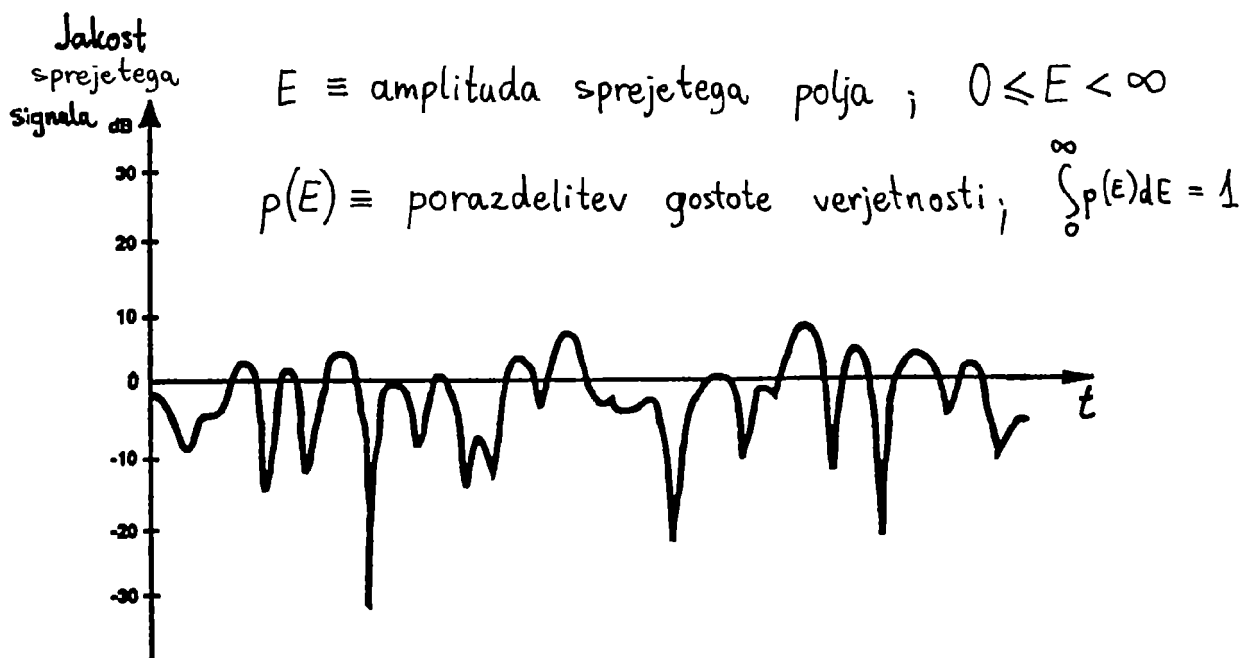
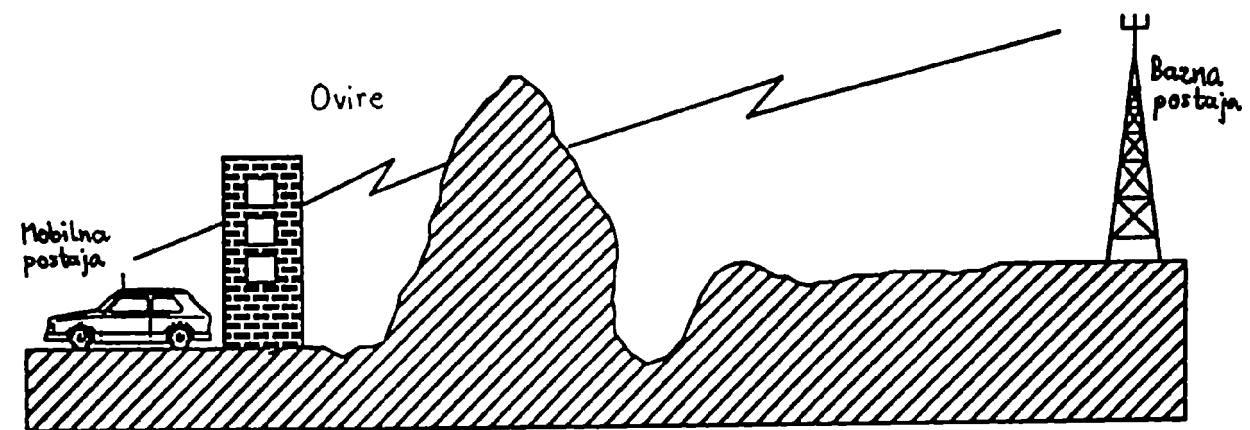


## 4. Presih sprejema v radijskih zvezah

### 4.1. Statistika presiha sprejema

Jakost sprejema računsko določimo tako, da upoštevamo razširjanje radijskih valov, slabljenje snovi (ozračja) in ovir na poti radijskih valov. V resničnih okoliščinah lahko jakost sprejema močno odstopa od izračunane vrednosti ter se spreminja s časom in majhnimi premiki sprejemnika oziroma oddajnika, kot je to prikazano na sliki 4.1. Točen izračun jakosti sprejema namreč zahteva izredno veliko število podatkov o poti radijskih valov, ki jih pogosto natanko ne poznamo oziroma jih preprosto ne moremo vključiti v model razširjanja.



Slika 4.1 – Presih jakosti sprejema radijskih valov.

Prenos informacije zahteva določeno jakost sprejetih signalov. Jakost sprejema lahko opišemo z velikostjo (amplitudo) električnega polja  $E$  (brez smeri vektorja in brez faze, saj ta dva

za zmogljivost zveze nista pomembna) oziroma z močjo sprejetega signala  $P_s$ . Ko ne moremo računsko natančno določiti jakosti sprejema, si pomagamo s statističnim računom, bolj točno z gostoto verjetnosti  $p(E)$ . Povsem jasno mora biti radijski sprejemnik izdelan tako, da se hitro prilagaja spremembam jakosti oziroma presihanju sprejema.

Iz dane porazdelitve gostote verjetnosti  $p(E)$  lahko določimo različne statistične veličine sprejetega polja, kot je to prikazano na sliki 4.2. Dosti bolj kot srednja vrednost sprejetega polja  $\langle E \rangle$  oziroma medianska vrednost  $E_{med}$  je zanimiva srednja vrednost kvadrata polja  $\langle E^2 \rangle$ , saj ta določa povprečno sprejeto moč in s tem zmogljivost zveze. Povprečna sprejeta moč je običajno hkrati podatek, ki ga dobimo računsko za določeno vrsto radijske zveze.

$$\langle E \rangle = \int_0^{\infty} E p(E) dE \equiv \text{srednja vrednost sprejetega polja}$$

$$\langle E^2 \rangle = \int_0^{\infty} E^2 p(E) dE \equiv \text{srednja kvadratna vrednost } E \\ (\text{povprečna moč sprejetega signala})$$

$$\sigma^2 = \langle (E - \langle E \rangle)^2 \rangle = \int_0^{\infty} (E - \langle E \rangle)^2 p(E) dE \equiv \text{varianca polja}$$

$$\sigma^2 = \langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2 ; \quad \sigma \equiv \text{standardna deviacija}$$

$$\int_0^{E_{med}} p(E) dE = \int_{E_{med}}^{\infty} p(E) dE ; \quad E_{med} \equiv \text{medianska vrednost polja}$$

slika 4.2 - Statistične veličine jakosti sprejema.

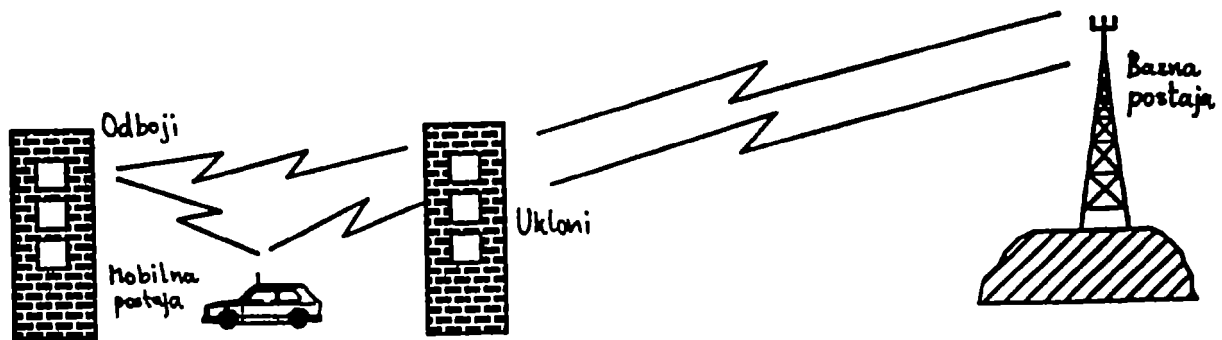
Srednje kvadratno odstopanje oziroma standardna deviacija seveda zavisita od vzrokov oziroma fizikalnega mehanizma presiha sprejema. Presih sprejema je lahko zelo globok pri razširjanju radijskih valov po več različnih poteh. Obratno je presih komaj zaznaven pri radijskih zvezah z neposredno vidljivostjo, še posebno pri satelitskih zvezah.

#### 4.2. Porazdelitve gostote verjetnosti presiha

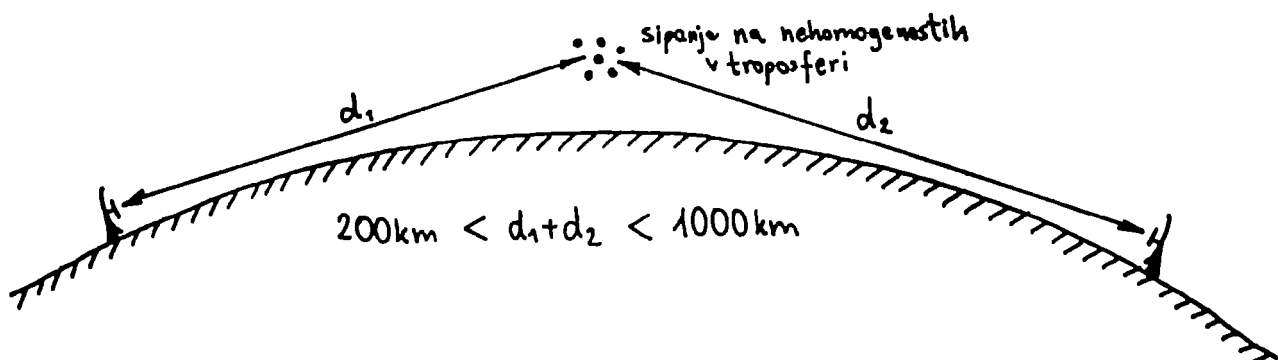
Porazdelitev gostote verjetnosti  $p(E)$  in vse statistične veličine, ki jih lahko iz nje izračunamo, so posledica fizikalnega ozadja pri razširjanju radijskih valov. Če poznamo fizikalno ozadje in razumemo vzroke presiha, lahko z razmeroma

maloštevilnimi meritvami in preprostimi izračuni določimo porazdelitev gostote verjetnosti  $p(E)$ .

