

Radiovågors utbredning

Radiovågor

Radiovågor i atmosfären

Jonosfären och radiovågorna

- Jonosfärens uppdelning i skikt
- Lång- och mellanvågor i jonosfären
- Kortvågor i jonosfären
- Ultrakortvågor i jonosfären
- Solfläckar och magnetiska stormar
- Jonosfärisk spridning (scattering)

Troposfären och radiovågorna

- Brytning (refraktion)
- Böjning (diffraktion)
- Troposfärisk spridning (scattering)

Överräckvidder inom frekvensområdet 30 - 1000 MHz

- Avvikelser från normaltillståndet i jonosfären
- Inverkan av sporadiska E-skikt (Es)
- Inverkan av meteorjoniseringar
- Inverkan av norrskensjonisering
- Övriga anomalier
- Avvikelser från normaltillståndet i troposfären
- Reflektion mot ledskikt
- Utbredning i ledskikt
- Sammanfattning av störningar inom VHF - UHF
- Tabell över vanligaste orsakerna till interferensstörningar inom frekvensområdet 30 - 300 MHz

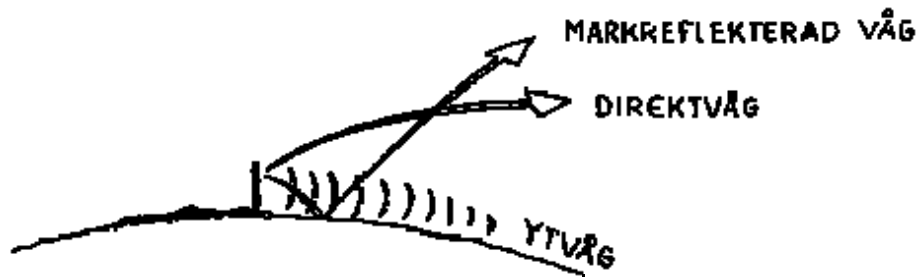
BILAGOR

Radiovågor

Utbredningen av radiovågor från punkt till punkt på jordytan både underlättas och försvåras av de media som ligger mellan sändaren och mottagaren.

På sin väg från sändaren till mottagaren kan radiovågen ha att passera jord, vatten och olika skikt av atmosfären. Hur vågorna uppträder vid genomträngandet av eller vid reflektion mot dessa media är beroende av många faktorer, bland vilka kan nämnas: sändningsfrekvensen, tidpunkten på dygnet, Ljus- och mörkerförhållandena längs riktningen, årstiden, solaktiviteten, markens elektriska egenskaper samt de atmosfäriska förhållandena på olika höjder.

Ur fysikalisk och även matematisk synpunkt är det lämpligt att uppdelna den elektromagnetiska strålningen från en sändarantenn nära jordytan i ett antal skilda typer av vågor. Man kan i första hand urskilja en **direkt våg** och en **markreflekterad våg** samt en **ytvåg**.



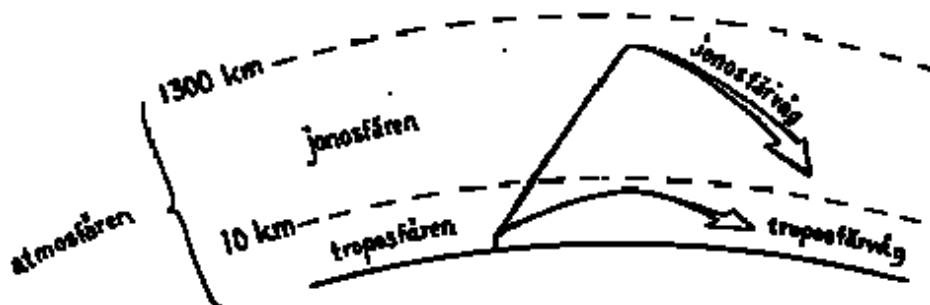
Direktvågen och den markreflekterade vågen sammansätter sig till **rumsvågen** eller om utbredningen sker huvudsakligen till punkter belägna relativt högt över jordytan - **atmosfärvågen**. (Den tidigare gängse benämningen har varit rymdvåg, men med hänsyn till de senaste årens utveckling inom rymdtekniken, bör ordet rymd reserveras för sådana ändamål.)

Denna relativt enkla bild av vågutbredningen kompliceras av att atmosfärvågen inte utbreder sig i vakuum, utan i en atmosfär som har såväl horisontella skikt som andra oregelbundenheter. De i detta sammanhang viktigaste atmosfärsskikten är **troposfären**, som sträcker sig från jordytan upp till ca 10 km höjd och **jonosfären** som sträcker sig från ca 40 km till ca 1300 km höjd.

I troposfären kan atmosfärvågen inom den högfrekventa delen av radiospektret (VHF-EHF, 30 MHz - 300 GHz) reflekteras tillbaka mot jordytan genom reflektion i sporadiskt förekommande horisontella skikt. Den reflekterade vågen benämnes **troposfärvåg**.

I jonosfären reflekteras atmosfärvågen inom den lågfrekventa delen av spektrat (ELF-HF, ca 3 kHz-30 MHz) i skikt med längre varaktighet. Härigenom möjliggöres

långdistanskommunikation på frekvenser lägre än ca 30 MHz. Den reflekterade vågen benämnes **jonosfärvåg**. Vågor med kortare våglängd än ca 10 m ($f > \text{ca } 30 \text{ MHz}$) passerar i regel genom atmosfären utan att reflekteras. Sporadiska jonosfärreflexer kan dock erhållas inom VHF- och UHF-området.



