

## 16. MARKVÅG

Författare Bertil Lindqvist, SM6ENG

Denna myt handlar om att många sändareamatörer ofta tillmäter markvågen större betydelse än vad den har. Vidare så behandlar den en del begreppsförvirringar. Jag har själv haft problem med detta men jag skall försöka bena ut en del begrepp som kanske skingrar dimmorna eller åtminstone väcker medvetenhet om att man bör precisera sig när man använder ordet markvåg.

Denna artikel fokuserar på

- att markvågen spelar mycket mindre roll vid amatörradiokommunikation än många tror – det är t.ex. extremt få QSO som utväxlas på HF-banden och 1,8 MHz via markvåg, även på mycket korta avstånd. På VHF är det inte ovanligt att man tror att man utnyttjar markvåg, eftersom man t.ex. alltid hör en fyr som ligger bortanför radiohorisonten - istället handlar det då oftast om utbredning via scattering.
- att markvåg är ett samlingsnamn för olika vågutbredningsformer varför man måste precisera sig när man diskuterar detta begrepp
- att det rent allmänt finns en del olyckliga terminologival i detta sammanhang som ofta leder till missförstånd
- att ge en viss insikt i egenskaperna hos ytvåg kontra direktvåg – men inte att ge djupare fysikalisk förklaring om dess vågor (det är oerhört komplicerat och ligger utanför min kompetens.)

Artikeln gör inte anspråk på att beskriva alla fenomen relaterade till markvåg. Övriga vågutbredningsformer i artikeln är medtagna enbart i syfte att ge en helhetsförståelse men inte med syfte att beskriva alla aspekter av dessa. Syftet med artikeln är att visa att markvågen inte har någon praktisk betydelse för amatörradiokommunikation förutom med några få undantag – vilka anges.

**OBS** när jag i artikeln talar om räckvidden för markvåg, dvs. ytvåg eller direktvåg, så skall det tolkas som att signalstyrkan understiger en nivå som gör att markvåg inte kan användas för kommunikation eller att signalen via markvåg är helt försumbar jämfört med signalen via jonosfären. Räckvidd för direktvåg avser enbart räckvidd mellan markbaserade stationer, inte satellitkommunikation.

DEFINITIONER ENLIGT INGENJÖRSHANDBOKEN, volym 3A

Med viss risk för att det kan finnas andra definitioner väljer jag att referera till ovan rubricerade handbok. I denna tar man upp tre typer av elektromagnetisk vågutbredning:

- MARKVÅGOR
- RYMDVÅGOR
- LEDDA VÅGOR

Nedan fokuserar jag på begreppet markvåg eftersom det är detta som denna artikel behandlar.

## MARKVÅG

Enligt det gamla uppslagsverket Ingenjörshandboken 3a, Antenner och vågutbredning, kap. 1: ”Markvågor: Till detta begrepp räknas alla radiovågor, som på vägen från sändar- till mottagarantennen inte passerar jonosfären (den övre atmosfären). Markvågorna kan indelas i följande tre underavdelningar”:

Ytvågor

Direkta vågor (nedan kallad direktvåg)

Markreflekterade vågor"

Sedan säger man allt som inte är markvågor kallar vi för rymdvågor och det är således vågor som passerar den övre jonosfären. De som kör på lite högre frekvenser ställer då sig frågan, är det alltså markvåg jag kör när jag kör DX på t.ex. 144 MHz. Det känns ju inte riktigt bra eftersom man i dessa fallen oftast kör vi dukter (gränsskikt mellan varm och kall luft) i atmosfären (förutom vid sporadiskt E). Denna vågutbredningsform, som enligt min mening inte tillhör kategorin markvåg, kallas för ”tropospheric ducting”. Vidare så finns ju ”tropo scatter” varför jag har sett mig nödsakad att även ta upp detta. Det hade kanske varit bra om man hade använt begreppet ”troposfärsvåg”. Det finns mer olyckligt terminologival i detta sammanhang t.ex. så kallas rymdvåg ibland för atmosfärsvåg.

