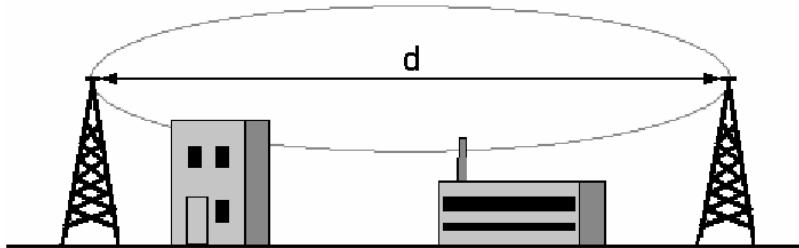


MAASTIKU PROFILI MÕJU RAADIOLINK-LOS-LE

Fresneli tsoonid

Selleks, et tagada head sidet saate- ja vastuvõtuantenni vahel, ei piisa nende vahel ainult silmaga nähtavuse tagamisest. Elektromagnetlainete levi haarab enda alla palju suurema ruumiosa – seda on kujutatud alltoodud joonisel.



Joonis 1

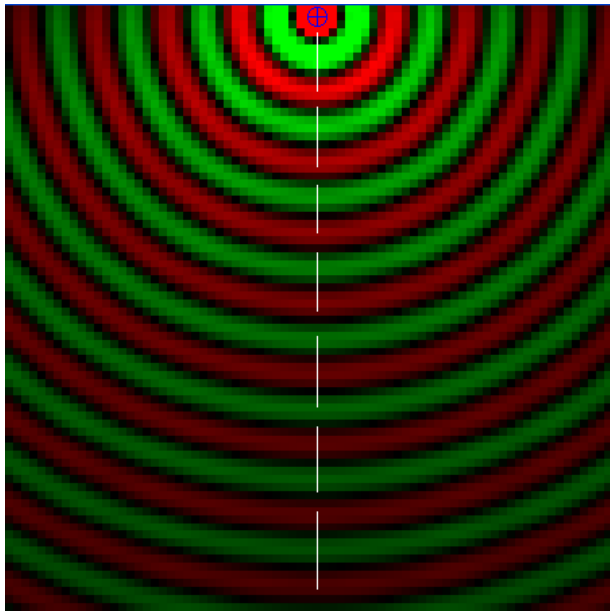
Põhjuseks on siin difraktsiooninähtus. Igasugused takistused, ka need mis ei asu saatja ja vastuvõtja vahelisel sirgel, tekitavad levialas keerulise difraktsioonipildi, mis mõjutab ka otsekiirelist levi. Joonised 2-5 aitavad seda paremini selgitada. Heledamad kohad tähistavad piirkonda, kus väli on tugevam, tumedates kohtades on väli nõrgem.

Joonisel 2 on kujutatud takistustevaba olukorda.

Joonisel 3 on saatja ja vastuvõtja vahelisse alasse paigutatud takistus, mis ei varja otsenähtavust. Ometigi on näha, et otsekiirel paikneva vastuvõtuantenni juures on väljatugevus tunduvalt nõrgem kui joonisel 2.

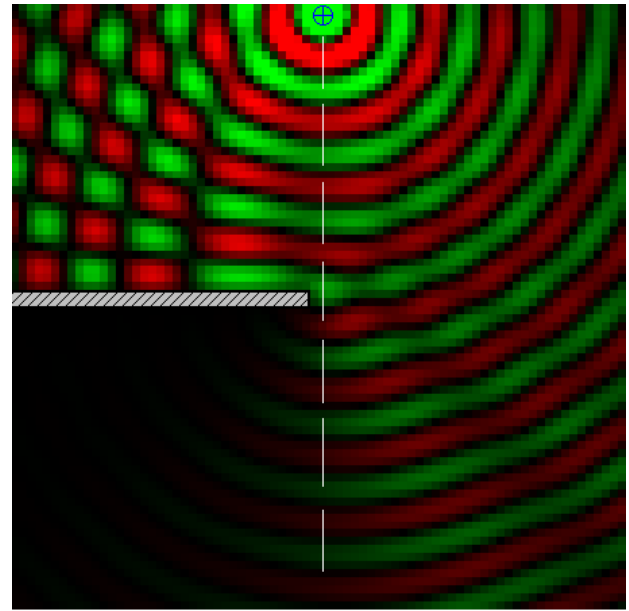
Joonisel 4 on tegemist kahe takistusega, kuid ka siin ei ole otsenähtavus varjatud. Tekkinud on üsna keerukas difraktsioonipilt, vastuvõtuantenni juures tekkinud lausa välja miinimum.