Ytvågen kan bara existera tätt utmed jordytan och är av betydelse endast om sändarantennens höjd (i våglängder räknat) är liten i förhållande till våglängden. Den spelar således en obetydlig roll inom HF (kortvåg) och högre frekvensområden. Då ytvågen utbreder sig utefter jordytan, är den beroende av dennas konduktivitet (ledningsförmåga) och dämpas förr eller

senare ut. Ytvågens räckvidd beror också på frekvensen, så att lägre frekvenser når längre än högre frekvenser. För en normal rundradiosändare inom MF-området (mellanvåg) kan räckvidden för ytvågen vid goda markförhållanden uppgå till ca 100 km. För rundradiosändare inom HF-området (kortvåg) är räckvidden för ytvågen vanligen endast några km.

Radiovågor i atmosfären

Atmosfärvågens utbredning är beroende av det lufthölje - atmosfären - som omger jorden. Atmosfären kan indelas i olika skikt. Flera indelningar används beroende på vilka atmosfäregenskaper man utgår från (temperatur, sammansättning, jonisering m m). Ur vågutbredningssynvinkel är de viktigaste skikten **jonosfären** och **troposfären**.

Jonosfären och radiovågorna

Jonosfärens uppdelning i skikt

Jonosfären benämnes de områden av den högre atmosfären från ca 40 till ca 1300 km höjd, som under inverkan bl a av den ultravioletta solstrålningen blir joniserad. Härvid bildas fria elektroner och positiva joner som sedan åter förenas om de stöter samman (rekombination). Eftersom gastätheten avtar med stigande höjd, blir sannolikheten för återförening mellan jonerna mindre. Joniseringen kvarstår därför även över natten i den övre jonosfären. Med tilltagande höjd ändras också luftens kemiska sammansättning, och då de olika gaserna absorberar solstrålningen ganska olika, blir resultatet att elektrontätheten som funktion av höjden uppvisar utpräglade maxima. Detta betyder att jonosfären elektriskt sett är skiktad ([Figur](#)) och i dessa skikt bryts radiovågorna, ofta så starkt att de reflekteras tillbaka till jordytan.

Skiktens förmåga att reflektera elektromagnetisk strålning är beroende av elektrontätheten i skikten, samt den inträngande vågens frekvens och infallsvinkel. Allmänt gäller att ju högre elektronkoncentrationen är, desto högre frekvens förmår skiktet reflektera.

Man har fyra olika skikt D-, E-, F1- och F2-skikten. Till dessa får man föga ett mer sporadiskt förekommande skikt, Es-skiktet.

F1-skiktet existerar bara under dagen och under sommartid. När F1-skiktet inte är utbildat, kallar man jonisationen inom höjdområdet över E-skiktet för F-skiktet.

Av dessa skikt är D-skiktet beläget på ca 60 - 90 km höjd, E-skiktet på ca 90 - 140 km, F1-skiktet på ca 140 - 220 km och F2-skiktet på ca 200 - 1300 km. F-skiktet har sin högsta elektronkoncentration på ca 300-400 km höjd. På nordliga breddgrader har F2-skiktet en tendens att vara högre på natten än på dagen. I närheten av ekvatorn synes förhållandena vara omvända.

Det är **E- och F-skikten** som har störst betydelse för radiovågors avböjning inom LF, MF och HF (ca 30 kHz - 30 MHz). Radiovågor med frekvens överstigande ca 30 MHz passerar som regel genom jonosfären utan att reflekteras. Vid solfläcksmaximum kan dock frekvenser upp till ca 70 MHz reflekteras i F-skiktet.

D-skiktet, som endast existerar under dagen (samt även under natten vid norrsken och magnetiska stormar) inverkar i huvudsak absorberande på radiovågor av lägre frekvens (lägre än ca 5 MHz). Även de övriga joniserade skikten ger upphov till viss dämpning av radiovågorna när de passerar eller avböjes i dem, men denna dämpning är lägre ju högre frekvensen är, dvs ju kortare vågorna är.

Sporadiska E-skikt. På samma nivå som det ordinarie E-skiktet uppträder ganska ofta ett skikt med så stor elektrontäthet att det förmår reflektera signaler med frekvenser upp till ca 100 MHz. (Se vidare under rubriken ("Överräckvidder inom frekvensområdet 30 - 1000 MHz".))

Lång- och mellanvågor i jonosfären

I stora drag försiggår vågutbredningen i långvågs- och mellanvågsbanden på följande sätt. På dagen intränger atmosfärvågen i D-skiktet och absorberas därvid. Endast ytvågen kommer fram. Med solstrålningens avtagande upplöses D-skiktet, varvid absorptionen av den uppåtriktade strålningen kraftigt avtar. Denna fortsätter således uppåt, reflekteras delvis av E- och F-skikten och återvänder till jordytan (Bilagorna [LF](#) och [MF](#)). Man erhåller således en jonosfärvåg, som medger avlyssning av stationer på långa avstånd.

I närheten av sändaren är atmosfärvågen svag på grund av antennens ringa vertikalstrålning men stiger sedan med avståndet till ett brett maximum. För större distanser avtar jonosfärvågens fältstyrka teoretiskt proportionellt med avståndet.

I figuren nedan åskådliggöres schematiskt förhållandet mellan ytvågs- och jonosfärvågsfältstyrkorna som funktion av avståndet. Närmast sändaren, där ytvågens fältstyrka överstiger atmosfärvågens dubbla, kan man i allmänhet räkna med god, fadingsfri mottagning, i områden, där ytvåg och jonosfärvåg är av samma storleksordning, har man den s k fadingszonen. Inom detta område uppträder besvärande selektiv fadning med förvrängning

av den överförda signalen, varför någon användbar nattmottagning ej kan påräknas. Efter fadingszonen följer natt-sekundärzonen, där jonosfärvågen är förhärskande. Fadningen, som huvudsakligen uppstår på grund av interferens mellan två eller fler jonosfärvågor, vilka gått skilda vägar, är i detta område långsammare och därför ej så besvärande.

