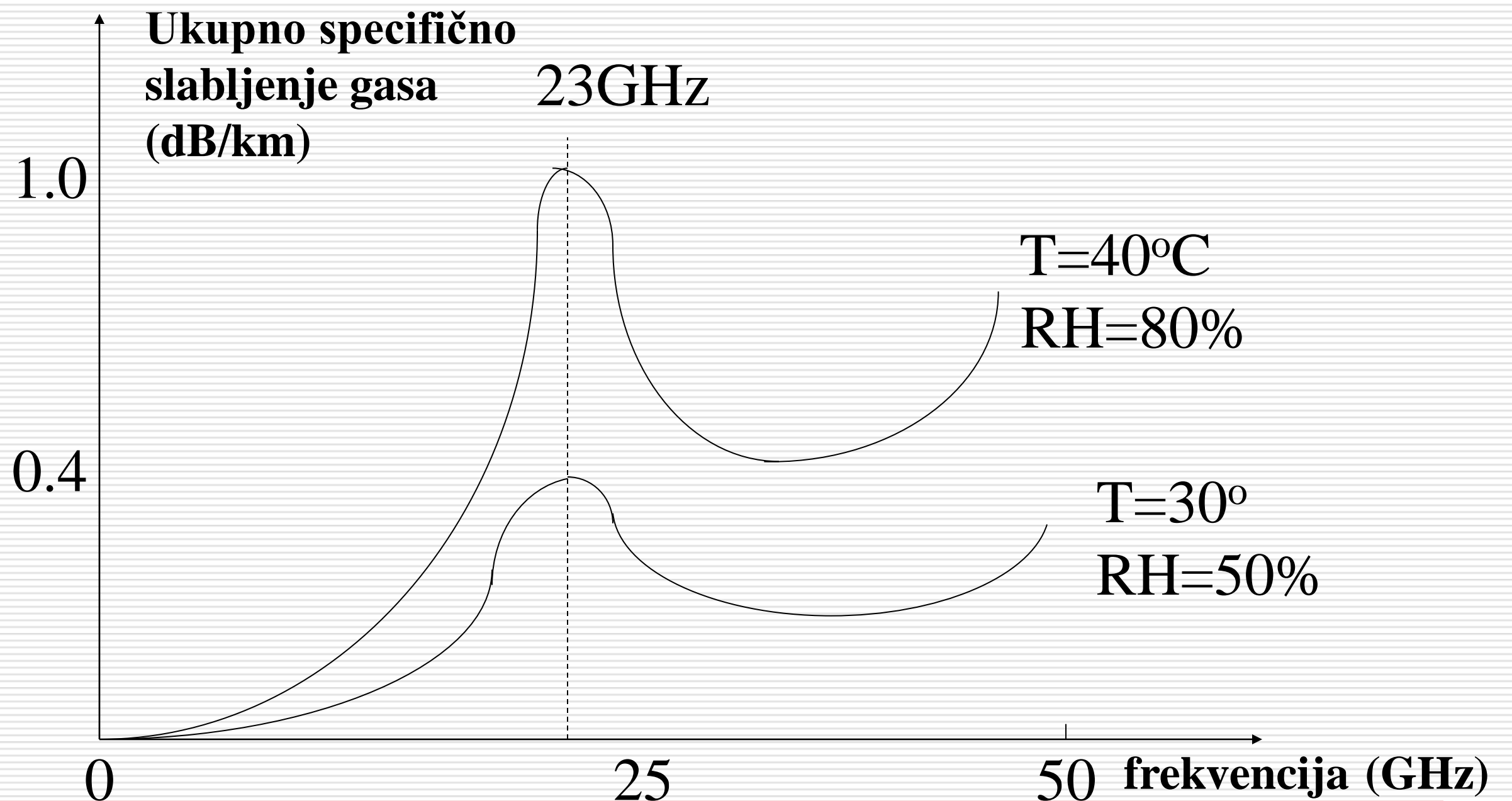


Propagacioni gubici

□ Apsorpcija gasa

- Nastaje primarno usljed pojave vodene pare i oksigena u atmosferi, u oblasti radio-relejnog linka. Maksimum apsorpcije je na oko 23 GHz za molekule vode i 50 do 70 GHz za molekule oksigena. Specifično slabljenje (dB/km) zavisi od frekvencije, temperature i apsolutne ili relativne vlage.
-

Slabljenje gasa u zavisnosti od frekvencije



Propagacioni gubici

□ Slabljenje usljed kiše

- Ovaj uzrok slabljenja je vrlo česta pojava u frekvencijskom opsegu koji koriste komercijalni radio-linkovi.
 - Slabljenje se povećava eksponencijalno sa intenzitetom kiše.
-