Najslabši primer presiha sprejetega polja je razširjanje radijskih valov po več različnih poteh brez neposredne radijske vidljivosti. Tedaj je sprejeto polje kazalčna vsota velikega števila majhnih in približno enako velikih prispevkov. Takšni primeri so mobilna zveza brez neposredne vidljivosti, kjer se seštevajo odboji in ukloni kot na sliki 4.3, zveza preko sipanja v troposferi kot na sliki 4.4 ter zveza preko loma in odboja od ionosfere.



Slika 4.3 – Mobilna zveza brez neposredne vidljivosti.



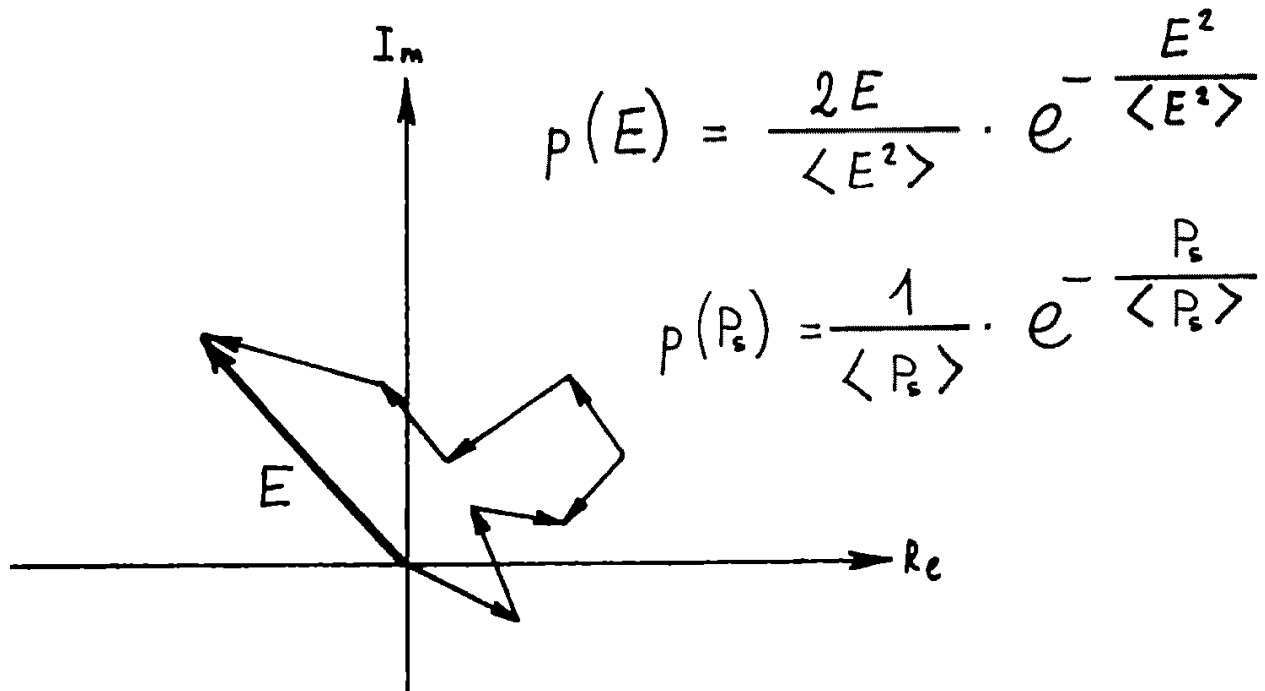
Slika 4.4 – Zveza preko sipanja v troposferi.

Kazalčna vsota velikega števila majhnih prispevkov enakega velikostnega reda, ki pa imajo naključno amplitudo in fazo, daje skupni kazalec z naključno amplitudo in fazo. v kartezičnih koordinatah to pomeni, da imata tako realna komponenta kot imaginarna komponenta kazalčne vsote Gauss-ovo porazdelitev gostote verjetnosti.

Zmogljivost zveze določa predvsem sprejeta moč oziroma amplituda sprejetega polja. Pri pretvorbi kartezičnega koordinatnega sistema (realna in imaginarna komponenta) v polarni koordinatni sistem (amplituda in faza) dobimo Rayleigh-jevo porazdelitev gostote verjetnosti za amplitudo polja in povsem naključno fazo (vse faze so enako verjetne). Rayleigh-jeva porazdelitev gostote verjetnosti amplitude polja  $p(E)$  je prikazana na sliki 4.5.

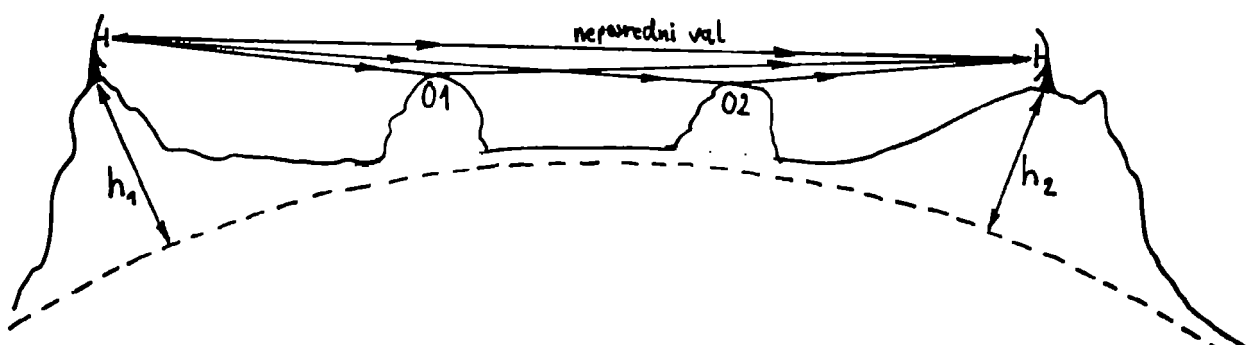
Rayleigh-jeva porazdelitev gostote verjetnosti amplitude

sprejetega polja  $p(E)$  je natančno določena z enim samim podatkom: srednjo vrednostjo kvadrata sprejetega polja  $\langle E^2 \rangle$  oziroma povprečno močjo sprejetega signala  $\langle P_s \rangle$ . Rayleigh-ova porazdelitev daje pri enaki povprečni moči sprejetega signala  $\langle P_s \rangle$  največjo verjetnost, da bo jakost sprejetega polja zelo majhna in s tem tudi največjo verjetnost izpada radijske zveze v primerjavi z drugimi porazdelitvami.

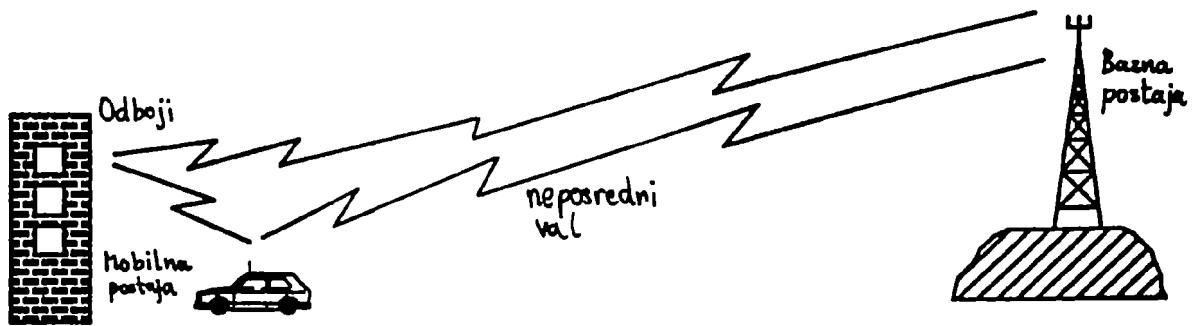


slika 4.5 - Rayleigh-jeva porazdelitev gostote verjetnosti.

Radijska zveza z neposredno vidljivostjo, ki jo motijo odboji, vsekakor predstavlja izboljšanje glede na Rayleigh-ovo statistiko. Primera sta mikrovalovna zveza z odboji na sliki 4.6 oziroma mobilna zveza z vidljivostjo na sliki 4.7.