Kortvågor i jonosfären

Kortvågorna påverkas mindre av D-skiktet och därför kommer atmosfärvågen både på natten och på dagen att nå både E-skiktet och de högre upp belägna F-skikten, vilket förklarar varför kortvågen når så långt även under den ljusa delen av dygnet. ([HF](#))

De lägre frekvenserna i bandet (3 - 30 MHz) reflekteras i den lägre delen av jonosfären, och de högre frekvenserna i den högre delen. E-skiktet, som ligger på ca 100 km höjd, och är i huvudsak verksamt mitt på dagen svarar för överföringar på kortare distanser upp till 1000 a 2000 km. F2-skiktet på ca 200 - 400 km höjd ansvarar i allmänhet för radioförbindelser över längre avstånd.

När det gäller lämplig överföringsfrekvens för kortvåg, ser man förkortningar såsom LUF, FMF, MUF och FOT vars innebörd i korthet kan förklaras enligt nedan.

Skiktets förmåga att reflektera elektromagnetisk strålning är beroende av den infallande vågens frekvens och infallsvinkel.

Studerar man vid en given tidpunkt ett skikts reflektionsförmåga som funktion av frekvensen finner man att under en lägsta frekvens (**LUF** = lowest usable frequency) praktiskt taget ingenting av den mot skiktet infallande strålningen har reflekterats. Fältstyrkan i den reflekterade vågen ökar upp till ett högsta värde (vid frekvensen **FMF** = frequency of maximum field strength). En ytterligare ökning av frekvensen medför en ganska snabb fältstyrkeminskning. Den reflekterade vågen är slutligen så svag att den inte längre är detekterbar ovanför brusnivån (**MUF** = maximum usable frequency). För att erhålla de bästa förutsättningarna att få till stånd en radioförbindelse väljer man en trafikfrekvens som ligger 15 % lägre än MUF. Härigenom erhålls en betryggande säkerhetsmarginal. Denna frekvens kallas optimal trafikfrekvens eller **FOT** (Optimum Traffic Frequency).

Storleken för LUF, FMF och MUF beror på jonosfärskiktets elektrontäthet. Då elektrontätheten varierar med tiden på dygnet, med årstiden och med solaktiviteten (förekomsten av solfläckar), kommer således LUF, FMF, MUF och FOT också att variera. I figuren ovan visas MUF för F2-skiktet, som funktion av dygnets timmar; den ena kurvan visar sommarförhållanden, den andra vinter. Man ser alltså att man en vinterdag kan använda högre frekvens än en sommardag, men förhållandena är omvända på natten. (Den andra figuren visar MUF för E-skiktet, sommar och vinter.) Man lägger märke till kurvornas symmetriska form i förhållande till vertikallinjen kl 12, vilket visar E-skiktets beroende av solens höjd över horisonten.

Ultrakortvågor i jonosfären

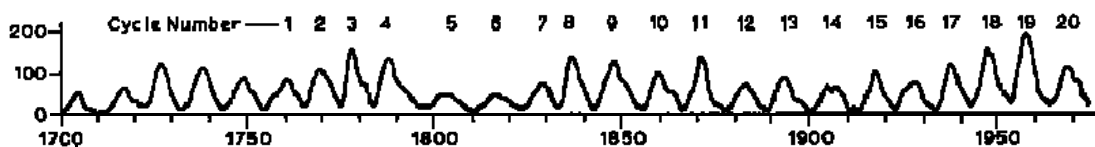
Radiovågor med frekvenser överstigande ca 30 MHz passerar som regel genom jonosfären ut i världsrymden. I onormala fall kan dock radiovågor med frekvenser upp till 70 a 100 MHz

reflekteras i sporadiska E-skikt (Es), i F2-skiktet vid höga solfläckstal, mot norrsknen etc. ([VHF](#), [UHF](#), [SHF](#) och [EHF](#))

Denna typ av utbredning behandlas närmare under rubriken "Överräckvidder inom frekvensområdet 30 - 1000 MHz".

Solfläckar och magnetiska stormar.

Ett nätverk av jonosfäriska pejlstationer (jonosonder) spridda över jorden har under många år lämnat data rörande de dagliga och årtidsmässiga variationerna i jonosfären. Dessa data har gett underlag till långsiktiga, för flera år gällande prognoser rörande jonosfärens beskaffenhet och uppträdande. På grundval av dylika prognoser fastställs sedan lämpliga frekvenser för olika förbindelser.



Solaktiviteten varierar med en periodicitet på ca 11 år. Aktiviteten anges vanligen med solfläckstalet, som bestäms av antalet solfläcksgrupper, antalet solfläckar inom grupperna och en del andra omständigheter.

Solfläckstalet påverkar i hög grad kritiska frekvensen och därmed vågutbredningen. Under tider av solfläcksmaxima ökar jonosfärens elektrontäthet med åtföljande motsvarande höjning av MUF, vilket vidgar det för förbindelser disponibla frekvensområdet.