Propagacioni gubici

- **Specifično slabljenje usljed kiše zavisi od mnogo parametara: oblika i veličine raspodjele kišnih kapi, polarizacije, intenziteta kiše i frekvencije.**
 - **Horizontalna polarizacija uzrokuje veće slabljenje od vertikalne polarizacije.**
 - **Slabljenje se povećava sa frekvencijom i postaje dominantno u opsegu iznad 10 GHz.**
 - **Slabljenje usljed kiše se ne uzima u obzir pri proračunu link budget-a i koristi se samo za proračun fedinga.**
-

Refleksija

- ❑ Refleksija od površine je jedan od uzroka multipath propagacije.
 - ❑ Direktni zrak u prijemniku i reflektovani zrak dovode do interferencije, pa ova vrsta gubitaka može imati znatan udio u ukupnim gubicima.
 - ❑ Karakteristike atmosferske refrakcije se stalno mijenjaju, a time i gubici variraju.
-

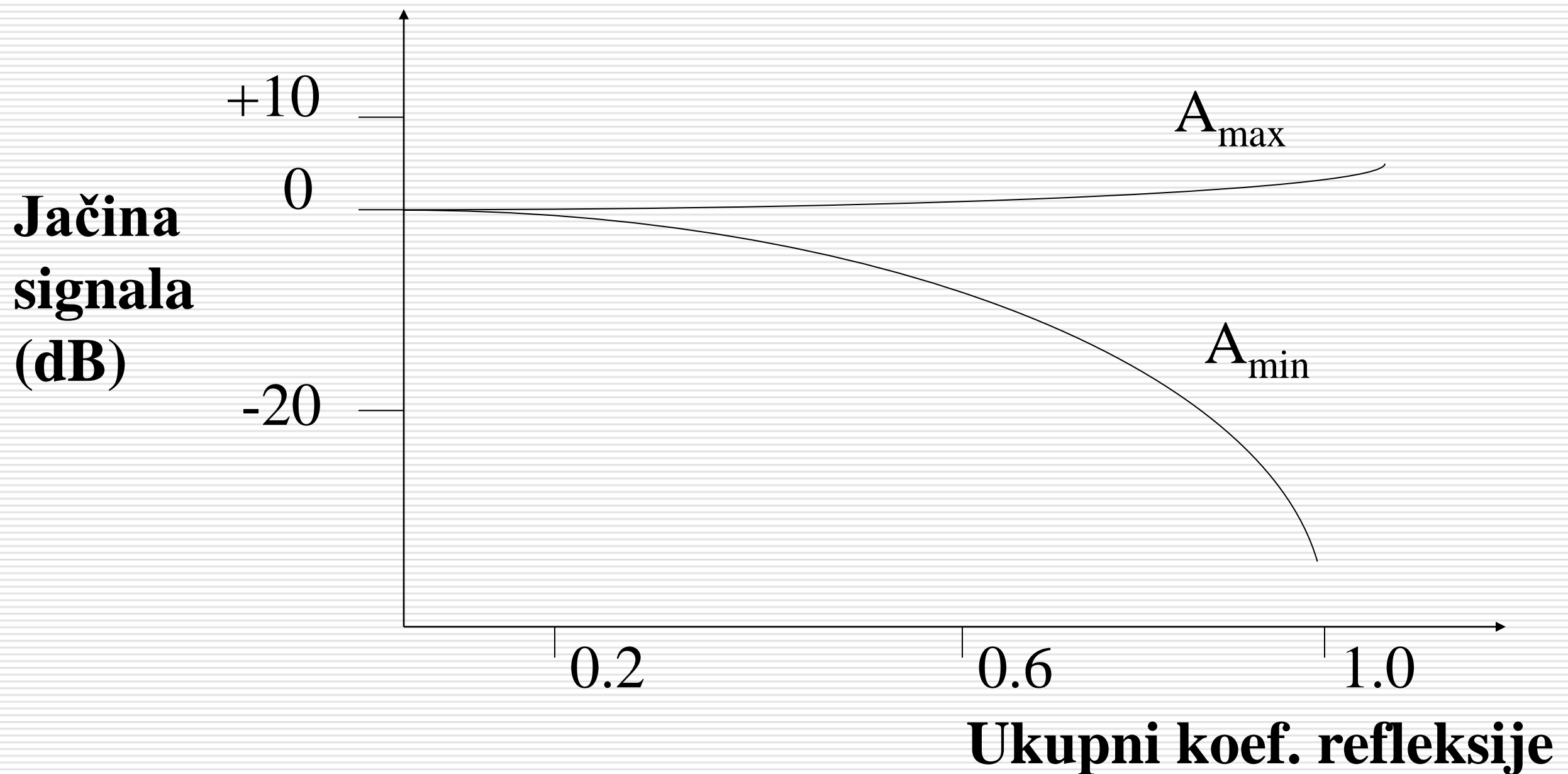
Refleksija

- Gubici usljed površinske refleksije zavise od ukupnog koeficijenta refleksije i faznog pomaka.
 - Najveća vrijednost jačine signala postiže se za fazni ugao 0° , a najmanja vrijednost za 180° .
 - Koeficijent refleksije zavisi od frekvencije, polarizacije, osobina terena i dr.
-