Joonis 5 on lisatud näitlikustamise mõttes. Sobivate takistuste asetuse korral võib peateljel saavutada ka väljatugevuse maksimumi.



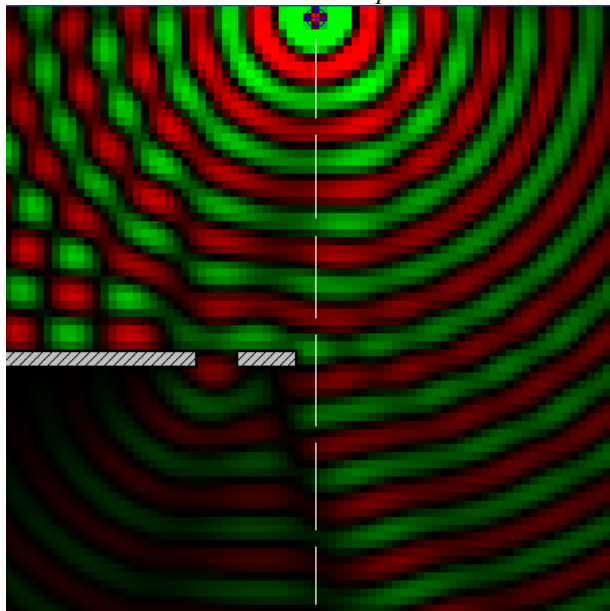
vastuvõtuanenn

Joonis 2 – Takistused puuduvad



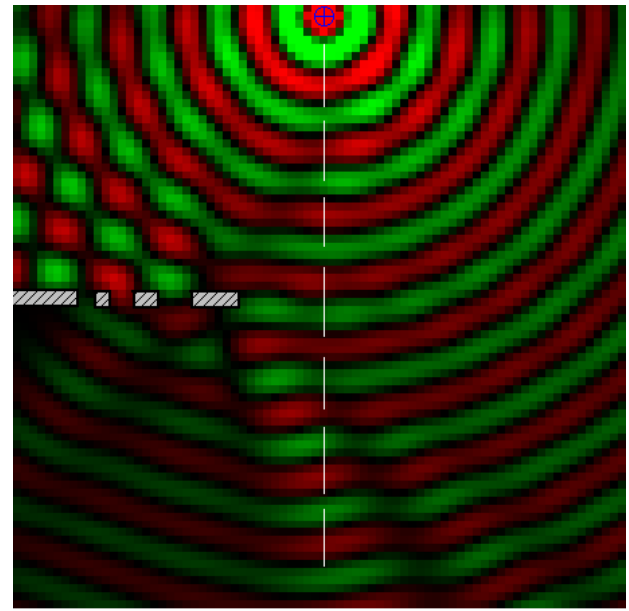
vastuvõtuanenn

Joonis 3 – Takistus lisatud



vastuvõtuanenn

Joonis 4 – Osalised takistused tekitavad vastuvõtuanenni juures miinimumi

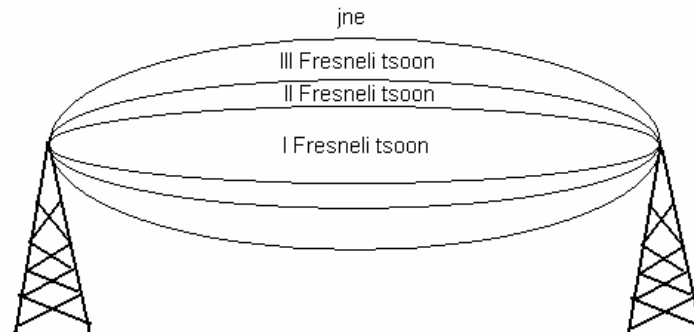


vastuvõtuanenn

Joonis 5 – Osalised takistused tekitavad vastuvõtuanenni juures maksimumi

Tekivate difraktsioonipiltide analüüs on tavaliselt küllaltki komplitseeritud, kuna maastiku profiil on keerukas. Tavaliselt kasutatakse niisuguse levi uurimisel Fresneli tsoone. Nimelt jagatakse kahe antenni vaheline ruumiosa Fresneli tsoonideks. I tsoonis on signaali difraktsete liikmete faasi erinevus otsejoones levinud signalist $0-90^\circ$, II tsoonis $90-270^\circ$, III tsoonis $270-450^\circ$ jne. Paaritunudbrilised tsoonid on kasulikud (need