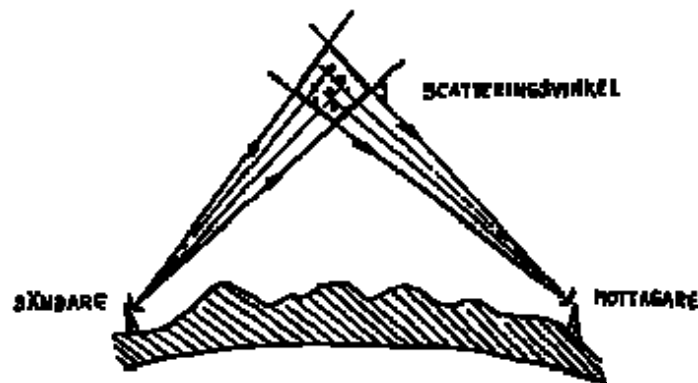
Bilden visar typisk variation över dygnet och året hos kritiska frekvensen för E-, F1- och F2-skiktet vid solfläcksminimum och maximum. Bilden har lånats från RSGB's Radio Communication Handbook.

Dessutom karakteriseras perioder av solfläcksmaxima av plötsliga jonosfäriska störningar från soleruptioner, stundtals åtföljda av magnetiska stormar. Båda dessa fenomen återverkar allvarligt på förbindelserna genom stora variationer av MUF. Solfläckscykler med ovanligt hög solfläcksaktivitet medför ofta allvarliga avbrott i radioförbindelserna. Den senaste solfläckscykeln inleds nu år 1997 och förväntas nå sitt maximum efter sekelskiftet.

I närheten av solfläckarna uppträder ofta s k "flares", som lyser starkare än solytan i övrigt. Från en flare utsänds en enormt kraftig elektromagnetisk strålning, som på den solbelysta sidan av jorden ger upphov till en kraftig jonisering i D-skiktet, vilket verkar dämpande på all radiotrafik via jonosfären. Varaktigheten av ett dylikt fenomen kan växla från några få minuter till flera timmar. Samtidigt uppträder en partikelstrålning. Denna når jorden ca 1 dygn senare och verkar mer eller mindre effektivt upplösande på F-skikten, varigenom den långväga kortvågstrafiken blir kraftigt störd eller helt omöjliggjord. En dylik jonosfärsstorm brukar vara ett till två dygn.

Jonosfärisk spridning (scattering)

De högfrekventa radiovågornas utbredningsegenskaper överensstämmer i stor utsträckning med ljusets. Genom att kunskaperna om utbredningsmekanismerna ökat, är det emellertid numera möjligt att med stor noggrannhet och trafiksäkerhet genomföra långdistansförbindelser på de våglängder vilkas utbredningsområde förr ansågs begränsade till horisonten. Man utnyttjar därvid ett fenomen som kallas scattering (spridning). Med mycket avancerad teknik och med sändareffekter varierande från ca 10 till ca 100 W, kan relativt pålitliga förbindelser med medelgod trafikkapacitet erhållas på avstånd upp till 2 000 km enligt det transmissionssystem som kallas jonosfärisk scattering. Härvid används signaler inom området 30 - 300 MHz, beroende på turbulens i jonosfären. Överföring genom jonosfärisk scattering kan endast ske med begränsad bandbredd, varför endast telegrafi eller möjligen telefoni kan överföras på en kanal.



Troposfären och radiovågorna

I troposfären, som sträcker sig från marken upp till ca 10 km höjd uppträder de företeelser som bestämmer väderleken. Kännetecknande för detta skikt är att temperaturen avtar med stigande höjd med ca 6 grader C/km (Figur). Troposfären påverkar framför allt den högfrekventa delen av radiospektrum, över ca 30 Mhz. Jonosfären är som tidigare nämnts i allmänhet genomskinlig för frekvenser över ca 30 MHz dvs inom VHF- och UHF-banden.

Genom inverkan av troposfären bryts, sprids och reflekteras radiovågorna i varierande utsträckning. Variationerna sammanhänger med skiftningarna i lufttemperatur och luftfuktighet.

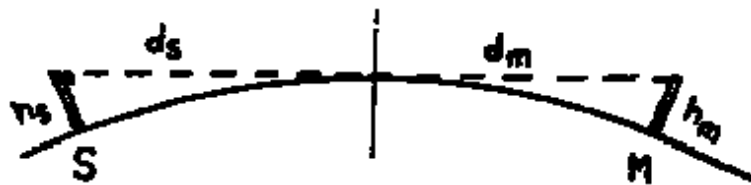
Brytning (refraktion)

Hade troposfären varit fullständigt homogen (enhetlig) skulle radiovågans utbredning ske med konstant hastighet och rätlinjigt, vilket skulle innebära att räckvidden för en sändare på grund av jordytans krökning, inskränker sig till den optiska horisonten.

Avståndet d_s (kilometer) till den **optiska horisonten** från en strålkastare belägen h_s meter över jordytan kan beräknas till:

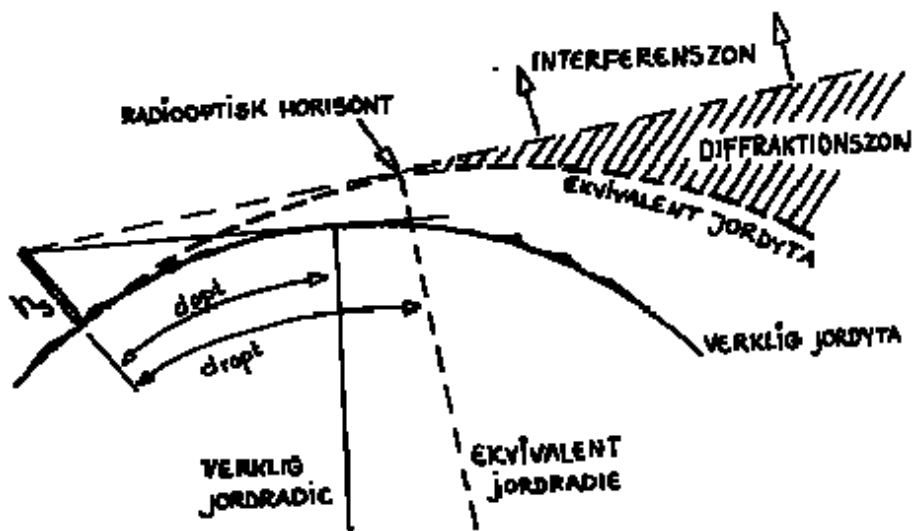
3,56 gånger roten ur antennhöjden (meter)