Refleksija

- Smanjenje gubitaka usljed refleksije postiže se blokiranjem indirektnih zraka.
 - Gubici usljed refleksije ne uključuju se automatski u proračun link budget-a. Kada se refleksija ne može izbjeći, margina fedinga može se podesiti uključivanjem gubitaka refleksije kao “dodatnih gubitaka” u proračunu.
-

Jačina signala u odnosu na koeficijent refleksije



Link Budget

Predstavlja proračun koji obuhvata faktore pojačanja i gubitaka pridruženih antenama, predajnicima, prenosnim linijama i karakteristikama okruženja u kojima se realizuje propagacija, da bi se odredila maksimalna udaljenost na kojoj predajnik i prijemnik mogu uspješno funkcionisati.

Link Budget

- Prag osjetljivosti prijemnika je nivo signala u radio-prenosu, pri kojem se javljaju kontinualne greške na određenoj bitskoj brzini.
 - Dobitak sistema zavisi od vrste korištene modulacije (2PSK, 4PSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM), kao i dizajna radio-linka.
-

Link Budget

- Pojačanja antena na predajnom i prijemnom kraju se dodaju sistemskom pojačanju (veće antene imaju veće pojačanje).
 - Gubici radio-signala u slobodnom prostoru se oduzimaju. Duži link ima veće gubitke.
 - Ovim proračunom se dobija **marginna fedinga**.
 - Isti uslovi dupleksnog radio-prenosa se primjenjuju na obje stanice (predajnu i prijemnu), pa je proračun nivoa prijemne snage nezavisan d smjera prenosa.
-

Link Budget

Nivo prijemnog signala (Received Signal Level -RSL)

$$RSL = P_o - L_{ctx} + G_{atx} - L_{crx} + G_{atx} - FSL$$

Treba biti ispunjeno:

$$RSL \geq Rx \text{ (prag osjetljivosti prijemnika)}$$

P_o = izlazna snaga predajnika (dBm)

L_{ctx} , L_{crx} = gubici (kablovi, konektori, branching jedinice) između predajnika/prijemnika i antene (dB)

G_{atx} = pojačanje predajne/prijemne antene (dBi)