difraktsed komponendid võimendavad vastuvõetud otsesignaali), paarisnumbrilised tsoonid aga kahjulikud – neis levivad signaalid on vastasfaasis otsejoones levivate signaalidega ja seega kustutavad teineteist.



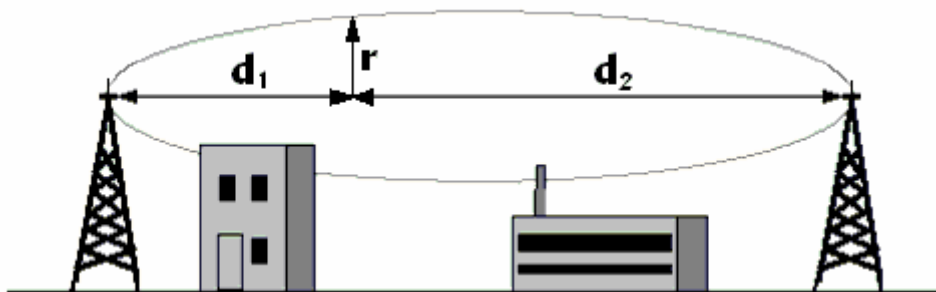
Joonis 6

Kõige tugevam signaal levib Fresneli I tsoonis, seepärast on väga oluline hoida see tsoon takistustevabana. Siis on vastuvõtjas signaal maksimaalse tugevusega.

n-nda Fresneli tsooni raadius on avaldatav valemiga:

$$r = \sqrt{n \cdot \lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}},$$

kus r on tsooni raadius kaugusel d_1 esimesest antennist ja kaugusel d_2 teisest antennist (vt joonis all). λ on lainepikkus. $n=1,2,3,\dots$ on Fresneli tsooni number.



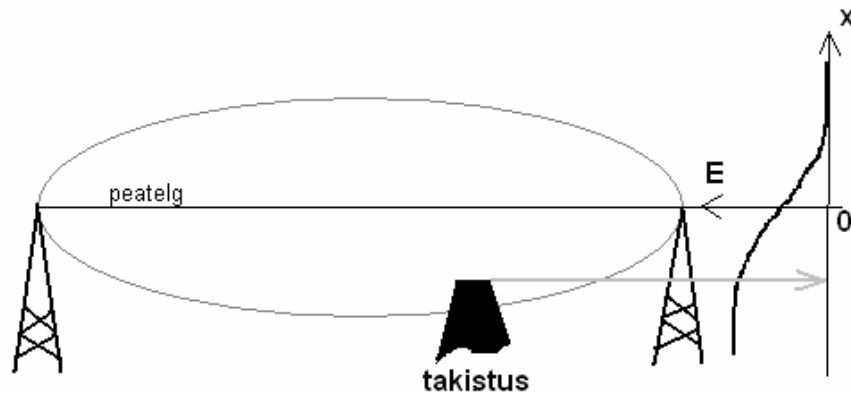
Joonis 7

Tsooni keskkohas, võrdsel kaugusel mõlemast antennist (seal on tsoon maksimaalse laiusena), saame I tsooni raadiuse valemiks:

$$r = \sqrt{\lambda \cdot \frac{\frac{d}{2} \cdot \frac{d}{2}}{d}} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda \cdot d},$$

kus d on antennidevaheline distant.