## YTVÅG

En ytvåg är en vågrörelse som följer gränssytan mellan två medier. Exempel på mekaniska ytvågor är vågor som går på vattnet. Not, även om definitionen för ytvåg gäller för både mekaniska och elektromagnetiska vågor så skall man noga akta sig för att göra jämförelser i övrigt. När det gäller elektromagnetisk strålning så följer vågen en gränssyta mellan två material. Förutsättningen för att en elektromagnetisk våg skall följa en gränssyta mellan två medier är att vågen tränger in i bägge dessa medier. Vågorna under och över denna gränssyta får olika våghastigheter varför dessa interfererar. Detta resulterar i att vågfronten lutar varför den kan följa jordens krökning. Hur mycket vågen påverkas/lutar beror på hur stora skillnaderna är mellan respektive materials dielektricitetskonstant och resistivitet. Jordens ledningsförmåga är en viktig parameter här.

Det som gör att det går att få stora räckvidder via ytvåg på lägre men inte på högre frekvenser är att inträngningsdjupet ökar med minskad frekvens. Grimeton nådde USA via ytvåg på 17,2 kHz med en stabil signalstyrka som varierade max 6 dB.

Man hade redan i början av 1900-talet en formel för att beräkna vilken våglängd som var lämplig för att överbrygga ett visst avstånd via ytvåg:

$$\text{Avståndet [m]} / 500 = \text{våglängd [m]}$$

Ett annat sätt att skriva formeln är:

$$150 / f \text{ [MHz]} = \text{avstånd [km]} \text{ (ekvation 1)}$$

Några exempel:

För att överbygga ett avstånd med ytvåg på 100 km är en frekvens på 1.5 MHz ”lämplig”.

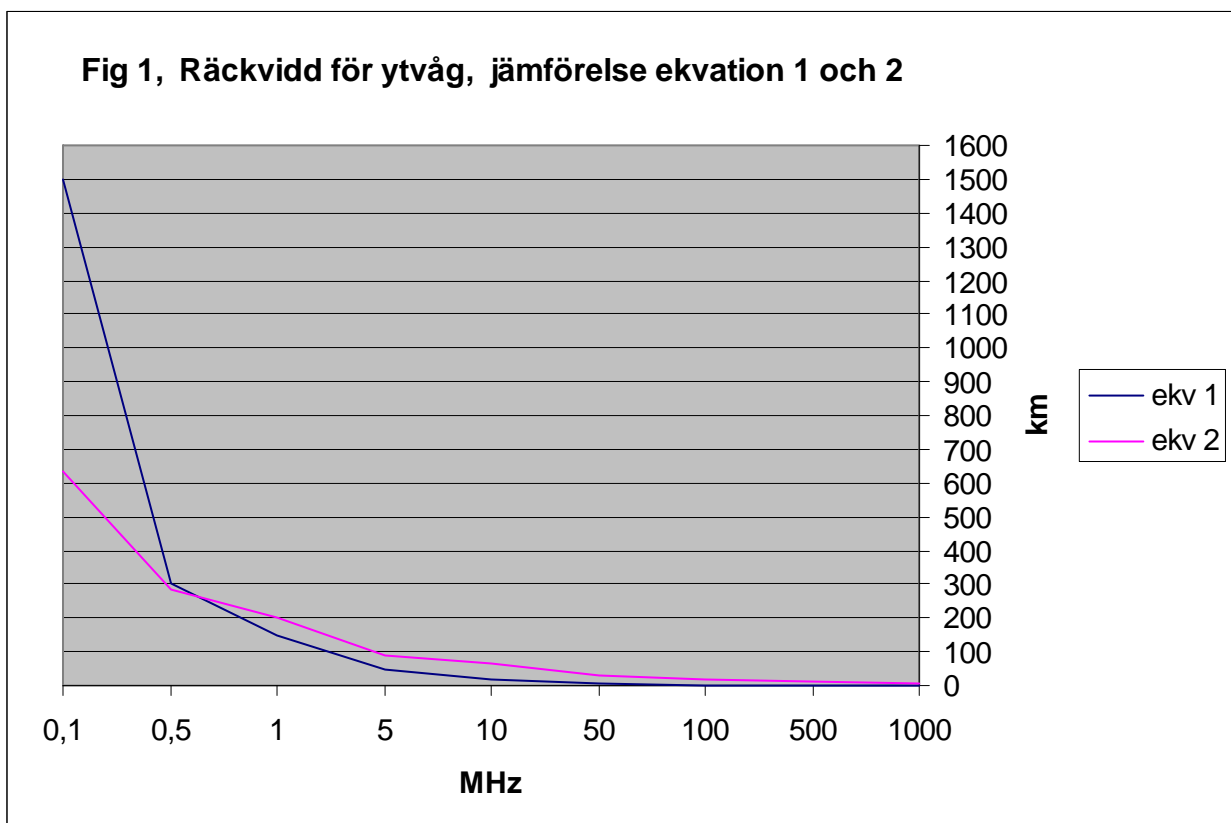
Avståndet mellan Sverige och USA östkust är ca 6000 km. En ”lämplig frekvens” för att överbygga detta avstånd med ytvåg blir då omkring 25 kHz (12000 meters våglängd).