FSL = free space loss (dB) – gubici u slobodnom prostoru

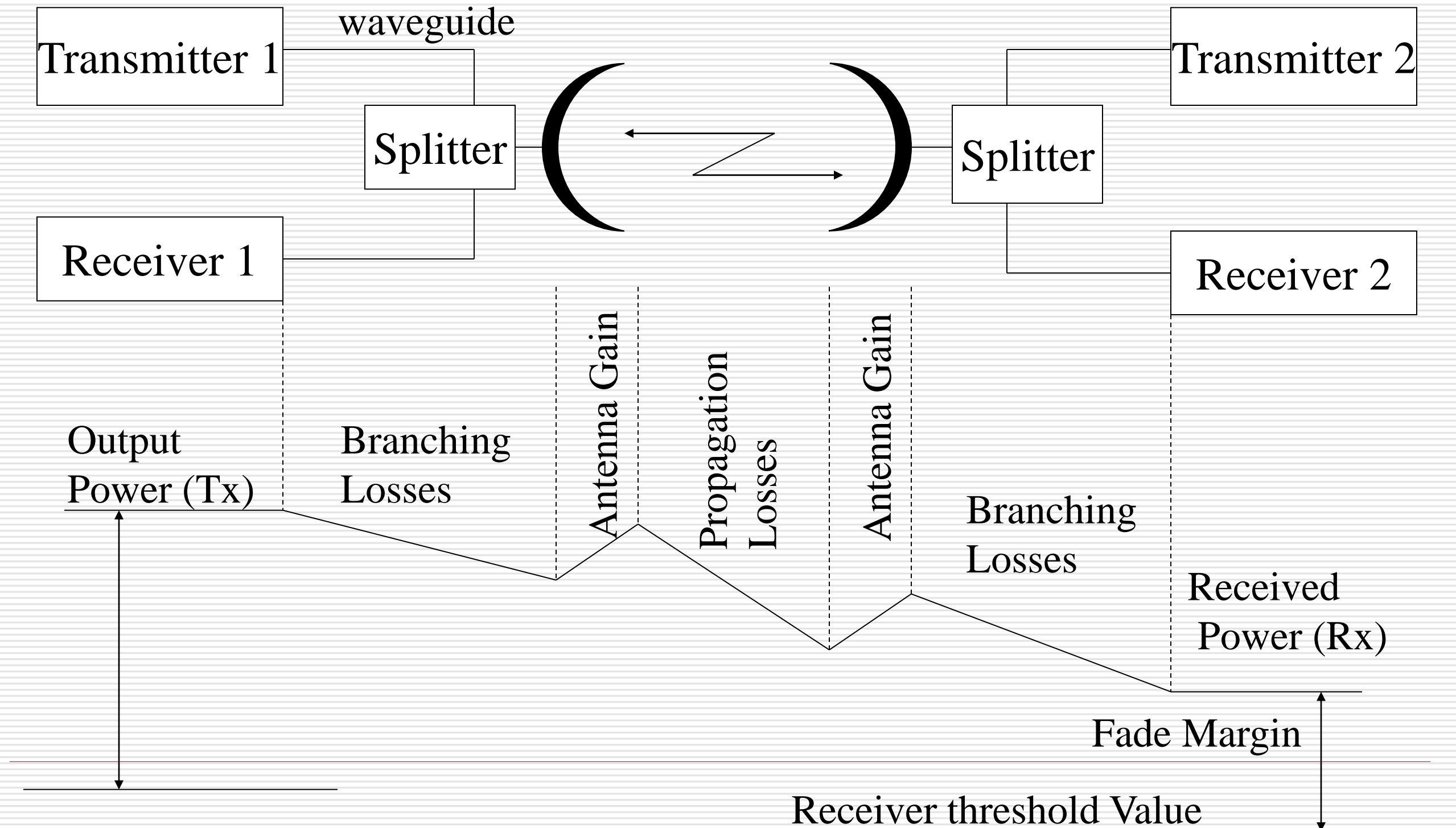
Link Budget

- Margina fedinga se računa u odnosu na nivo praga prijemnika za datu vjerovatnoću bitske greške (BER). Ukoliko se premaši margina fedinga, radio-link može postati neraspoloživ.
-

Link Budget

- Nivo praga $BER=10^{-6}$ za mikrotalasnu opremu je oko 3dB veći nego za $BER=10^{-3}$. Shodno tome, margina fedinga je za 3 dB veća pri $BER=10^{-6}$ nego $BER=10^{-3}$.
 - Za novu generaciju mikrotalasnih uređaja, sa specifičnom metodom korekcije greške, ova razlika je 0.5 do 1.5 dB.
-

Link Budget za radio-link



Feding i margine fedinga

- Feding se definiše kao varijacija jačine signala prijemnog radio-nosioca s obzirom na atmosferske promjene i refleksije na putanji prostiranja.
 - Pri projektovanju radio-linkova razmatraju se 4 vrste fedinga.
 - Sve one su zavisne od dužine putanje i procjenjuju se kao **vjerovatnoća premašenja date (izračunate) margine fedinga.**
-

Feding i margine fedinga

- Multipath feeding
 - ravni (flat) feeding
 - frekvencijski selektivni feeding
 - Feding usljed kiše
 - Feding usljed refrakcije/difrakcije (feeding k-tipa)
-

Feding i margine fedinga

- **Multipath feeding** je dominantan za frekvencije manje od 10GHz. Kao posljedica reflektovanih talasa javlja se multipath, tj. u prijemniku se pored direktnog talasa (emitovanog iz predajnika) javljaju i talasi kao posljedica refleksije.
 - Ako su dva signala, koja stižu u prijemnik, u fazi, onda se signal pojačava (tzv. upfade).
-

Feding i margine fedinga

□ $Upfade_{max} = 10 \log d - 0.03d$ (dB)

d je dužina putanje u km

□ Ako dva talasa koja stignu u prijemnik nisu u fazi, slabi ukupni signal. Lokacija na kojoj se signal poništava kao posljedica multipath-a naziva null ili downfade.

□ Najčešće se multipath feeding za radio-linkove propusnog opsega manjeg od 40MHz i dužine putanje manje od 30km opisuje kao **ravni feeding**, umjesto frekvencijski selektivnog.

Feding i margine fedinga

Ravni feeding

- Kod ove vrste fedinga su sve frekvencije u kanalu podjednako izložene uticaju fedinga. Varijacija amplitude signala duž kanala je neznatna.
 - Na vodenim putanjama, za frekvencije iznad 3 GHz, prednost ima vertikalna polarizacija.
-

Feding i margine fedinga

Frekvencijski selektivni feding (FSF)

- Javljanju se amplitudska izobličenja i izobličenja grupnog kašnjenja duž propusnog opsega kanala.
 - Prethodno utiče na medijum prenosa i radio-linkove velikog kapaciteta (> 32 Mb/s).
 - Osjetljivost digitalne radio-opreme na FSF opisuje se sa “signature curve”.
 - One se koriste za proračun Dispersive Fade Margin (DFM).
-

Feding i margine fedinga

$$DFM = 17.6 - 10\log[2(\Delta f)e^{-B/3.8}/158.4] \text{ dB}$$

Δf = signature width opreme

B = notch depth opreme

- Savremeni digitalni radio-sistemi su vrlo robusni i imuni na feding. Samo značajne greške u projektovanju opreme (loš izbor antena i dr.) mogu uzrokovati pojavu disperzivnog fedinga.
-