Kui tsooni ulatub mingi takistus, kahaneb vastuvõtjas signaali tugevus. Elektrivälja kahanemist sõltuvalt takistuse asukohast x on näha järgmisel joonisel:



x - takistuse kaugus peateljst

Joonis 8

Näide

GSM mobiilsüsteemis kasutatakse sagedust 0,9 GHz ($\lambda = 0,33\text{m}$). Kui vastuvõtja asub saateantennist 5 km kaugusel, on I Fresneli tsooni maksimaalne laius

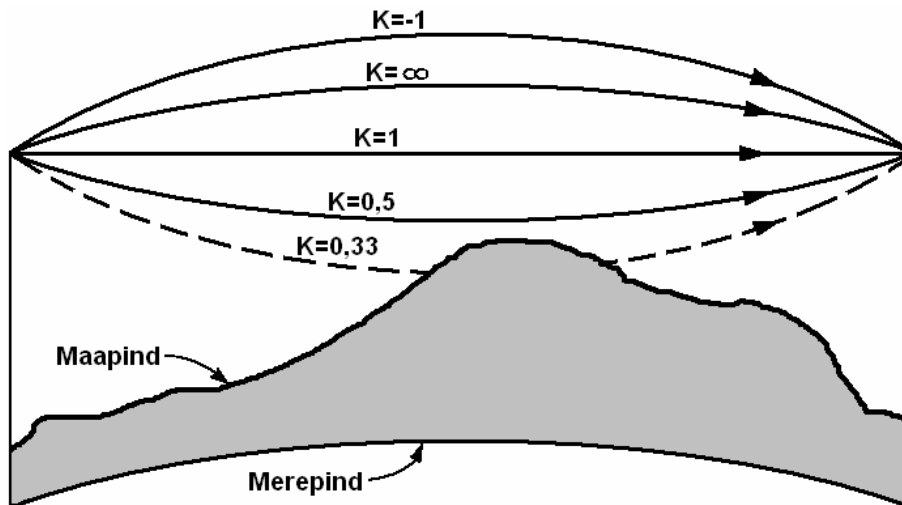
$$r = \frac{1}{2} \sqrt{0,33 \cdot 5000} = 20,3\text{m}.$$

Signaali refraktiivne kaardumine

Professionaalsetes sidekauguste arvutustes arvestatakse ka lainete kaardumise nähtusega atmosfääris, mida nimetatakse signaali refraktiivseks kaardumiseks. Nähtus on põhjustatud atmosfääri murdumisnäitaja ebaühtlusest. Nimelt on optiline tihedus maapinna lähedal suurem kui maapinnast kõrgemal ja seetõttu ei levi raadiolained atmosfääris mitte sirgjooneliselt, vaid kaarduvad pisut ka Maa kumeruse taha, kus otsekiirelise levi arvutuste kohaselt levi peaks puuduma. Selleks, et arvutused näitaks siiski õiget levikaugust, võetakse arvutustes tavaliselt maakera raadiuseks pisut suurem number (efektiivne Maa raadius) kui see tegelikult on. Efektiivse ja tegeliku Maa raadiuse suhet näitab nn K-faktor:

$$K \approx \frac{1}{1 + \frac{r_0 \Delta n}{\Delta h}} \approx \frac{r}{r_0} = \frac{\text{efektiivne Maa raadius}}{\text{tegelik Maa raadius}},$$

kus $r_0=6370$ km, n on atmosfääri murdumisnäitaja ja h on kõrgus maapinnast.