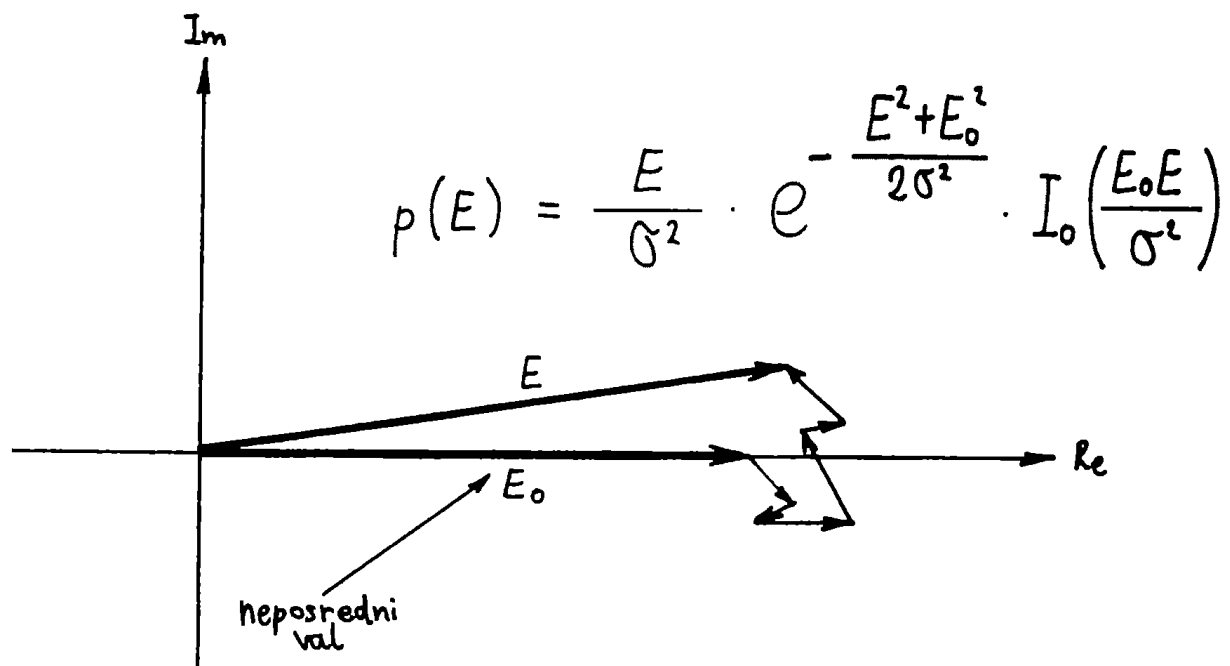


slika 4.6 - Mikrovalovna usmerjena zveza z odboji.



Slika 4.7 – Mobilna zveza z neposredno vidljivostjo.

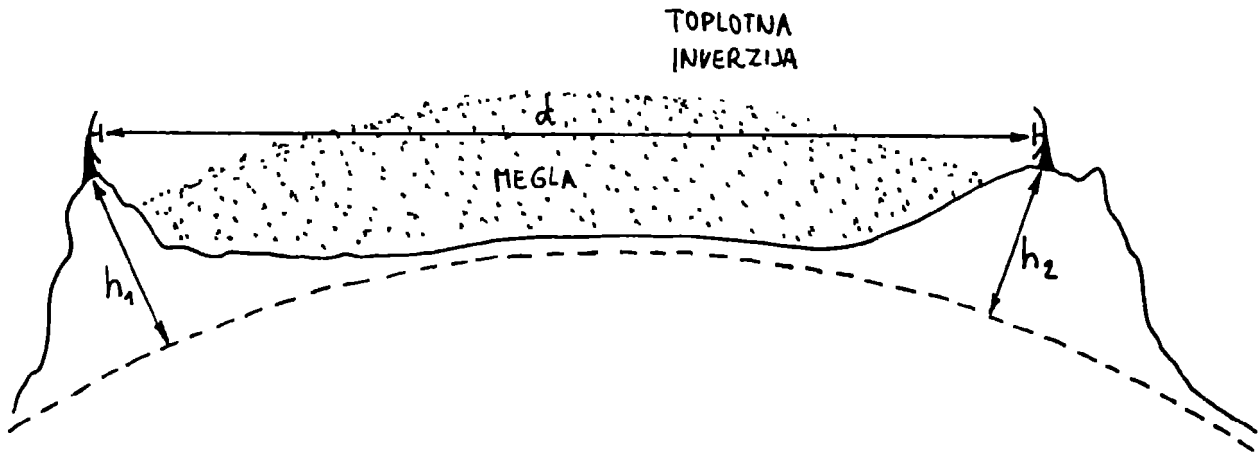
Kazalčna vsota po velikosti prevladujočega prispevka (neposredni žarek) in velikega števila majhnih prispevkov (odboji in ukloni) daje skupni kazalec z amplitudo in fazo, ki le malo odstopata od velikega prispevka. Pripadajoča porazdelitev gostote verjetnosti jakosti sprejetega polja  $p(E)$  je Rice-ova porazdelitev, ki je prikazana na sliki 4.8.



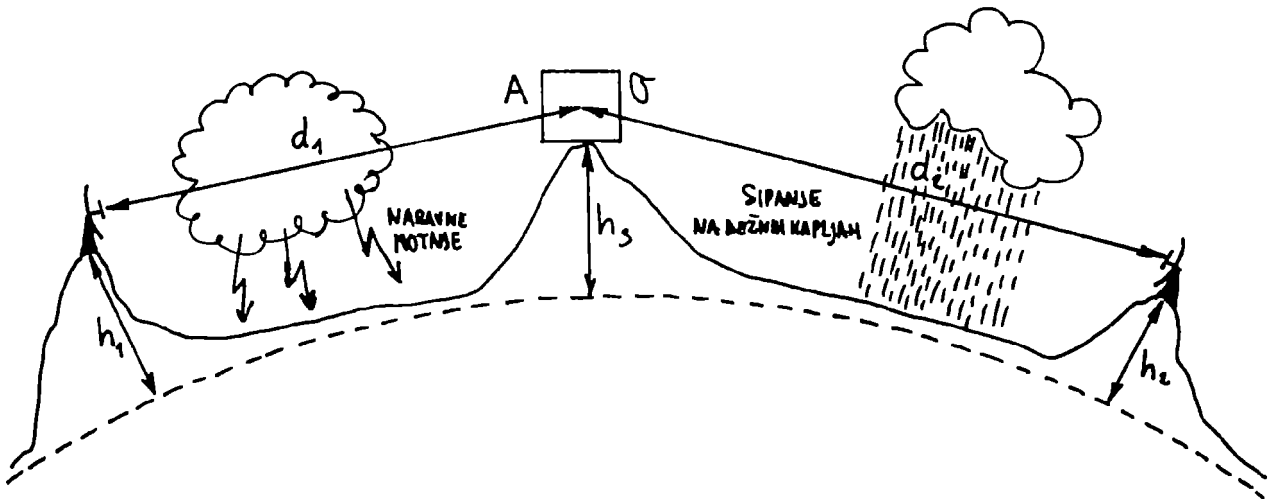
Slika 4.8 – Rice-ova porazdelitev gostote verjetnosti.

Rice-ova porazdelitev potrebuje za natančen opis dva parametra: jakost velikega (neposrednega) kazalca  $E_0$  in srednje kvadratno odstopanje vsote malih prispevkov  $\sigma^2$ . Pri enaki povprečni moči sprejema daje seveda Rice-ova porazdelitev znatno manjšo verjetnost izpada radijske zveze.

V nekaterih primerih natančnega fizikalnega ozadja presiha sprejema ne znamo določiti. V to skupino sodijo vplivi vremenskih pojavov, naprimer (ekstremen) lom radijskih valov na plasti inverzije (superrefrakcija) na sliki 4.9 v zemeljskih in satelitskih mikrovalovnih usmerjenih zvezah.



slika 4.9 - Presih zaradi toplotne inverzije.



slika 4.10 - sipanje in motnje na zvezi preko odbojnika.

Na vremenske pojave so še posebno občutljive mikrovalovne zveze preko pasivnih odbojnikov, prikazane na sliki 4.10, saj je prenosno slabljenje takšnih zvez zelo visoko. V vseh teh primerih si pomagamo z logaritemsko-normalno porazdelitvijo gostote verjetnosti jakosti sprejema, ki je prikazana na sliki 4.11.

$$p(E_{dB}) = \frac{1}{\sigma_{dB} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E_{dB} - \langle E_{dB} \rangle)^2}{2\sigma_{dB}^2}}$$

slika 4.11 - Log-normalna porazdelitev gostote verjetnosti.

Pri log-normalni porazdelitvi računamo z logaritemskimi enotami jakosti sprejema (decibeli) in predpostavljamo Gauss-ovo porazdelitev v logaritemski skali moči. Gauss-ova porazdelitev je določena z dvema parametroma: povprečno vrednostjo sprejetega

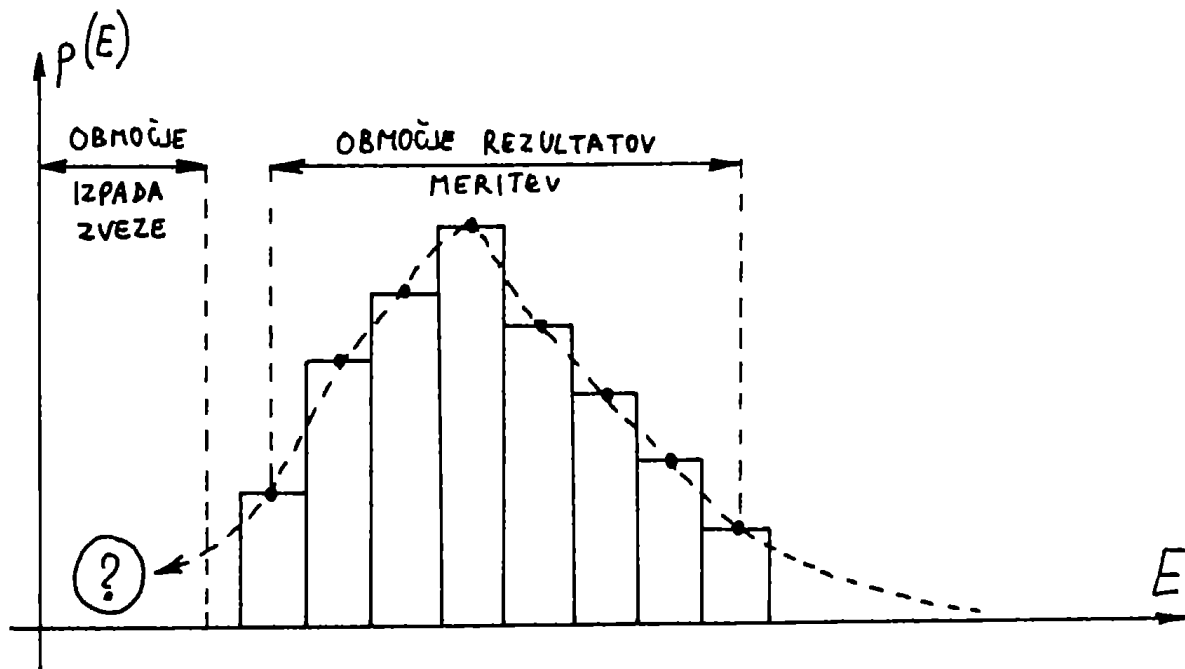
polja  $\langle E_{dB} \rangle$  in njenim srednjim kvadratnim odstopanjem  $\sigma_{dB}^2$ .