Feding i margine fedinga

□ Feding usljed kiše

- Kiša slabi signal (uzrokuje pojavu raspršivanja i apsorpcije EMT)
 - Posebno je izražena na dužim putanjama (>10km)
 - Povećanje se javlja iznad 10GHz i za $f > 15$ GHz, ova vrsta fedniga postaje dominantna.
-

Feding i margine fedinga

- **Dužina mikrotalasnog linka se mora redukovati u područjima kiša jakog intenziteta.**
 - **Podaci o vremenu se obično generišu u formi statističkog opisa količine padavina u određenom vremenskom periodu.**
 - **Margina se koristi za kompenzaciju efekata kiše, za dati nivo raspoloživosti linka. Povećanje margine fedinga (45 do 60dB) može kompenzovati slabljenje usljed kiše.**
-

Feding i margine fedinga

- **Smanjenje efekata kiše**
 - **Multipath feeding je minimalan u toku kišnih perioda ukoliko je antena dobro projektovana**
 - **Putanje razdvojene za više od 8 km mogu se uspješno koristiti**
-

Feding i margine fedinga

- **Primjenjuje se automatska kontrola snage predajnika na linkovima koji su posebno osjetljivi.**
 - **Vertikalna polarizacija je manje osjetljiva na slabljenje usljed kiše (40 do 60%), u odnosu na frekvencije horizontalne polarizacije.**
-

Feding i margine fedinga

Feding usljed refrakcije/difrakcije

- Poznat i kao feding k-tipa
 - Za male vrijednosti k , dolazi do izražaja zakrivljenost površine Zemlje i neregularnosti terena, što utiče na narušavanje Fresnel-ove zone.
 - Za male vrijednosti k , postiže se bolji LOS (manja visina anetne)
 - Vjerovatnoća pojave ove vrste fedinga je indirektno povezana sa slabljenjem zbog opstrukcije, za datu vrijednost Earth – radius faktora
 - Obzirom da ovaj faktor nije konstantan, vjerovatnoća fedinga usljed refrakcije/difrakcije se računa na bazi kumulativne raspodjele Earth –radius faktora
-

Frekvencijsko planiranje

- Cilj frekvencijskog planiranja je izbor frekvencija u mreži, korištenjem što manjeg broja frekvencija, na način da je kvalitet i raspoloživost linka minimalno pod uticajem interferencije.
-

Frekvencijsko planiranje

- **Određuje frekvencijski opseg koji je pogodan za određeni link (dužine putanje, izbor lokacije, topografija terena i atmosferski uticaji)**
 - **Omogućava prevenciju pojave interferencije, kao npr. interferenciju između RF kanala na putanji, interferenciju od radio-putanje, interferenciju od satelitskih sistema**
 - **Obezbjeđuje adekvatan izbor frekvencijskog opsega koji omogućava željeni kapacitet prenosa i efikasno iskorištenje frekvencijskog spektra**
-

Frekvencijsko planiranje

- Dodjela RF kanala je nadležnost administratora sistema, čime se omogućava da radio-stanica koristi radio-frekvenciju ili RF kanal pod određenim uslovima.
 - Ovi uslovi moraju biti u skladu sa preporukama ITU-R, serije F.
-

Frekvencijsko planiranje

- Raspored frekvencijskih kanala
Raspoloživi frekvencijski opseg je podijeljen na dva dijela – donji i gornji opseg.
 - Razmak između kanala je dovoljno velik, tako da radio-oprema može funkcionisati u uslovima bez interferencije, u punom dupleksu. Širina svakog kanala zavisi od kapaciteta radio-linka i vrste modulacije.
-

Frekvencijsko planiranje

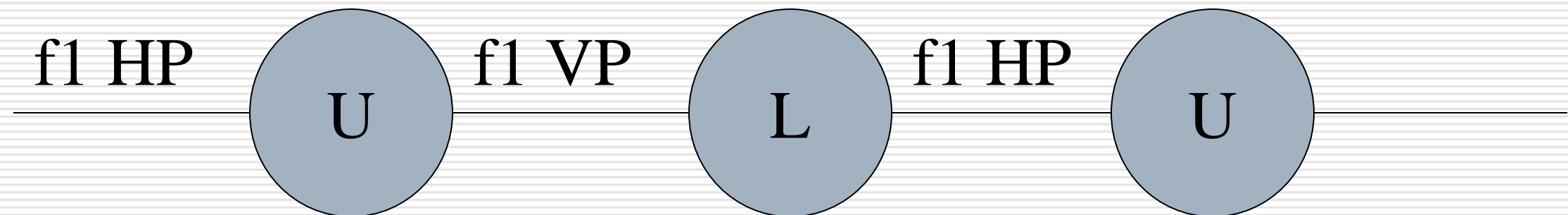
- Najvažniji zadatak radio-frekvencijskog planiranja je dodjela raspoloživih kanala različitim linkovima u mreži, uz postizanje željenog kvaliteta i raspoloživosti individualnih linkova, i u uslovima interferencije.
-