Har man en åskådare på höjden h_m kan dennes maximala synvidd d_m i kilometer beräknas på motsvarande sätt. Maximala siktavståndet (optiskt!) blir då summan av dessa två avstånd ($d_s + d_m$). Till exempel hur långt bort man kan se en fyr med höjden h_s från 'bryggan' med höjden h_m på ett fartyg.



Om dopt utgjorde gräns för radiovågornas utbredning skulle en ökning av avståndet mellan antennerna resultera i att förbindelsen bryts. Så är dock ej fallet, ty trots att mottagarantennen ligger något under horisonten kan signalerna uppfattas. Orsaken härtill förklaras i det följande.

Luftens temperatur, fuktighet och tryck och därmed dess brytningsindex avtar normalt med ökad höjd över marken. Till följd härav kommer fortplantningshastigheten, som är maximal i vakuum, att variera med vägens höjd över jordytan. Om tryck, temperatur etc förändras normalt kommer fortplantningshastigheten att öka med höjden varigenom vågfronten, enligt från optiken kända lagar, successivt kommer att böjas nedåt och träffar jordytan vid den s k radiohorisonten, som ligger ca 15 % bortom den optiska horisonten. För att förenkla diagramritningar och beräkningar, brukar man rätta ut jordytan just så mycket, att de 'korrigerade' radiostrålarna bildar räta linjer.



Sambandet mellan häremot svarande jordradie ("ekvivalenta") och verkliga jordradien visar sig vid närmare studium i normalfallet bli följande:

EKVIVALENTA JORDRADIEN = 4/3 VERKLIGA JORDRADIEN

Den **radiooptiska horisonten** - dropt - som därvid erhålles, beräknas då i kilometer som:

4,1 gånger roten ur antennhöjden (meter)

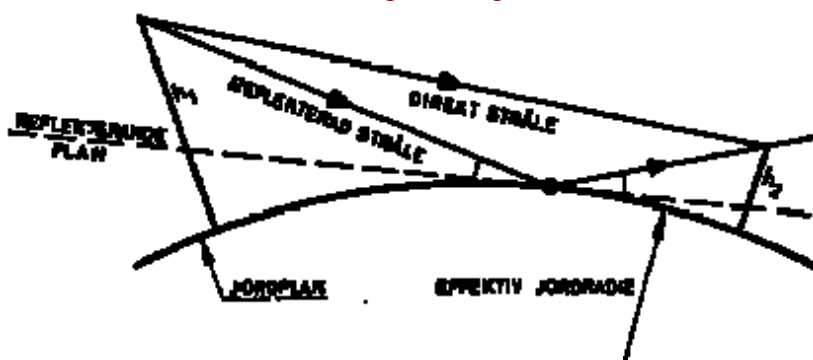
Sedan är det bara att fortsätta att räkna som för den optiska räckvidden ovan. Där h_s och h_m istället blir sändar- och mottagarantennernas höjd över markytan i meter.

För en TV-station med $h_s = 300$ m och mottagarantenn med $h_m = 10$ m blir således den radiooptiska räckvidden 84 km

Bortom radiohorisonten dämpas vanligen radiovågor i VHF- och UHF-banden snabbt. Vid överslagsberäkningar brukar man därför anse att räckvidden för radiosändare i dessa band sammanfaller med avståndet till radiohorisonten.

Området bortom radiohorisonten dit inga direkta vågor når benämnes vanligen skuggzonen eller diffraktionszonen.

Hela det område dit direkta vågor når - det belysta området - benämnes interferenzzonen eftersom den fältstyrka man erhåller i detta område är en sammanlagring (= interferens) av direkt och markreflekterad stråle, vilket framgår av figuren nedan.



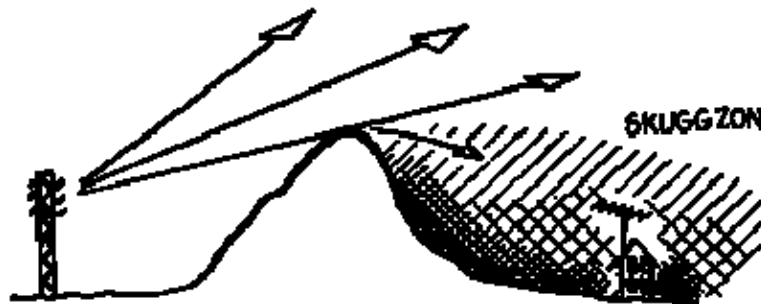
En viss sändares avstånd till radiohorisonten är emellertid inte alltid detsamma, eftersom luftens brytningsindex varierar med temperatur och fuktighet. Det kan nämnas att man vid mätningar i Sverige funnit att radiovågorna utbreder sig rätlinjigt eller böjer av uppåt, dvs att avståndet till radiohorisonten är lika med eller mindre än avståndet till den geometriska under ca fem procent av tiden. Under lika lång tid är luftens brytning neråt så stor att avståndet till radiohorisonten är mer än 40 % längre än till den geometriska horisonten.

Den ovan angivna allmänna formeln för beräkning av radiooptiska sikten - dropt - avser normalatmosfär dvs vid de förhållanden som råder under 50 % av tiden.