Log-normalno porazdelitev, ki ni fizikalno utemeljena, običajno uporabljamo v primerih kakovostnih zvez, kjer je presih plitev in je verjetnost izpada zelo majhna. Kljub temu moramo biti previdni, saj od opisanih porazdelitev gostote verjetnosti prav log-normalna daje najmanjšo verjetnost izpada zveze.

#### 4.3. Meritev presiha in določanje statistike

Kakovost radijske zveze določimo tako, da izmerimo pogostost izpada zveze. Za zanesljiv rezultat potrebujemo zelo veliko število meritev v daljšem časovnem razdobju. Nekateri naravni pojavi so namreč vezani na letne čase, naprimer dodatno slabljenje zaradi listja na drevju ali pojav toplotne inverzije. Določeni pojavi se sploh ne zgodijo vsako leto. Veliko število meritev hkrati pomeni, da je takšen postopek zagotavljanja kakovosti radijske zveze lahko zelo drag.

Rezultate meritev moramo urediti ne glede na to, če jih imamo malo ali dosti. Rezultate meritev običajno uredimo v obliki histograma statistike presiha, kot je to prikazano na sliki 4.12. Pri urejanju histograma moramo izbrati smiselno širino stolpcev, to se pravi širino intervalov, v katere združujemo podobne rezultate meritev. Preširoki stolpci namreč pomenijo izgubo informacije meritev. Preozki stolpci vsebujejo premalo meritev, zato njihova višina zelo koleba. S povečevanjem števila meritev si lahko torej privoščimo dodatno ožanje stolpcev.



Slika 4.12 – Meritev histograma statistike presiha.

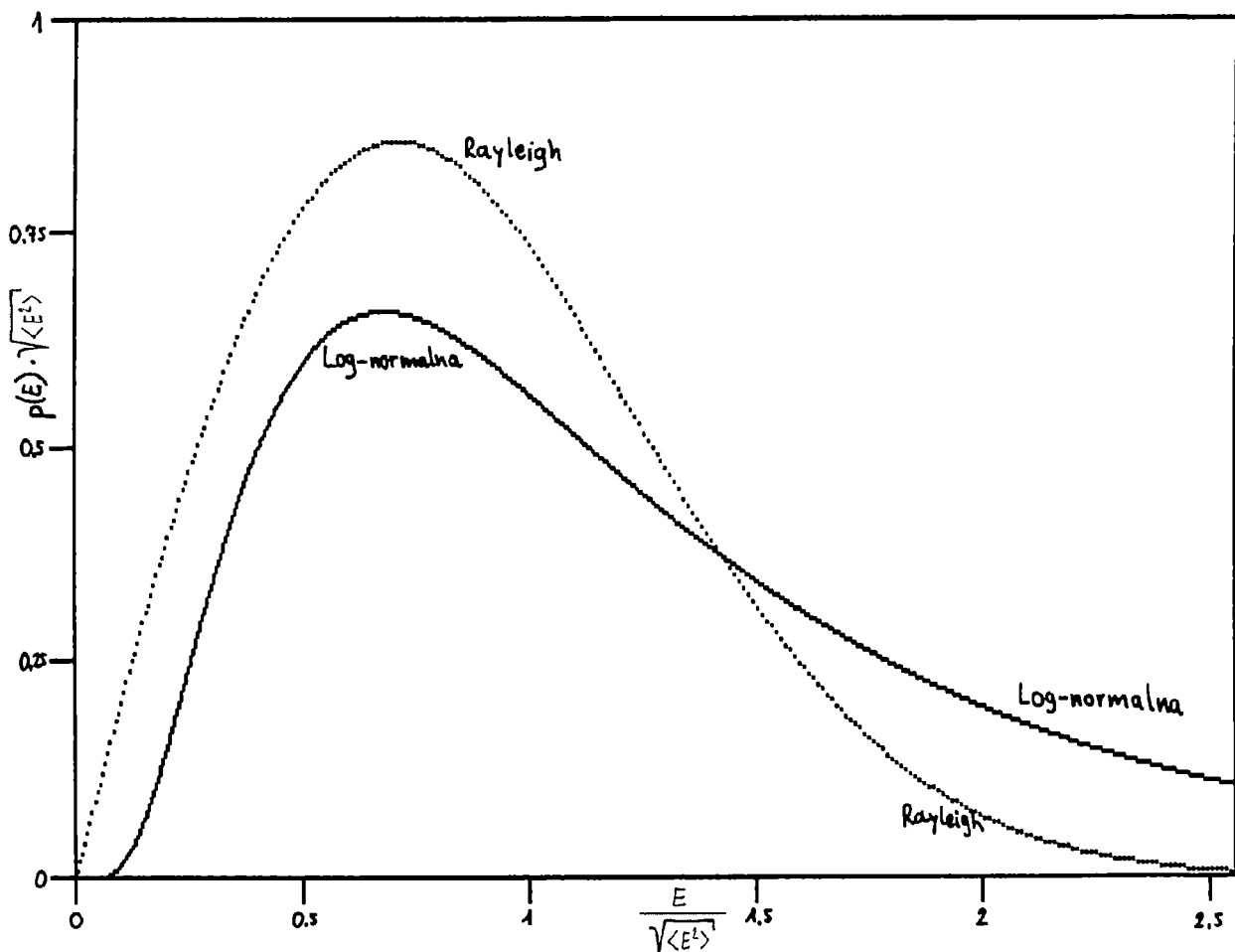
Na sliki 4.12 je nazorno razvidna glavna pomanjkljivost takšnega določanja kakovosti radijske zveze. večina meritev nam

namreč pade v področje brezhibnega delovanja zveze. Zelo malo meritev, pogosto celo nobena meritev ne pade v področje izpada zveze, ko je sprejeti signal prešibek.

Da lahko določimo pogostnost izpada radijske zveze, moramo najprej iz histograma določiti matematično krivuljo za gostoto verjetnosti jakosti sprejetega polja  $p(E)$ . Poljubno krivuljo z dovolj parametri je sicer lahko vpeti na temena stolpcev histograma, pri tem pa še vedno ne vemo, kako naj se ta krivulja nadaljuje v področje šibkih signalov, kjer imamo zelo malo ali sploh nobenega merilnega rezultata.

Na tem mestu upoštevamo fizikalno razlago presiha jakosti sprejema. Fizikalna razlaga nam pomaga poiskati ustrezno krivuljo: Rayleigh, Rice, log-normalna, vmesna krivulja med navedenimi ali celo kaj drugega. Iz določene matematične krivulje za statistiko presiha je potem preprosto izračunati pogostost izpada zveze za različne primere.

Kaj pomeni izbira več ali manj ustrezne krivulje, je prikazano na sliki 4.13. Tu imata log-normalna in Rayleigh-jeva porazdelitev približno enako široko teme. Pogostost pojava zelo šibkih signalov in s tem povezana pogostost izpada zveze pa sta dosti večji pri Rayleigh-jevi porazdelitvi kot pri log-normalni.



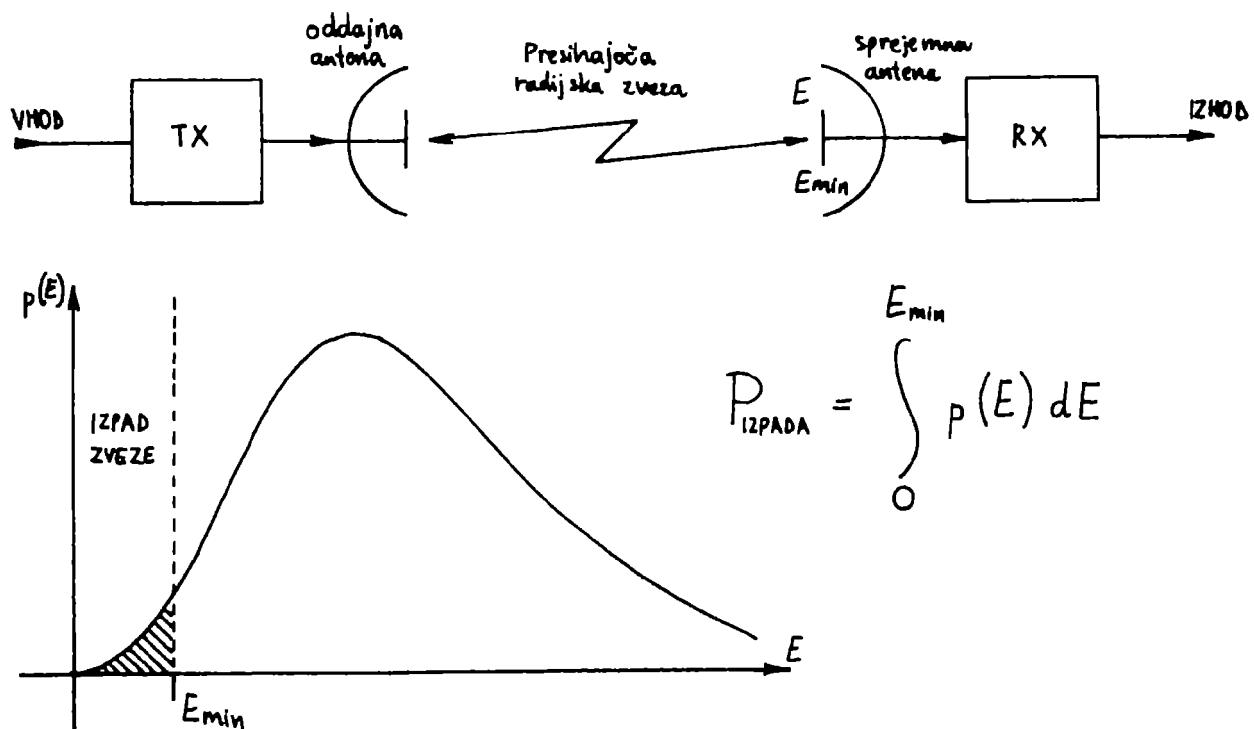
Slika 4.13 – Primerjava Rayleigh-jeve in log-norm. porazdelitve.