Not: ordet ”lämplig” tolkar jag som den frekvens som medgav en säker kommunikation med hänsyn tagen till dåtidens utrustning samt ekonomiska aspekter.

Jag har hittat en annan formel publicerad 2001 av Stockton Radio Society:

$$\text{Räckvidd [km]} = 200 / \sqrt{f \text{ [MHz]}} \text{ (ekvation 2)}$$

Ekvation 1 stämmer sannolikt bäst för frekvenser under 1 MHz medan ekvation 2 sannolikt stämmer bättre för frekvenser över 1 MHz – se en grov jämförelse i fig. 1. OBS bägge ekvationerna är mycket approximativa, vertikal polarisation förutsätts och räckvidden påverkas av markens ledningsförmåga.



Summering av viktiga egenskaper hos ytvågen:

1. Styrkan avtar med frekvensen – se formler ovan.
2. Ytvågen har vertikal polarisation, det krävs vertikalpolariserade antenner för att få en ytvåg. De flesta kör horisontell polarisation. (Trots detta så kan en del vertikala komponenter uppstå pga. reflektioner i omgivningen eller ström på utsidan av koaxialkabeln som oftast hänger vertikalt.)
3. Om man använder horisontell polarisation nära markytan, i våglängder räknat, så förmår antennen inte skapa några påtagliga ytvågor, därför att ytvågorna kommer att mer eller mindre kortslutas i den ledande markytan, varvid styrkan på ytvågen blir mycket liten
4. Räckvidden för ytvågen är mycket begränsad på HF och uppåt.
5. Räckvidden påverkas av markens ledningsförmåga.
6. Om man kör med horisontella antenner med hög strålningsvinkel på de lägre HF banden, 3.7 MHz och nedåt, blir oftast den reflekterade vågen från jonosfären helt dominerande redan efter några km från antennen.
7. Om vi har vertikal polarisation så kan vi endast ha praktisk nytta av ytvågen på lägre frekvenser, 1.8 MHz och lägre.
8. Att överhuvudtaget nämna ytvåg vid VHF kommunikation är meningslöst eftersom, räckvidden för denna är liten – se formel. Dessutom så kör de flesta seriösa VHF amatörer med horisontell polarisation.
9. För antenn som placeras på en höjd som överstiger ett par våglängder är ytvågen helt försumbar, Här får man istället en fri våg som ger sig iväg mot troposfären och jonosfären – vill inte använd begreppet rymdvåg här.
10. De flesta VHF-antenner sitter oftast på en höjd som överstiger ett par våglängder, På kortare avstånd där vi har fri radiohorisont är det direktvågen som är dominerande. Kör man längre avstånd på VHF så har vi alltid att göra med reflektioner i troposfären och här säger vi om att vi är beroende av konditioner – dvs. hur de olika luftlagren är sammansatta. I extrema fall kan det vara frågan om utbredning via jonosfären när vi har så kallat sporadiskt E. Sedan är ju vågutbredning även möjlig via norrsken, meteor-scattering och månstuds och på högre frekvenser via rain scatter - men det är en annan femma.