Böjning (diffraktion)

Någon skarp skugggräns existerar inte vare sig för ljusstrålarna eller för radiovågorna. Detta beror på vågornas böjning. Bilden nedan visar en mottagare som uppfångar signalen från en sändare trots att den är avskärmd från sändaren av en ås. Området bakom åsen under den linje som tangerar åsens överkant kallas skuggzonen. Av bilden framgår var skuggverkan är kraftigast. Skugggränsen blir skarpare, ju kortare våglängden är.

På samma sätt erhåller man signal i en mottagare som är uppställd bortom horisonten, sett från sändaren. Alltså i den skuggzon som bildas på grund av jordytans krökning.



Troposfärisk spridning (scattering)

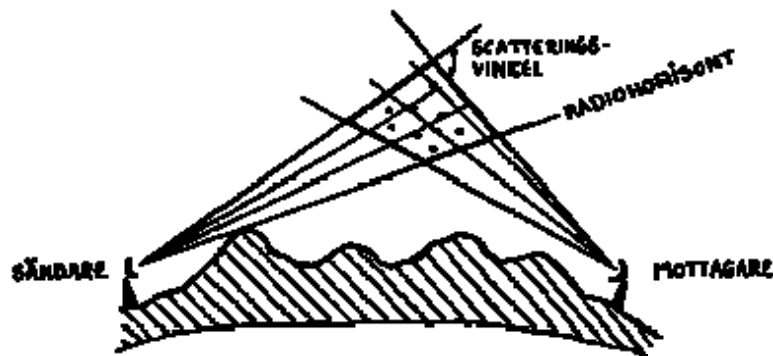
De högfrekventa radiovågornas utbredningsegenskaper överensstämmer i stor utsträckning med ljusets. Genom att kunskaperna om utbredningsmekanismerna ökat, är det emellertid numera möjligt att med stor noggrannhet och trafiksäkerhet genomföra långdistansförbindelser på de våglängder vilkas utbredningsområde förr ansågs begränsade till horisonten. Man utnyttjar därvid ett fenomen som kallas scattering (spridning). Genom troposfärisk scattering (spridning i troposfären) är det möjligt att åstadkomma förbindelser, även om antennerna befinner sig under horisonten. Detta fenomen benämns också »forward scattering» (framåtspridning). Man har försökt förklara fenomenet på följande två sätt:

1. Scattering uppkommer genom delvis reflektion från högt belägna skikt i troposfären, där brytningsindex snabbt varierar inom ett litet höjdområde i samband med växlingar i temperatur och fuktighet.
2. Det finns i troposfären en serie scatteringscentra i vilka brytningsindex skiljer sig från omkringliggande områden.

Vid transmissionssystem som utnyttjar troposfärisk scattering är det nödvändigt att använda högeffektantennor på båda sidor, med hänsyn till att endast en liten del av den utsända energin på sändarsidan kan tillvaratas på mottagarsidan. Av betydelse för transmissionen är vidare scatteringsvinkeln, dvs vinkeln mellan det utsända och mottagna strålknippen. Vinkeln mellan dessa skall nämligen hållas så liten som möjligt, vilket kan ske genom att man höjer platserna för sändare och mottagare så att man har en ostörd överblick över horisonten. Maximiräckvidden för troposfärisk scattering är omkring 1100 km, medan minimiräckvidden är ca 100 km.

Bland de egenskaper som är utmärkande för ett troposfäriskt scatteringsystem kan nämnas:

1. Det användbara frekvensområdet är ca 100 - 10.000 MHz.
2. Genom bredden på det användbara frekvensområdet tillåter metoden mycket bredbandiga överföringar, exempelvis television, som med framgång har överförts över mycket stora distanser.
3. Dämpningen kan vara 100 dB större än vid förbindelser med fri sikt.



Överräckvidder inom frekvensområdet 30 - 1000 MHz

Under normala jonosfär- och troposfärförhållanden dämpas signaler vid dessa frekvenser mycket snabbt bortom radiohorisonten. Vid överslagsberäkningar brukar man ofta anse att radiohorisonten utgör räckviddsgränsen. I den lågfrekventa delen av området är dock radioskuggan inte så skarpt markerad som i den högfrekventa.

Ofta förekommer anomalier (= avvikelser från normaltillståndet) i jonosfärens och troposfärens brytningsindex, fält som gör att signalerna kan utbreda sig långt bortom den normala radiohorisonten med mycket låg dämpning.

Jonosfäranomalierna kan utgöras av olika typer av sporadiska E-skikt, joniserade meteorspår, norrskensjonisation. I troposfären förekommer olika typer av ledsikt och reflekterande ytor. Jonosfäranomalierna inverkar huvudsakligen inom den lägre delen av frekvensområdet medan troposfäranomalierna inverkar över hela området.

Avvikelser från normaltillståndet i jonosfären

Inverkan av sporadiska E-skikt (Es)

På samma nivå som det ordinarie E-skiktet uppträder ganska ofta ett skikt, som uppvisar helt annan karaktär. Typiska drag är att skiktet uppträder plötsligt, är ganska tunt och kan ha en mycket hög kritisk frekvens. Huvuddelen av Es-skiktet verkar som en rent metallisk reflektor, dvs att vågenergin reflekteras totalt inom ett mycket snävt höjdområde. Detta i motsats till den gradvisa böjningsprocessen som förekommer vid reflektion från E- och F-skikten. Höjden till skiktet kan variera, men den ligger i allmänhet inom höjdintervallet 90 - 140 km ([VHF](#)).