## 4.4. Izpad zveze in raznoliki sprejem

Presih sprejema lahko povzroči izpad radijske zveze na različne načine. Sprejeti signal lahko postane zaradi presiha prešibek in razmerje signal/šum oziroma signal/motnja pade pod sprejemljivo mejo. Druga možnost je ta, da ima sprejeti signal sicer zadostno moč, vendar je tako popačen, da iz njega ne znamo več izluščiti prenašane informacije. Popačenje sicer ni teoretska omejitev zveze in se da s primerno obdelavo v sprejemniku vsaj delno odpraviti, nezadostna jakost signala pa v vsakem primeru povzroči zmanjšanje zmogljivosti in izpad zveze.

Izračun verjetnosti izpada zaradi presiha jakosti sprejema preproste radijske zveze z enim samim oddajnikom in enim samim sprejemnikom je prikazan na sliki 4.14. Če poznamo porazdelitev gostote verjetnosti jakosti sprejemanega polja  $p(E)$ , to preprosto integriramo po vsem področju vrednosti  $E$ , ki povzročijo izpad zveze. Običajno gre to področje od nič do vrednosti  $E_{min}$ , ki še zagotavlja delovanje radijske zveze. Verjetnost izpada zveze je torej sorazmerna črtkani površini lika pod krivuljo  $p(E)$  od izhodišča do vrednosti  $E_{min}$ .



Slika 4.14 - Izračun verjetnosti izpada zveze.

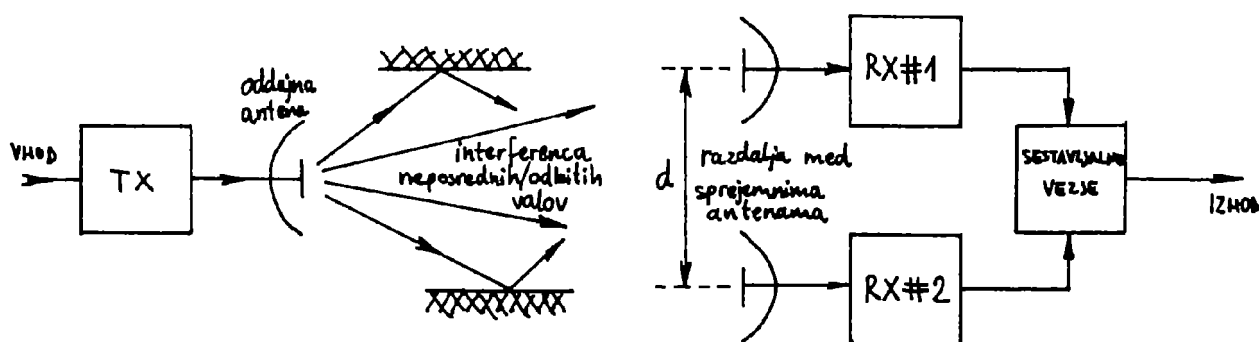
Povečanje moči oddajnikov običajno ne zmanjša verjetnosti izpada zveze, saj se hkrati z jakostjo signalov poveča tudi jakost motenj drugih oddajnikov in ostane razmerje signal/motnja nespremenjeno. Povečevanje občutljivosti sprejemnika ima naravno mejo v obliki toplotnega šuma. Verjetnost izpada zveze lahko izboljšajo edino oddajne in sprejemne antene z večjo smernostjo in večjim dobitkom, če si glede na uporabo radijske zveze seveda lahko privoščimo bolj usmerjene antene.

Verjetnost izpada lahko izboljšamo tudi tako, da uporabimo dve ali več vzporednih radijskih zvez. Pri tem izkoriščamo raznolikost (diversity) presiha različnih zvez. Če sta presiha različnih zvez nekorelirana, je malo verjetno, da obe zvezi izpadeta istočasno. Če dovolj dobro poznamo mehanizem presiha, lahko obe zvezi izvedemo celo tako, da presih sprejema ene zveze izključuje istočasni presih druge zveze.

Za izvedbo raznolikosti v večini primerov zadošča raznoliki sprejem. To pomeni, da namestimo dva različna sprejemnika, ki oba sprejemata signal istega oddajnika v različnih pogojih. Raznoliki sprejem zahteva dve sprejemni anteni in dva sprejemnika. Pri praktični uporabi lahko preprosto izberemo izhod tistega sprejemnika, ki daje boljše razmerje signal/šum ali signal/motnja.

Optimalno sestavljanje izhodov obeh sprejemnikov lahko da še nekoliko manjšo verjetnost izpada. Pri raznolikem sprejemu potrebujemo le en oddajnik in eno oddajno anteno, kar pomeni, da raznolikost v tem slučaju ne zahteva dodatne energije za delovanje oddajnika niti ne povečuje motenj drugim uporabnikom.

Prostorski raznoliki sprejem je prikazan na sliki 4.15 in je ena od najpogosteje uporabljenih raznolikosti. Sprejemni anteni namestimo na čimvečji razdalji  $d$ , da sta presiha med sabo čimbolj nekorelirana. Če poznamo pričakovano razliko v dolžini poti neposrednih in odbitih valov, lahko sprejemni anteni namestimo celo tako, da presih sprejema na eni anteni izključuje istočasni presih na drugi anteni. Žal lahko postane potrebna razdalja med antenama zelo velika. Sprejemni anteni sicer lahko namestimo na manjši razdalji, kar pomeni, da bo presih delno koreliran in izboljšanje kakovosti zveze ne bo tako veliko.



Slika 4.15 - Prostorski raznoliki sprejem.

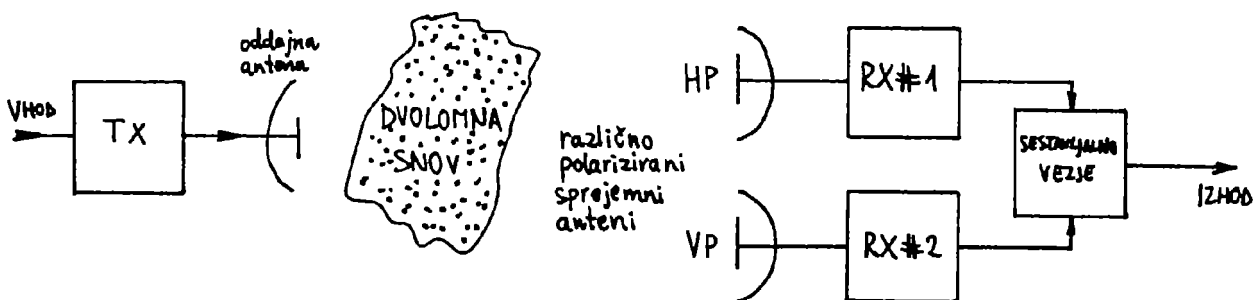
Smerni raznoliki sprejem lahko uporabimo v primeru, ko za sprejem uporabljamo usmerjene antene. Pri tem vsaka sprejemna antena sprejema uklone in odboje od različnih ovir, kot je to prikazano na sliki 4.16. Razdalja med sprejemnima antenama je pri tem nepomembna. Anteni sta lahko nameščeni na istem mestu, kar pomeni prihranek glede na prostorski raznoliki sprejem, naprimer eno samo veliko zrcalo z dvema žarilcema.



Slika 4.16 - Smerni raznoliki sprejem.

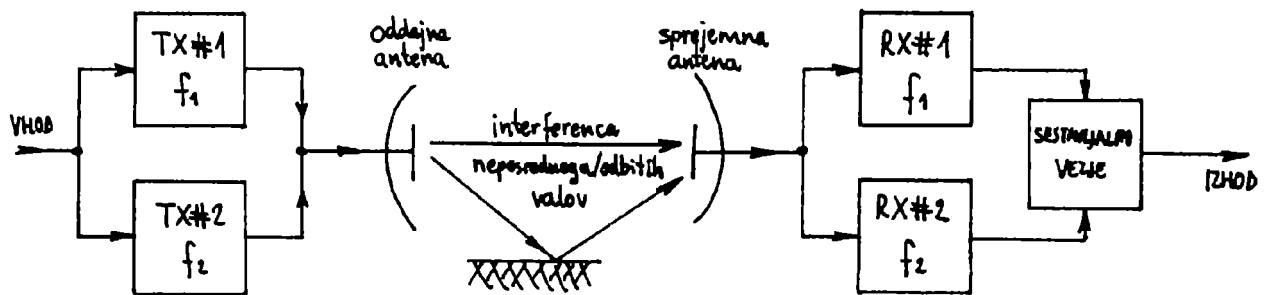
Polarizacijski raznoliki sprejem uporabimo v primeru, ko računamo na dvolomnost prenosne poti, ki naključno menja polarizacijo radijskih valov. Ionosfera je preprost zgled prenosne poti iz dvolomne snovi, ki suče in spreminja polarizacijo radijskih valov. Odboj od dielektrikov je prav tako odvisen od polarizacije vpadnega vala: polarizacija odbitega vala je v splošnem različna od polarizacije vpadnega vala. Končno predstavljajo naravne ovire, naprimer stebila in veje dreves, polarizacijsko odvisno slabljenje.

Polarizacijski raznoliki sprejem je prikazan na sliki 4.17. Tudi tu potrebujemo dve anteni in dva sprejemnika. Anteni se lahko nahajata na istem mestu in imata lahko poljuben smerni diagram. Zato je rešitev s polarizacijsko raznolikostjo zelo priljubljena v sistemih radijskih zvez brez neposredne vidljivosti.



Slika 4.17 - Polarizacijski raznoliki sprejem.

Ko ne moremo postavljati več različnih anten, si pomagamo s frekvenčno raznolikostjo, kot je to prikazano na sliki 4.18. Frekvenčna raznolikost ni zastonj: potrebujemo dva oddajnika in dva sprejemnika. Isto informacijo oddajamo na dveh različnih frekvencah, torej potrebujemo dvakratno energijo za delovanje oddajnika in dvakratni radiofrekvenčni spekter. Frekvenci obeh oddajnikov  $f_1$  in  $f_2$  naj bosta čimbolj razmaknjeni, da sta presih radijskih zvez na različnih frekvencah med sabo nekorelirana.



Slika 4.18 – Frekvenčna raznolikost.

Frekvenčno raznolikost običajno izvedemo z enim samim oddajnikom in enim samim sprejemnikom tako, da sprejemnik in oddajnik usklajeno skačeta po različnih frekvencah. Frekvenčno skakanje seveda zahteva povečano zmogljivost oddajnika, da sprejemnik lahko iz sprejetih podatkov nadomesti izgubljeno informacijo na tistih frekvenčnih kanalih, ki jih je zadušil presih.