## DIREKTIVÅG

Den optiska sikten begränsas av jordens krökning om man inte har några hinder/höjder som skymmer sikten. Den optiska sikten mellan två höjder  $h_1$  och  $h_2$ , angivna i meter, kan beräknas med formeln:

$$\text{Optisk sikt i km} = 3,4 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Not: Det förekommer lite olika faktorer i litteraturen. De faktorer jag angivet är baserade på siktberäkningar sjömärken och fyrar. Faktorn 3.4 tar hänsyn till att ljuset böjs vid horisonten. Om man avser den geometriska horisonten är faktorn ca 3.1 istället för 3.4.

Räckvidden för en radiofrekvent direktvåg mellan två antenner med höjden  $a$  respektive  $b$  [meter över marken] från en radiosändare är något längre. Räckvidden kan beräknas med formeln:

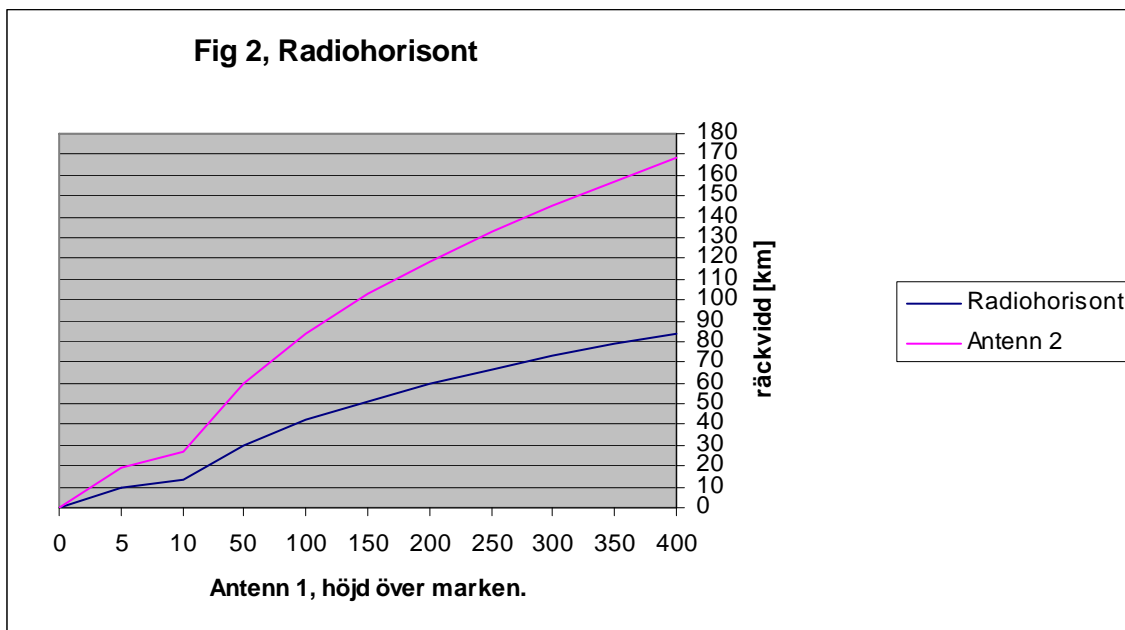
$$\text{Räckvidden för radiofrekvent direktvåg i km} = 4,1(\sqrt{a} + \sqrt{b})$$

**OBS** om det finns det hinder/höjder emellan antennerna så minskar räckvidden dvs. formeln stämmer inte för dessa fall. Har man helt plan mark eller t.ex. hav emellan antennerna så stämmer formeln hyfsat.