Frekvencijsko planiranje

- Frekvencijsko planiranje nekoliko linkova može se realizovati manuelno, ali se za veće mreže primjenjuje softverska platforma za projektovanje prenosa.
 - Ovakvi softverski paketi bazirani su na ITU standardima, različitim šemama diverzitija, analizi difrakcije i refleksije (multipath), efektima padavina, analizi interferencije i dr.
-

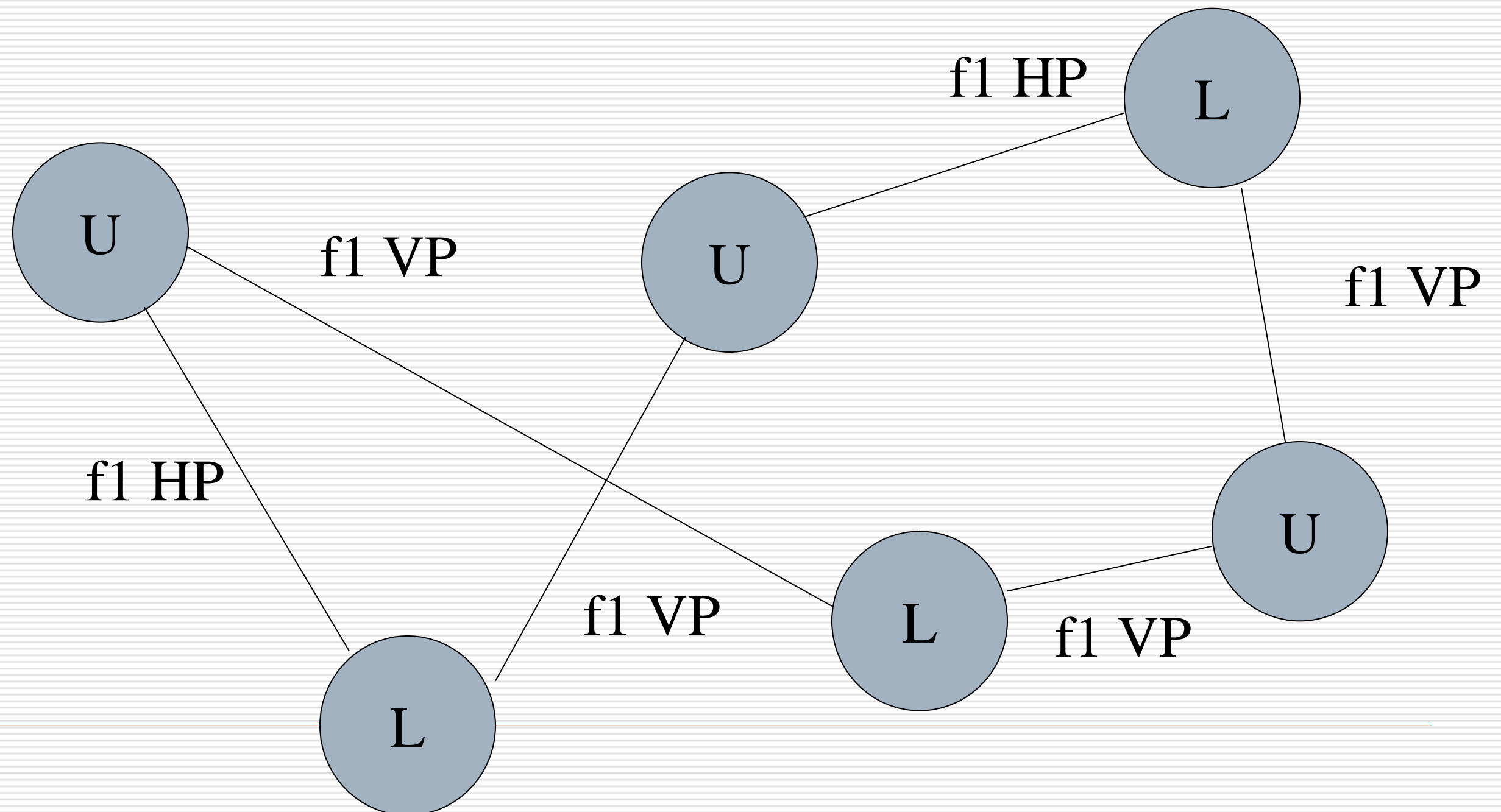
Frekvencijsko planiranje za različite topologije