$K=1$, kui laine levib sirgjooneliselt (maapinnaga võrreldes kaardub ülespoole)
 $K=\infty$, kui laine kaardub võrdselt maapinna kõverusega (maapinnal paistab, et laine levib sirgjooneliselt).

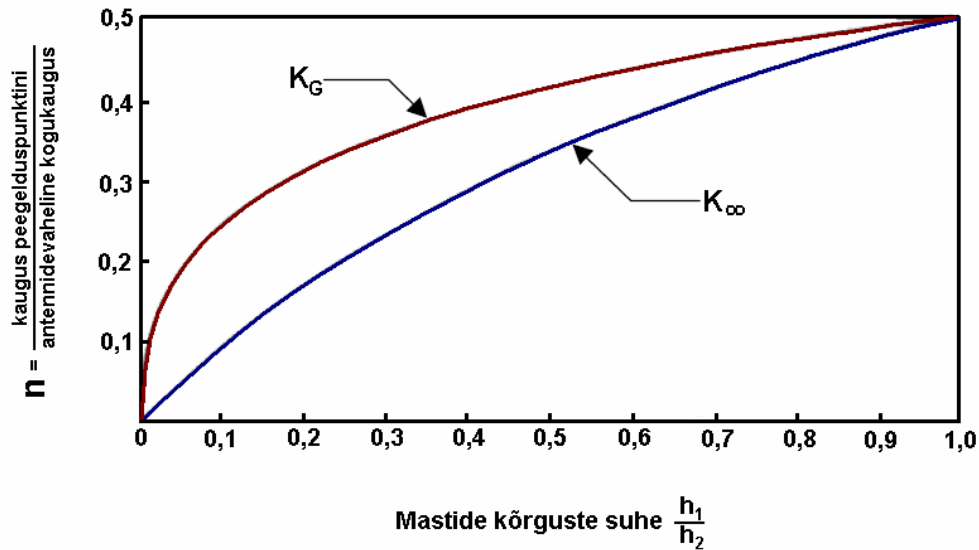
Kui ei ole vaja täpsemaid arvutusi, siis annab realistlikke tulemusi väärtus $K=1,33$.

Peegeldused maapinnalt

Kui raadiolaine puudutab maapinda, siis ei peegeldu ta mitte ühest konkreetsest punktist, vaid suuremalt alalt. See ala võib olla väike osa mõnest Fresneli tsoonist või hoopiski piisavalt suur, et hõlmata mitut Fresneli tsooni korraga.

Kui raadiolained maapinnalt peegelduvad, siis tavaliselt nende faas muutub olenevalt nende polarisatsioonist ja langemisnurgast. Horisontaalse polarisatsiooniga lained muudavad oma faasi ligikaudu 180° ($\lambda/2$). Vertikaalse polarisatsiooniga lained aga muudavad faasi $0..180^\circ$ sõltuvalt langemisnurgast ja peegelduskoefitsiendist, mis omakorda sõltub tugevasti maapinna omadustest. Kui peegelduspind on horisontaalse polarisatsiooniga raadiolainete jaoks piisavalt suur, et hõlmata mõni paarituurvuline Fresneli tsoon, jõuab peegeldunud laine vastuvõtuantenni otsekiirelise lainega vastufaasis, mis põhjustab feedingut. Analoogne olukord võib mõningatel juhtudel tekkida ka vertikaalse polarisatsiooniga lainete korral.

Seepärast tuleb peegelduste mõju vähendamiseks **muuta saate- ja vastuvõtuantennide kõrgusi** nii, et peegelduste piirkond nihkuks hästi peegeldavalt maastikult (veekogud) halvasti peegeldavale maastikule (näiteks paks mets). Kõige lihtsam graafiline meetod peegelduste piirkonna leidmiseks on nn peegelduspunkti nomogrammi kasutamine.