När en elektromagnetisk våg passerar horisonten så kommer en del av vågen att böjas av i gränsskiktet mellan jordytan och atmosfären. Brytningen storlek är frekvensberoende. Detta resulterar i att en radiovåg når något längre bortom horisonten än en ljusvåg gör, men bägge vågorna når alltså längre än vad som begränsas av den geometriska horisonten. Avståndet till den punkt bortom horisonten där en radiosignal kraftigt avtar i styrka kallas för radiohorisonten.

Nämnas bör även ”knife-edge effekten” vilken är besläktad men inte identisk med ovanstående. ”Knife-edge effekten” uppträder när det är skarpkantade hinder i vägen. Detta fenomen ger väldefinierade diffraktionsmönster bakom hindret, medan jordens krökning är för trubbig för att kunna ge sådana mönster bortom radiohorisonten. I ARRL:s VHF-manual från 1960-talet finns en bra genomgång av hela frågeställningen. Not: i vissa fall kan ett hinder på lämpligt avstånd och med lämplig storlek faktiskt ge extra ”förstärkning” av signalen åt vissa riktningar – men det är överkurs.

I fig. 2 nedan visas ungefärlig räckvidd, via direktvåg, för antenn 1 till radiohorisonten och räckvidd mellan antenn 1 och antenn 2 med samma höjd som antenn 1, som funktion av antennhöjd.



Två stationer som har sina antenner på 100 meter över marken kan således nå varandra med direktvåg upp till ca 82 km om det inte finns några hinder emellan (vilket ju är sällsynt).

**OBS** om man har höga strålningsvinklar t.ex. med en dipolantenn som sitter runt  $\frac{1}{4}$  våglängd över marken så går loben rakt uppåt (hög strålningsvinkel) vilket givetvis minskar direktvågens styrka/räckvidd.

#### Summering av viktiga egenskaper hos direktvågen:

1. Direktvågen begränsas av antennhöjden i kombination med jordens krökningsradie. Räckvidden blir något längre än för vad som begränsas av den geometriska horisonten – se formler ovan. Finns hinder/höjder emellan antennerna så gäller inte angiven formel för radiohorisont och räckvidden blir då mindre.
2. En dipol som sitter lågt ( $\frac{1}{4}$  våglängd eller lägre) strålar rakt upp i jonosfären dvs. man får en hög strålningsvinkel. Denna situation är mycket vanligt för antenninstallationer för 160- och 80-meters bandet. Styrkan hos direktvågen blir därmed avsevärt mindre och det blir istället jonosfärsvågen som dominerar redan på mycket korta avstånd från antennen.

## MARKREFLEKTERADE VÅGOR

Dessa vågor, är som namnet anger, vågor som reflekteras av marken. Det sker t.ex. när antennloben når marken och reflekteras därifrån. När en antenn samtidigt tar emot direktvåg och markreflekterade vågor har alltid den markreflekterade vågen gått en längre sträcka. Fas och amplitud hos markvågen, relativt direktvågen, avgör hur stor signalstyrkan blir när dessa signaler summeras i mottagaren.

Denna vågutbredningsform är inte av primärt intresse men spelar en stor när man analyserar antenndiagram eller om man medvetet utnyttjar reflektioner från ett föremål, t.ex. en mast, på höga frekvenser (jag har från Landvetter haft QSO med SM7ECM i Hjärup via Öresundsbron på 10 GHz - men jag reserverar mig för om detta får kallas för reflekterad markvåg). I kommersiella sammanhang där man t.ex. planerar GSM eller 3G celler för mobiltelefonnätet har reflekterade markvågor sin betydelse. I denna artikel beaktar jag inte markreflekterade vågor ytterligare