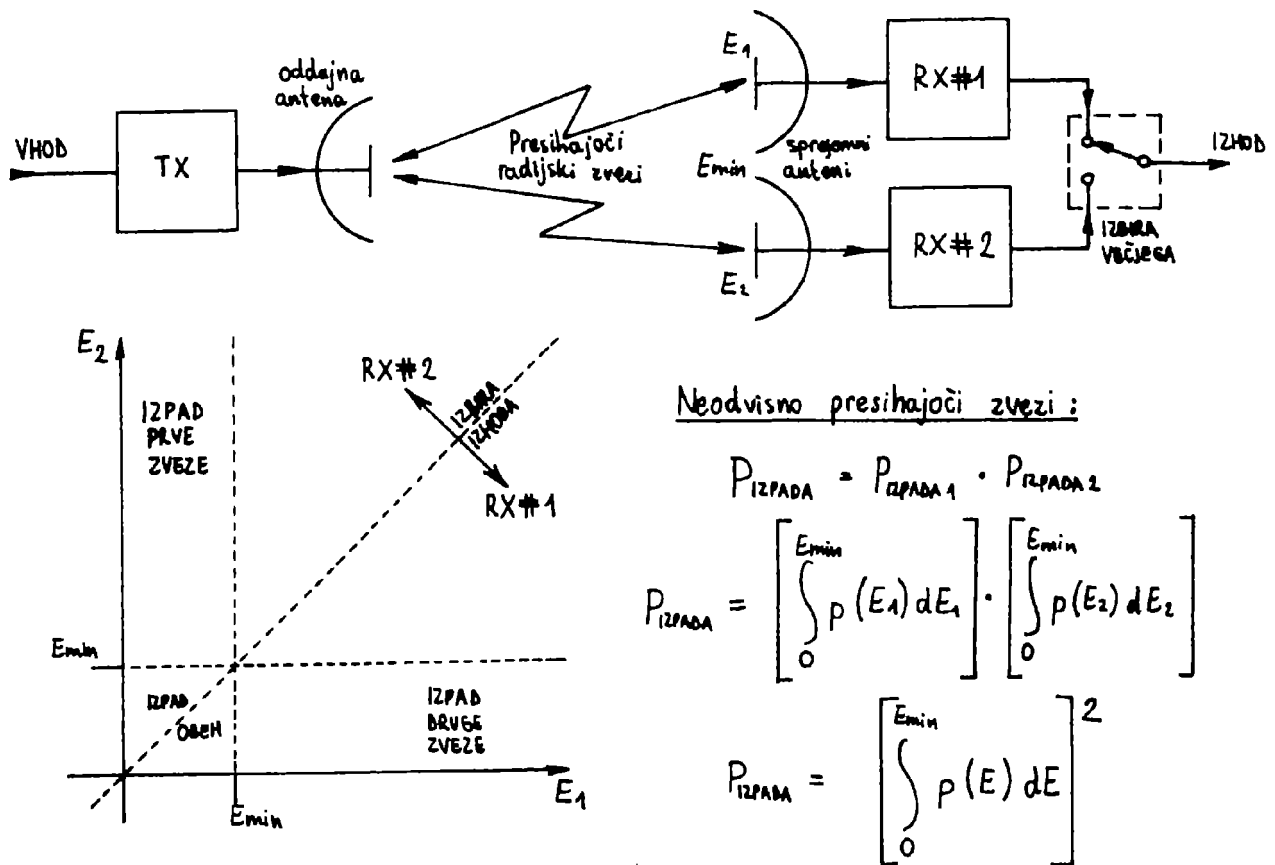
Ko se oddajnik oziroma sprejemnik premikata oziroma se s časom spreminja prenosna pot (premikajoče ovire, dnevne spremembe v ionosferi) lahko uporabimo tudi časovno raznolikost. Oddajnik po določenem času ponavlja isto sporočilo. Tudi časovna raznolikost ni zastoj. Oddajnik porabi za prenos enake količine informacije več energije in več radiofrekvenčnega spektra, ko ponavlja oddajo iste informacije.

Izračun verjetnosti izpada zveze pri raznolikem sprejemu je prikazan na sliki 4.19. Če sta presiha obeh zvez med sabo nekorelirana, sta povsem nekorelirani tudi jakosti sprejetih polj  $E_1$  in  $E_2$ . Jakosti  $E_1$  in  $E_2$  lahko tedaj narišemo vsako v svoji dimenziji na dvodimenzijskem diagramu.

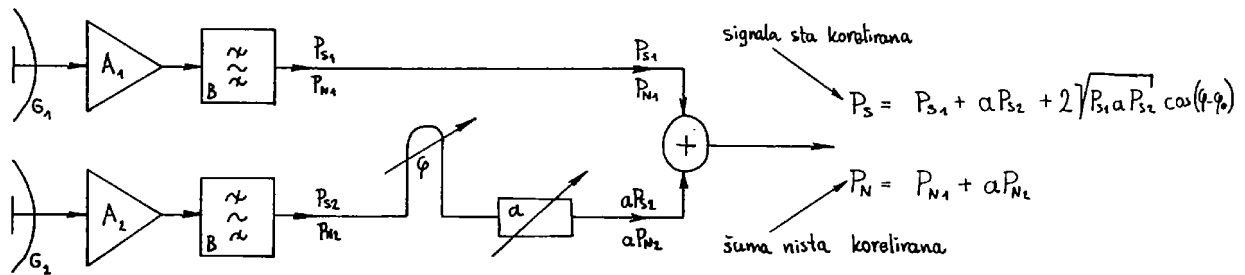
Če preprosto izbiramo boljši sprejemnik, potem na diagramu izbiramo izhod sprejemnika glede na diagonalo diagrama  $E_1, E_2$ . Izpad obeh radijskih poti dobimo v spodnjem levem kvadratu. Če imata obe zvezi enako statistiko presiha in sta presiha popolnoma nekorelirana, je skupna verjetnost izpada zveze kar kvadrat verjetnosti izpada posamezne zveze.

Iz diagrama na sliki 4.19 lahko tudi razberemo, kaj lahko pridobimo z optimalnim sestavljanjem izhodov sprejemnikov namesto dosti bolj preproste izbire boljšega. Optimalno sestavljanje lahko izkoristi še delček površine spodnjega levega kvadrata s stranico  $E_{min}$ , kjer vsaka zveza sama zase sicer izpade, optimalna vsota obeh signalov pa je še nad sprejemljivo mejo. Dodatno izboljšanje verjetnosti izpada je tako majhno, da običajno ne opravičuje tehnično zahtevnega optimalnega sestavljanja izhodov (slika 4.20).

Pri optimalnem sprejemu nastavimo medsebojno fazo obeh signalov tako, da se kazalca signalov seštevata. Faza šuma je nepomembna, saj sta šuma nekorelirana. Končno izberemo takšno razmerje ojačenja obeh sprejemnikov, da je razmerje signal/šum vsote obeh izhodov največje.



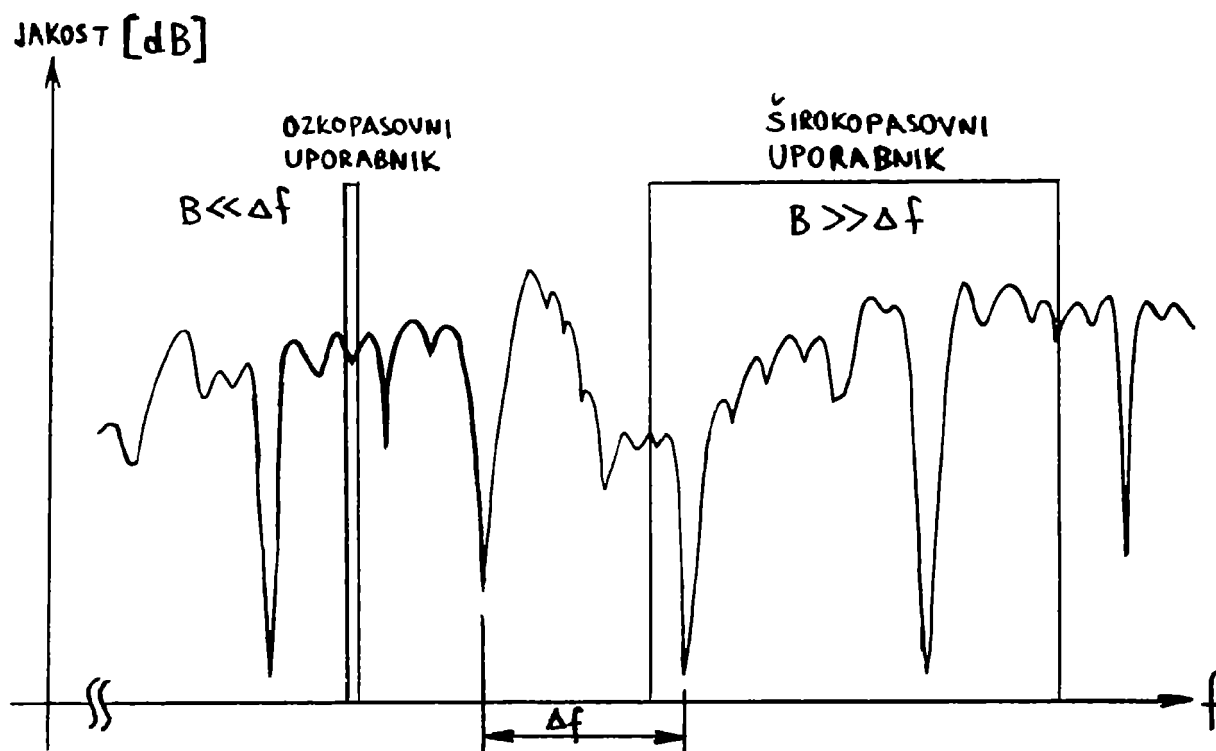
slika 19 - verjetnost izpada pri raznolikem sprejemu.



slika 20 - optimalno sestavljanje izhodov.