Kaskadna konfiguracija



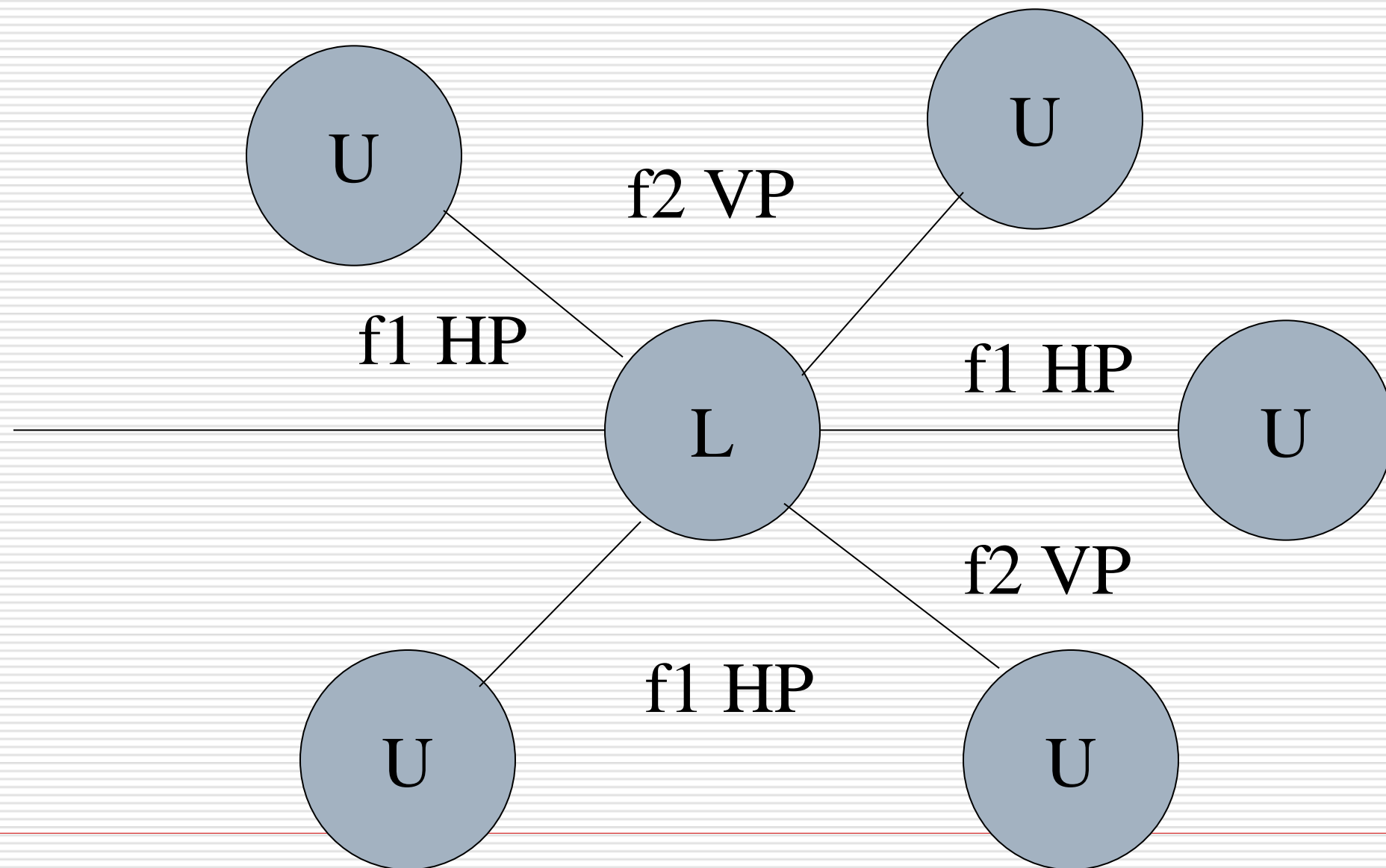
Konfiguracija prstena

- Ako se prsten sastoji od neparnog broja sajtova, javlja se konflikt obzirom na dupleksne opsege, pa se koristi promjena frekvencijskog opsega.



Konfiguracija zvijezde

- Link koji prenosi saobraćaj van hub-a treba koristiti drugi frekvencijski opseg u odnosu na onaj koji se koristi unutar klastera.



Margina fedinga interferencije

Za pouzdanu predikciju performansi digitalne radio-putanje, moraju se uzeti u obzir efekti interferencije.

Interferencija u mikrotalasnim sistemima nastaje kao posljedica prisustva neželjenog signala u prijemniku. Kada ovaj signal pređe dozvoljeni nivo, kvalitet željenog prijemnog signala opada.

Da bi se to spriječilo, odnos nivoa željenog prijemnog signala i neželjenog (interferentnog) signala mora uvijek biti veći od određene vrijednosti praga.