Mõiste peegelduspunkt on korrektne vaid ideaalses keskkonnas. See oleks tõesti üks konkreetne punkt, kui atmosfääri tingimused oleks kõikjal alati täpselt ühesugused ja raadiolaine leviks sirgjooneliselt. Paraku ei ole see reaalsuses kunagi nii, sest atmosfäär on dünaamiline – eelkõige väljendab seda pidevalt ajas ja ruumis muutuv murdumisnäitaja, mida omakorda iseloomustab K-faktor. Sõltuvalt K-faktorist signaal oma teekonnal kaardub ja seepärast ei ole olemas ka konkreetset signaali peegelduspunkti ning peegeldustest võtab osa suurem ala. Selle ala ligikaudsete piiride leidmiseks on peegelduspunkti nomogrammile kantud kahele K-faktorile vastavad kõverad – üks kõver (K_∞) iseloomustab olukorda, kus signaal kaardub maapinna poole võrdsest Maa kumerusega, teisel juhul (K_G) kaardub signaal maast sedavõrd ülespoole, et riivab kahe antenni vahel vaid korraks maapinda. Mõlema kõvera abil saame leida nende K-faktoritele vastavad peegelduspunktid. Reaalsetes tingimustes jääb K-faktor K_G ja K_∞ vahele – seega jääb kahe leitud peegelduspunkti vahele ka otsitav peegelduste piirkond.

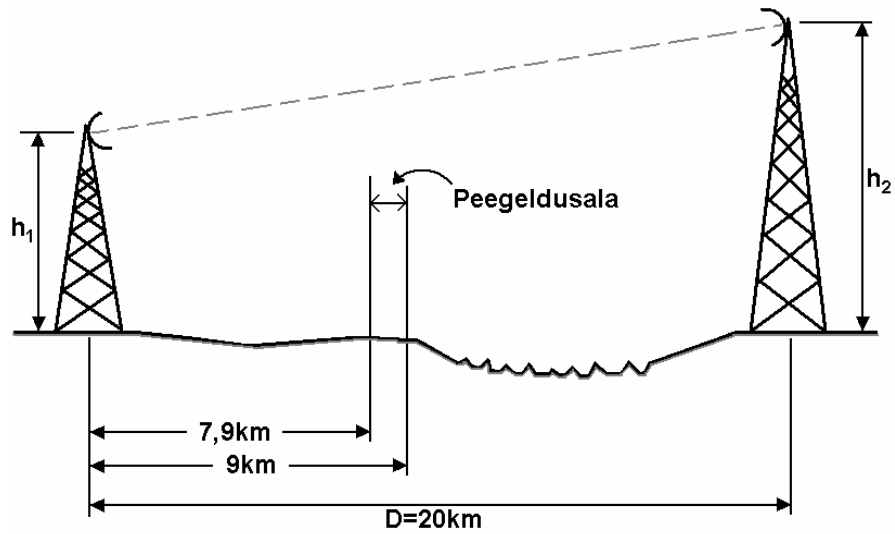
Näide

Saateantenni masti kõrgus on 30 m, vastuvõtuantenni masti kõrgus 45 m.

Antennidevaheline kaugus on $D=20$ km. Peegelduste piirkonna leidmiseks võtame

mastide kõrguste suhte $\frac{h_1}{h_2} = \frac{30}{45} = 0,66$ ja leiame nomogrammit sellele vastavad n

väärtused. Suhtele 0,66 vastavad väärtused $n_1=0,395$ (K_∞) ja $n_2=0,45$ (K_G). Peegeldusala asukoha saab nüüd arvutada, lugedes kaugusi lähemast mastist. Peegeldusala algab lähemast mastist kaugusel $n_1 \cdot D=0,395 \cdot 20=7,9$ km ja lõpeb kaugusel $n_2 \cdot D=0,45 \cdot 20=9$ km.



Viited

1. Freeman, R. „Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz)“, 1987, lk 4-5, 13-18, 37-40
2. <http://www.falstad.com/ripple/>, 01.03.2005