#### 4.5. Popačenje prenosne funkcije

Pri obravnavi presiha sprejema smo se v glavnem ukvarjali z jakostjo sprejema na eni sami frekvenci. Prenos informacije seveda zahteva določeno pasovno širino B. Znotraj te pasovne širine se jakost sprejema lahko spreminja zaradi selektivnega presiha, kar pomeni popačenje prenosne funkcije radijskega kanala. Učinki popačenja prenosne funkcije se lahko zelo razlikujejo glede na pasovno širino B, ki jo zahteva uporabnik, in glede na periodo presiha v frekvenčnem prostoru za določeno vrsto zveze, kot je to prikazano na sliki 4.21.

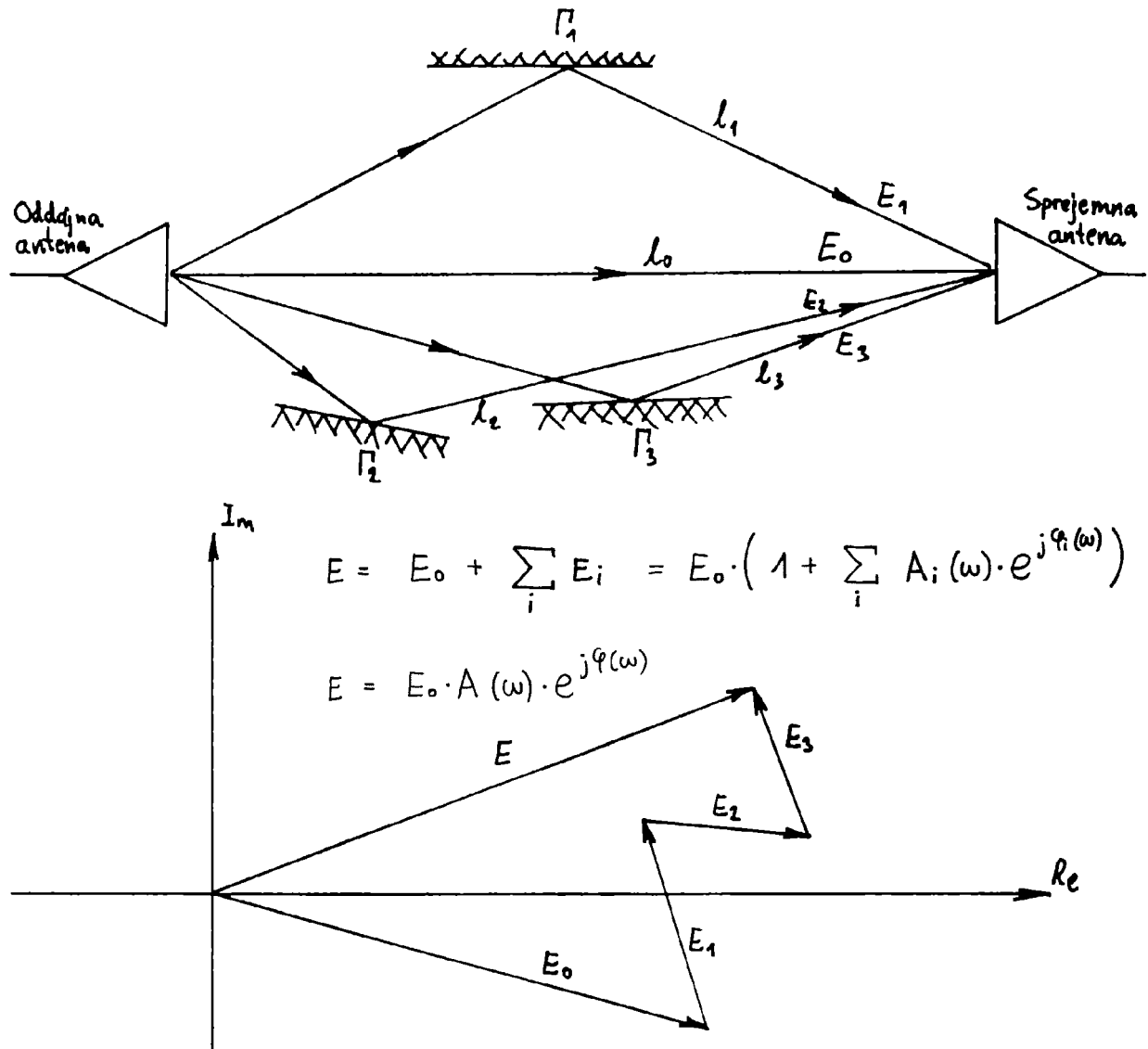


Slika 4.21 – Presih sprejema v frekvenčnem prostoru.

Perioda presiha v frekvenčnem prostoru je v glavnem odvisna od razlike dolžin poti žarkov, ki sestavljajo sprejeti signal. Razlika dolžin poti je lahko zelo velika pri kratkovalovnih zvezah preko ionosfere, kjer znaša frekvenčna perioda presiha komaj nekaj kHz. Pri mobilni telefoniji znaša frekvenčna perioda presiha nekaj sto kHz v predmestnem okolju in nekaj MHz v mestnem okolju. Končno so razlike dolžin poti znotraj sobe ali pisarne zelo majhne, zato znaša frekvenčna perioda presiha v brezvrvičnem računalniškem omrežju nekaj deset MHz ali več.

Ozkopasovni uporabnik s pasovno širino  $B$  dosti manjšo od periode presiha običajno ne občuti popačenja prenosne funkcije radijskega kanala. Popačenje opazi mogoče le ob ozkih minimumih, ampak v teh primerih pride do izpada zveze že zaradi nezadostne jakosti signala. Ozkopasovni uporabnik lahko zato preprosto računa verjetnost izpada svoje zveze iz statistike presiha jakosti sprejema.

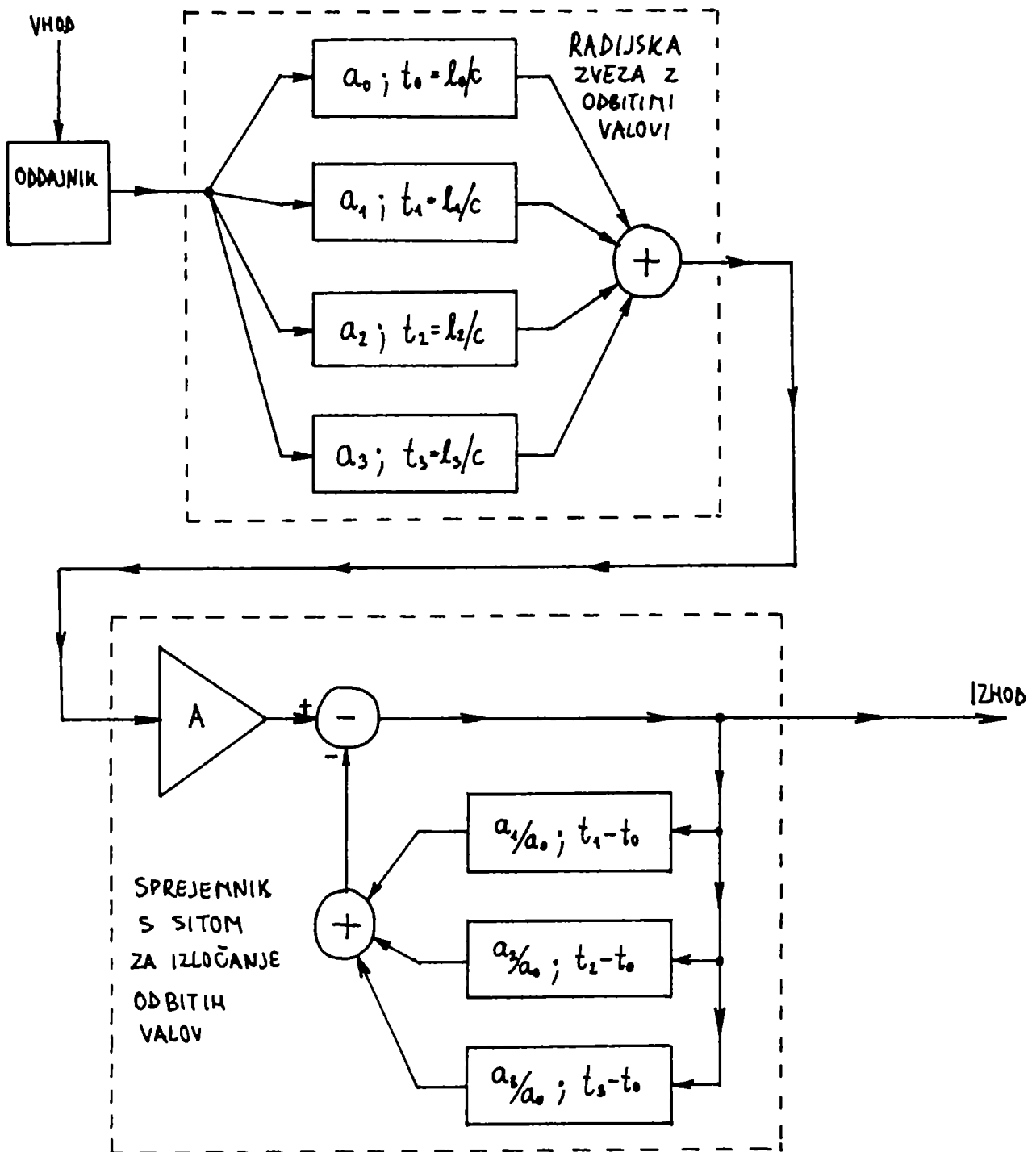
Širokopasovni uporabnik s pasovno širino  $B$  dosti večjo od periode presiha je v vsakem slučaju prizadet s popačenjem prenosne funkcije radijskega kanala. Najpreprostejši zgled je pojav "duhov" na televizijski sliki zaradi odbitih valov pri običajnem analognem zemeljskem prenosu. "Duhovi" kazijo TV sliko in lahko celo onemogočijo sinhronizacijo TV sprejemnika navkljub zelo močnim signalom brez toplotnega šuma ali drugih motenj. Večanje moči TV oddajnika ali izboljšanje občutljivosti TV sprejemnika zato prav nič ne pomagata. Pomaga le uporaba bolj usmerjenih anten, da izločimo odbite valove.



Slika 4.22 – Popačenje prenosne funkcije radijskega kanala.