Margina fedinga interferencije

- U normalnim uslovima bez fedinga, digitalni signal toleriše visoke nivoe interferencije, ali se u slučaju pojave tzv. dubokog fedinga teško kontroliše nivo interferencije.
 - **Adjacent-channel interference fade margin (AIFM) (u dB)** uzima se u obzir prilikom degradacije praga prijemnika obzirom na interferenciju od susjednih kanala predajnika
 - **Interference fade margin (IFM)** predstavlja dubinu fedinga u tački u kojoj RF interferencija smanjuje vrijednost BER na 1×10^{-3} . Vrijednost IFM korištena u proračunu linka zavisi od metoda koordinacije frekvencije.
-

Margina fedinga interferencije

- Koriste se dvije metode: C/I (carrier to interference) i T/I (threshold to interference) metoda.
 - C/I metod je raniji način analize razvijen za proračun interferencije za analogne linkove.
 - Noviji T/I metod, koristi threshold-to-interference (T/I) krive za određivanje maximuma interferentnih nivoa snage za različite frekvencije između predajnika (pod uticajem interferencije) i posmatranih prijemnika.
-

Margina fedinga interferencije

$$I = T - (T/I)$$

gdje je

I = max nivo snage interferencije (dBm)

T = radio-prag za 10^{-6} BER (dBm)

T/I = threshold-to-interference vrijednost (dB)
sa krive T/I za posmatrani radio

Margina fedinga interferencije

Za svaki predajnik, nivo prijemne snage u dBm se poredi sa maksimalnim nivoom snage da bi se utvrdio nivo interferencije.

- T/I krive su rezultat laboratorijskih mjerenja.

Composite Fade Margin (CFM) je margina fedinga koja se primjenjuje na proračun raspoloživosti digitalnog linka u prisustvu multipath fedinga

Margina fedinga interferencije

$$\begin{aligned} \text{CFM} &= \text{TFM} + \text{DFM} + \text{IFM} + \text{AIFM} \\ &= -10 \log (10^{-\text{TFM}/10} + 10^{-\text{DFM}/10} + 10^{-\text{IFM}/10} \\ &\quad + 10^{-\text{AIFM}/10}) \end{aligned}$$

gdje je:

TFM = margina ravnog fedinga (razlika između normalnog (bez fedinga) RSL i BER=1 x 10⁻³)

DFM = Dispersive fade margin

IFM = Interference fade margin

AIFM = Adjacent-channel interference fade margin

Margina fedinga interferencije

Modeli za proračun raspoloživosti linka u uslovima multipath-a

Za korisnika mikrotalasnog sistema od značaja je pitanje raspoloživosti (da li će se javiti prekidi u radu sistema i koliko će trajati)

Ispad digitalnog mikrotalasnog linka se javlja pri gubitku sinhronizacije Digital Signal frame-a, koji traje više od 10 sekundi. Ovi gubici se obično javljaju ako se BER poveća iznad 1×10^{-3} .

Margina fedinga interferencije

ispad (neraspoloživost) (%) = (SES/t) x 100

gdje je

t = vremenski period (u sekundama)

SES = severely errored second

Raspoloživost se izražava u procentima kao :

A = 100 - ispad (neraspoloživost)

Digitalni link je neraspoloživ za uslugu ili verifikaciju poslije deset uzastopnih $BER > 1 \times 10^{-3}$ SES period ispada.

Kvalitet i raspoloživost

- ITU-T preporuke G.801, G.821 and G.826 definišu performansne greške i raspoloživost. Ocjena digitalnih linkova se dijeli na grupe: visoku, srednju i lokalnu.
 - Srednja grupa ima 4 nivoa klasifikacije kvaliteta.
-

Kvalitet i raspoloživost

Primjeri:

- ❑ Klasa 3 srednje grupe se primjenjuje za pristupne mreže.
 - ❑ Visoka grupa se primjenjuje za kičmeni (backbone) dio mreže.
-

Poboljšanje kvaliteta mikrotalasnog linka

□ Hardver

- Hot standby zaštita
- Multichannel i multiline zaštita

□ Diverziti

- prostorni
 - ugaoni
 - frekvencijski
 - crossband
 - diverziti rute
 - hibridni
 - diverziti medija
-

Poboljšanje kvaliteta mikrotalasnog linka

□ Antirefleksivni sistemi

□ Pojačavači

■ aktivni

■ pasivni

Osnovne preporuke u planiranju

- Koriste se viši frekvencijski opsezi za kraće hopove i niži frekvencijski opsezi za duže hopove
- Izbjegavaju se niži frekvencijski opsezi u gradskim područjima
- Koristi se star i hub konfiguracija za manje mreže i ring konfiguracija za veće mreže
- U oblastima sa većom vlagom vazduha koriste se opsezi ispod 10 GHz.
- Koriste se zaštitni sistemi (1+1) za sve linkove većeg značaja
- Planira se proširenje sistema

Osnovne preporuke u planiranju

- ❑ Obavlja se detaljno planiranje putanje na svim mikrotalasnim hopovima
 - ❑ Ispod 10 GHz, ispadi se javljaju sa povećanjem dužine putanje
 - ❑ Multipath efekti se mogu smanjiti povećanjem margine fedinga i nekom od metoda diverzitija.
-