Vid snett infall kan Es-skikten ofta överföra frekvenser upp till 100 MHz över mycket stora avstånd (upp till ca 4000 km, dock ej kortare än ca 500 km). Vid sådana tillfällen kan Es-skikten medföra en del besvärliga interferensproblem. Egna förbindelser kan helt eller delvis störas ut av långt bort ifrån kommande signaler som arbetar på samma frekvens. Inom det frekvensband 30 - 100 MHz som här är aktuellt, har man mycket liten dämpning i jonosfären vid dessa överföringssätt. Detta innebär att de störande signalerna i allmänhet kommer in med mycket stark amplitud, vidare är de rätt ofta av en fädande karaktär.

Den allra värsta typen av störning är den som kommer in via reflektioner mot norrskens-Es. Dessa uppvisar i allmänhet en mycket hög fädningsfrekvens.

Förekomsten av Es-skikt är mycket starkt dygns- och årstidsberoende. Interferens förorsakad av Es-utbredning är svårast under sommarmånaderna, men sällan förekommande under vintern. Es-skikten uppträder när som helst under dygnet, men förekommer oftare mitt på dagen, samt på eftermiddagen kl 18 - 20.

Varaktigheten av förbindelser via Es-skikt är i allmänhet kort. Av undersökningar som utförts år 1971 framgår att ca 75 % av de fall då utbredning via Es erhöles, hade en varaktighet som var mindre än 2 minuter. I ca 1 % av fallen uppgick tiden till ca 40 minuter. Den längsta noterade varaktigheten uppgick till ca 150 minuter.

Inverkan av meteorjoniseringar

Jordens yttre atmosfär träffas varje dygn av ett stort antal meteoror och mikrometeoror. Under sin färd genom atmosfären kolliderar meteoren med luftpartiklar och efterlämnar ett spår av elektroner. Huvuddelen av spåret utbildas på höjder kring 100 km och där blir elektrontätheten så hög att frekvenser upp till flera hundra MHz kan under vissa betingelser reflekteras mot spåret ([VHF](#)).

På samma sätt som vid norrskensspridning gäller här att vissa geometriska villkor skall vara uppfyllda för att man skall få maximal returspridd energi. Spåren kan utnyttjas både för framåtspridning och bakåtspridning av radiovågorna.

Antalet infallande meteoror per tidsenhet har en utpräglad dygns- och årstidsvariation. Under dygnet har man ett maximum kring kl 06.00 och ett minimum kring kl 18.00.

Årstidsvariationen uppvisar olikheter från år till år, men den högsta förekomsten inträffar under sommarmånaderna. Till de normala variationerna kommer inflytandet av meteorskurar. Under de större skurarna kan antalet joniserade spår öka flera hundra gånger.

Varaktigheten hos spåren ligger mellan en del av en sekund och några tiotals sekunder.

Medellängden ligger mellan en och två sekunder.

Då huvuddelen av de meteorreflekterade signalerna har en tämligen kort varaktighet kan de inte ge upphov till något nämnvärt störande inflytande på kommunikationssystem. Däremot kommer man givetvis att få falska ekon i radarsammanhang.

Inverkan av norrskensjonisering

Joniseringar i samband med norrsken kan ge upphov till reflektioner av radiovågor inom hela frekvensområdet 30 - 1000 MHz. Anmärkningsvärt är att den starkaste signalen erhålles om antennen riktas mot norrskenszonen oberoende av riktningen till den sändande stationen.

Norrskenssekona erhålles på höjder mellan 100 och 110 km och medger räckvidder på avstånd upp till ca 2000 km ([VHF](#) och [UHF](#)).

Ekona karakteriseras av en mycket snabbt varierande amplitud, och visar ett tydligt årstids- och dygnsberoende. Förekomsten är högst under vintermånaderna dec - feb (enligt undersökningar i Kiruna 1959). Vad beträffar dygnsvariationen är tendensen för hela året att högsta förekomsten erhålles omkring kl 04 - 06 och kl 14 - 16.

Övriga anomalier

Vi har ovan redogjort för de vanligaste orsakerna till fältstyrkeanomalier inom VHF och UHF-området. Som avslutning kan det vara lämpligt att visa på en tabell som är en sammanställning av de vanligaste orsakerna till interferensstörningar inom frekvensområdet 30 - 300 MHz. Tabellen är hämtad ur CCIR rapport 259-2. ([Tabell](#))

Avvikelser från normaltillståndet i troposfären

I standardatmosfär där temperatur och luftfuktighet och därmed brytningsindex avtar med höjden över mark avböjes radiovågen successivt nedåt (utsättes för refraktion) och träffar jordytan vid den s k radiohorisonten, som är 15 % bortom den optiska horisonten.

Dessa förhållanden är emellertid föränderliga. Temperaturen kan tex tillta med höjden, antingen omedelbart vid jordytan och man har ett s k markbaserat skikt, eller en bit upp och man har ett s k elevert skikt (förhöjt skikt). Man talar då om temperaturinversion (inversion = omkastning) och därav orsakade "ledskikt". Detta händer t ex när jordytan under klara nätter avkyles, och fältstyrkevariationerna visar i sådana fall tydlig dygnsvariation. Avtar fuktigheten med höjden snabbare än normalt kan också förutsättningar för ledskikt bildas, vilket exempelvis inträffar vid dimma över hav eller när varm torr luft blåser från land. Dessa skikt, som förekommer huvudsakligen i höjdområdet från jordytan och upp till några kilometers höjd, har i regel stor horisontal utsträckning. Man vet att ledskikt kan existera samtidigt över hela Östersjön. Genom reflektion mot eller utbredning i sådana skikt kan räckvidder på flera hundra kilometer erhållas ([UHF](#)).