Nastanek popačenja prenosne funkcije radijskega kanala je prikazan na sliki 4.22. Sprejeto električno polje je kazalčna vsota neposrednega in odbitih valov. Prenosna funkcija radijskega kanala ima zato dodatno amplitudno in fazno odvisnost, ki kazita prenašani signal.

Popačenje prenosne funkcije radijskega kanala lahko poskusimo popraviti s primernim sitom v sprejemniku, kot je to prikazano na sliki 4.23. Sito mora vsebovati enake zakasnitve in enaka slabljenja, kot so dodatno zakasnjene in oslabiljeni odbiti valovi v radijski zvezi. Sito preprosto izdela inačico odbitih valov, ki jih odšteje od sprejemanega signala.



slika 4.23 - sito za izločanje odbitih valov.

Sito za izločanje odbitih valov ima več pomanjkljivosti. Ker gre za sito z neskončnim odzivom, takšno sito lahko postane nestabilno za določen nabor koeficientov. Bolj točno se to zgodi takrat in na tisti frekvenci, kjer ima prenosna funkcija radijskega kanala globoko ničlo. Ob lokalnih minimumih prenosne funkcije radijskega kanala mora seveda sito ustrezno ojačati dani frekvenčni pas, kar pomeni znatno poslabšanje razmerja signal/šum.

Končno si mora sprejemnik periodično sam izračunati



koeficiente sita, saj se popačenje na radijski poti spreminja s časom. Signal oddajnika mora torej vsebovati tudi nekaj znanih vzorcev ali določeno redundanco, iz katerih sprejemnik izračuna koeficiente sita. V slučaju analogne zemeljske televizije so to lahko različni sinhroimpulzi, v slučaju GSM telefona pa vsebujejo podatkovni okvirji učno zaporedje sredi okvirja.

Ko sita za izločanje popačenja radijske poti ne moremo izdelati, si pomagamo z bolj preprosto rešitvijo, ki je vsaj pri številskem (digitalnem) prenosu tudi enostavno izvedljiva. Enega samega širokopasovnega uporabnika preprosto razdelimo na veliko množico ozkopasovnih uporabnikov, ki so vsak zase neobčutljivi na popačenje prenosne funkcije radijskega kanala. V sprejemniku množico ozkopasovnih kanalov sestavimo nazaj v en sam kanal visoke zmogljivosti.

Takšno rešitev z nekaj deset nosilci so uspešno uporabili že pred mnogimi desetletji za povečanje zmogljivosti kratkovalovnih radioteleprinterskih zvez preko ionosfere. Sodobna rešitev je uporaba nekaj tisoč nosilcev z OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplex) v digitalni zemeljski radiodifuziji. Ko popačenja prenosne poti ne znamo obvladati, uporabimo tehniko več vzporednih ozkopasovnih uporabnikov tudi v vrvičnih zvezah. Najbolj znana zgleda sta ADSL žični modem in tehnika valovno-dolžinskega multipleksa ali WDM (Wavelength-Division Multiplex) v svetlobnih vlaknih.

Za delitev širokopasovnega kanala na množico ozkopasovnih kanalov plačamo v radijski zvezi visoko ceno. Radijski signal z množico nosilcev ima zelo visoko razmerje med vršno in povprečno močjo. To pomeni, da bo energetski izkoristek izhodne stopnje oddajnika razmeroma zelo slab. Edina izjema je WDM v svetlobnih vlaknih, saj vlakenski laserski ojačevalniki niso omejeni z vršno močjo.

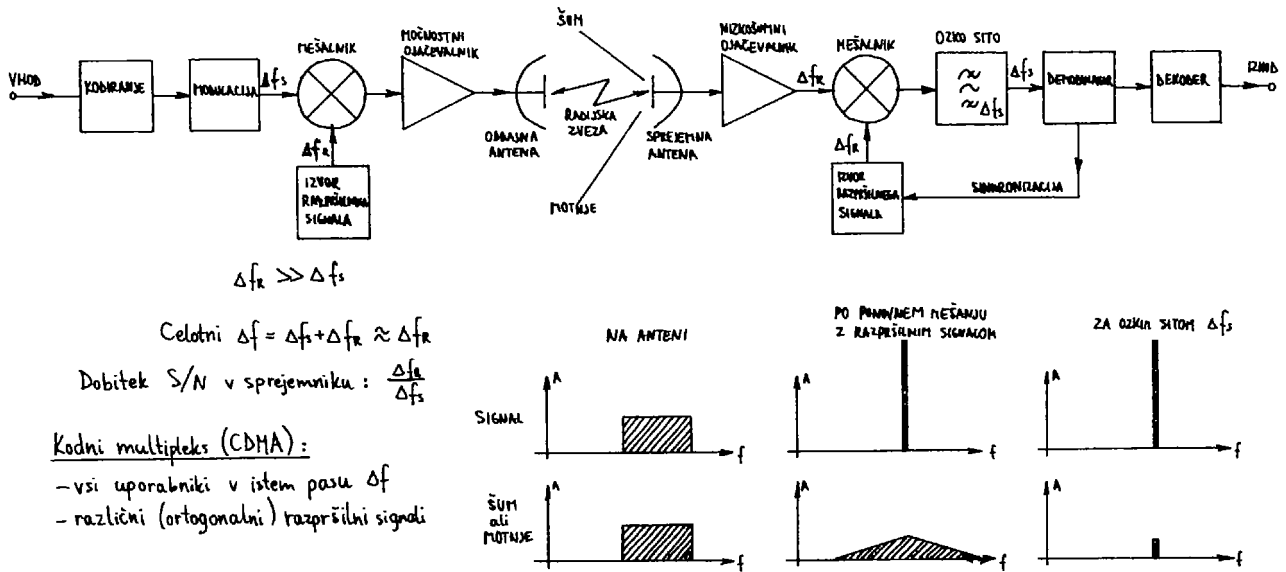
#### 4.6. Razširjeni spekter in kodni multipleks

Presih jakosti sprejema in popačenje sprejetega signala pri razširjanju po več različnih poteh zelo uspešno odpravlja tehnika razširjenega spektra (spread spectrum), ki je prikazana na sliki 4.24. Frekvenčni spekter koristnega signala pred oddajo namenoma razširimo na dosti večjo pasovno širino (velikostni razred 100-krat) in ga v sprejemniku skrčimo nazaj na prvotno vrednost. Sprejemnik seveda vsebuje popolnoma enak izvor razpršilnega signala kot oddajnik. Sprejemnikov izvor mora biti tudi natančno sinhroniziran na oddajnik.

Preprosta razlaga odpornosti razširjenega spektra na presih je v tem, da isto informacijo oddajano v dosti širšem spektru, torej preprosto nadomestimo izgubljeno v globokih minimumih. Bolj natančna razlaga je, da lahko sprejemnikov izvor razpršilnega signala sinhroniziramo le na zakasnitev enega samega žarka. Vsi ostali žarki imajo drugačne zakasnitve, zato se njihov spekter po množenju v sprejemniku še bolj razširi, torej jih sprejemnik zaduši na enak način kot šum in motnje.

Oddaja z razširjenim spektrom izgleda na prvi pogled zelo

potratna, saj uporabljamo dosti širši radiofrekvenčni kanal. Razširjeni spekter sicer omogoča kodni multipleks ali CDMA (Code-Division Multiple Access). V istem radiofrekvenčnem kanalu lahko istočasno oddaja več uporabnikov. V sprejemniku se spekter željene oddaje skrči, spekter ostalih, nesinhroniziranih oddaj pa razširi. Z dodatnim ozkopasovnim sitom nato izločimo večino spektralnih komponent motenj, skrčeni spekter koristnega signala pa pride skozi ozkopasovno sito neokrnjen. Dobitek razmerja signal/šum oziroma signal/motnja je kar sorazmeren razmerju pasovnih širin razpršilnega zaporedja in koristnega signala.



Slika 4.24 - Razširjeni spekter in kodni multipleks.

Sprejemnik za razširjeni spekter lahko vsebuje več vzporednih kanalov obdelave signalov. Pri razširjanju radijskega signala po več različnih poteh lahko vsak kanal sprejemnika sinhroniziramo na pripadajoči žarek. Vsak žarek lahko torej neodvisno demoduliramo in izhode vzporednih kanalov nato optimalno sestavimo. Razširjanje po več različnih poteh torej pomeni celo povečanje zmogljivosti oddaje z razširjenim spektrom.

Žal ima kodni multipleks oziroma CDMA tudi vrsto slabih lastnosti. Osnovna omejitev CDMA je v tem, da razpršilni signali (razpršilna zaporedja) različnih uporabnikov ne morejo biti med sabo povsem ortogonalna. Spekter motenj in drugih neželjenih signalov se v sprejemniku sicer zelo razširi, vendar ostane del moči šuma in motenj še vedno znotraj prepustnega pasu ozkopasovnega sita!

Da omejimo medsebojne motnje v kodnem multipleksu in tako povečamo skupno zmogljivost sistema, moramo zelo natančno nadzirati oddajne moči posameznih uporabnikov. V mobilnih radijskih zvezah brez neposredne vidljivosti, kjer se prenosno slabljenje zveze hitro spreminja v širokem razponu, porabimo znaten del zmogljivosti zveze samo za nastavljanje moči posameznih udeležencev.

Pri velikem številu uporabnikov je pri CDMA razmerje

signal/šum posameznega uporabnika tudi po skrčenju spektra in pasovnem situ zelo omejeno. Pri CDMA zato običajno uporabljamo številski prenos in večstopenjsko zaščitno kodiranje, ki naj se čimbolj približa Shannon-ovi teoretski meji. Povečanje pasovne širine je pri tem povsem neškodljivo, saj ga lahko obravnavamo kot del razpršilnega signala.

V primerjavi s frekvenčnim multipleksom (FDMA) oziroma časovnim multipleksom (TDMA) v radijskih zvezah s presihom, brez neposredne vidljivosti in Gauss-ovo statistiko, ima kodni multipleks oziroma CDMA teoretske in praktične (izvedba oddajnikov in sprejemnikov) prednosti in pomanjkljivosti, ki so si približno enakovredne. Odločitev za frekvenčni, časovni ali kodni multipleks oziroma poljubno kombinacijo dveh ali vseh treh torej ni preprosta.