Reflektion mot ledskikt

Totalreflektion mot horisontella skikt som ligger högre än ca 300 m ovan sändarantennen är mycket sällan förekommande. Med sändar- och mottagarantenner på samma höjd ger en-hopps totalreflektion mot ett sådant skikt högst ca 150 km räckvidd ([VHF](#)).

Den delvisa reflektionen kan dock vara betydande från högre skikt. Som exempel kan nämnas att ett skikt på 2000 m höjd ger en räckvidd på 370 km för frekvenser upp till 150 a 200 MHz. Allmänt kan sägas att ju lägre skikthöjden är desto högre frekvenser kan reflekteras.

Utbredning i ledskikt

I normalatmosfär avtar fältstyrkan i stort sett omvänt proportionellt mot avståndet innanför den radiooptiska horisonten och exponentiellt bortom densamma. När ledskiktsutbredning förekommer avtar fältstyrkan teoretiskt med roten ur avståndet ([UHF](#)).

När såväl sändar- som mottagarantenner befinner sig i ett ledskikt, blir utbredningsdämpningen lika med eller ofta t o m lägre än vid utbredning i fritt rum.

Förutsättning för ledskiktstransporter med mycket låg dämpning är tillräckligt hög frekvens hos vågen. Det är bl a skiktjockleken som bestämmer lägsta överföringsfrekvens. Maximala skiktjockleken uppgår till ca 150 m. Den vanligast förekommande är dock endast ca 30 m, vilket innebär överföringsfrekvenser överstigande ca 300 MHz för effektiv ledskiktstransport. Allmänt kan sägas att sannolikheten för ledskiktstransport är större för frekvenser ovanför 100 MHz än under.

Vågrörelser i troposfären medför emellertid förändring av skikthöjden i såväl tid som rum, därigenom möjliggöres inmatning av energi i skiktet från sändarantennerna utanför detsamma samtidigt som förutsättning för mottagning av ledskiktssignaler utanför skiktet förbättras. Slutsatsen blir att man kan förvänta sig effektiv ledskiktsutbredning med låg utbredningsdämpning långt bortom den normala radiohorisonten mellan sändare och mottagare inte bara när antennerna befinner sig i ledskikten utan även på avsevärd höjd över eller under dem.

Sammanfattning

Störningar inom VHF-UHF

Underlaget för en tillförlitlig statistik beträffande förekomsten av förhöjda fältstyrkor bortom den normala radiohorisonten är fortfarande otillräckligt.

Inom den lägre delen av det betraktade frekvensområdet ($f > 30$ MHz) är utbredning via jonosfären eller reflexion i eleverade (förhöjda) troposfärskikt de utbredningsmekanismer som ger upphov till utbredning bortom den normala horisonten. I den högfrekventa delen kan ledskiktsutbredning ge låg utbredningsdämpning över stora förbindelseavstånd.

Långväga störningar i VHF-området under 90 MHz förekommer relativt ofta.

Störningsfrekvensen kan uttryckas statistiskt med avseende på frekvens och avstånd. Man skiljer lämpligen på störningar från sändare vilka är belägna under respektive över ca 800 km från den störda mottagaren.

Störningar på avstånd under 800 km

Utbredning av VHF-signaler bortom radiohorisonten sker med hjälp av reflekterande troposfäriska skikt vilka har förmåga att reflektera eller leda signalen på avstånd upp till 800 km. Dämpningen blir därvid avsevärd mindre än vid normal utbredning. Dessa skikts uppkomst är meteorologiskt betingande och alltså ej avhängigt solens aktivitetscykel. Förekomstfrekvensen beror av utbredningsvägen:

- över vatten är sannolikheter för uppkomst av troposfärskikt oberoende av tid på dygnet; men är vanligast vår och sommar;
- över land uppträder skikten företrädesvis under sommarnätter. De störande signalerna är ofta starka, regelbundna men relativt kortvariga.

Störningar på avstånd över 800 km:

På avstånd över 800 km överföres VHF-frekvenser dels via de reguljära jonosfärskikten, dels via så kallade sporadiska E-skikt.

Under tiden oktober - mars och vid solfläcksmaximum förekommer sporadiskt (mindre än 10 % av tiden) störningar från avlägsna sändare i söder och öster på frekvensen under 50 MHz.

Denna interferenstyp förekommer endast dagtid och är regelbunden, svag och relativt långvarig.

Under sommarmånaderna, april - september, förekommer de kraftigaste störningarna från VHF-sändare i söder, öster och väster. Störningarna förekommer bara på dagtid och är vanligast på frekvenser under 60 MHz men kan inträffa upptill 90 MHz.

Störningar förekommer mest från sändare belägna ca 800 - 2000 km från mottagarplatsen med maximal förekomst på ca 1000 km avstånd. Störningsfrekvensen varierar kraftigt från år till år och har uppenbarligen ej något samband med solens aktivitetscykel. Störningarna är ofta regelbundna, starka (speciellt under 60 MHz) och varar upptill några timmar.

Andra störningstyper:

Reflektioner från sk radio-norrskan kan ge upphov till svagare, oregelbundna störningar i hela VHF-bandet och kan orsakas av sändare belägna från 0 - 2000 km avstånd från mottagarplatsen. Denna störningstyp förekommer huvudsakligen på kvällen och natten samt kring vår och höst. Styrkan och förekomstfrekvensen ökar med solfläckscykeln och sammanfaller med störningar i det jordmagnetiska fältet.

Denna text har sitt ursprung omkring 1975 inom dåvarande Televerket Radio och har använts i utbildningen av radiooperatörer inom och utom Televerket.

Till texten hör en Bildbilaga.

97-02-14 / Janne Petersson /SM0EU