## SPRIDNING/SCATTER

Vid kommunikation på de högsta HF-banden samt VHF/UHF finns det slutligen en utredningsmekanism som stadigt medger kommunikation långt bortom radiohorisonten, utan några ”duktar” eller reflekterande skikt dvs. **man är oberoende av konditionerna**. Denna mekanism kallas sammanfattningsvis för spridning eller ”scatter” och beror på att radiovågor sprids via oregelbundenheter på jordytan samt i atmosfären. Spridning kan ske både i jonosfären och i troposfären men ju högre frekvens ju mer överväger signalerna från troposfären. Signalstyrkan som funktion av avståndet sjunker i detta fall först mycket snabbt när radiohorisonten passeras, för att sedan plana ut. ”Tropo scattering” kan överbrygga avstånd i storleksordningen upp till 800 km medan ”jonosfär scattering” kan överbrygga avstånd i storleksordningen upp till 2000 km. Signaler via scattering kännetecknas av mycket QSB vilket beror på att signalen går olika vägar.

## KOMMUNIKATION VIA MARKVÅG

Vid kommunikation via markvåg, dvs. ytvåg eller direktvåg, är det en stor nackdel om bägge stationerna **inte** kör med samma polarisation – man förlorar då åtskilliga S-enheter i signalstyrka. Vid vågutbredning via jonosfären spelar detta mindre roll eftersom polarisationen ändå vrider sig.

Signaler via markvåg kännetecknas av stabil signalstyrka dvs. lite QSB.

När vi talar om räckvidder som är längre än räckvidden för markvågen, dvs. för ytvågen och/eller för direktvågen, så har vi alltid att göra med någon form av jonosfärförbindelse, förbindelse över dukter, eller via scattering. Det finns specialfall som EME, MS, ”rain scatter”, Aurora som jag inte vidareutvecklar här.

En del kanske ställer sig frågan hur det kommer sig att det då går att köra relativt korta distanser på 80-meters bandet när inte markvågen ”når fram”? Då måste denna våg komma via jonosfären - men är det möjligt med så korta avstånd ”skip” via jonosfären?

Svaret på detta är ”ja” och de beror till största delen på att de flesta har sina antenner för detta band på en låg höjd (dvs. en höjd som är ca  $\frac{1}{4}$  våglängd eller mindre,) varvid vi får en antennlob som strålar rakt uppåt, dvs. en hög strålningsvinkel. Lästips: Slå upp begreppet NVIS.

Då radioamatörer trots att de har haft QSO via markvåg, med horisontella antenner på HF-banden, så har denna kommunikation, med extremt få undantag, skett via jonosfären där NVIS utgör mekanismen.

Ett ”bevis” för att utbredning via jonosfären på de låga HF-banden har betydelse också vid korta avstånd är att man vanligen kan märka fading eller ”QSB” även när avstånden är nere på något 10-tal km. Ett annat bevis är att stationer som kör med horisontell polarisation ofta inte kan ha QSO på t.ex. 3.7 MHz nattetid - trots att de bara ligger något/några 10-tal km ifrån varandra.

## SLUTSATS

Baserat på ovanstående sammanvägt med hur vi använder våra amatörradioband påstår jag att:

Markvågen, dvs. ytvågen och direktvågen, har i de flesta fall ingen praktisk/signifikant betydelse för amatörradiotrafik **med tre undantag:**

- När vi kör med vertikal polarisation på amatörradioband från 1.9 MHz och nedåt via ytvåg
- När vi kör /mm dvs. från båt med vatten runt omkring (bäst är saltvatten), med vertikal antenn på de låga HF-banden eller lägre frekvenser. Här kan man få kommunikation via ytvåg upp till storleksordning 100-200 km. När vi kör mobilt från bil kan vi i de allra flesta fall bortse från ytvågen. (Kanske kan ytvågen spela en viss roll om man t.ex. ställer sig vid Vänerns strand och kör en station på andra sidan)
- När vi kör från 28 MHz och uppåt, via direktvåg. (En stor del av kommunikation över repeatrar sker via direktvåg). Polarisationen har inte samma drastiska inverkan för direktvågen som för ytvågen, men det är något mer gynnsamt att köra horisontell polarisation, vilket har att göra att hur signalen dämpas av hinder (det är därför som det går bättre att köra mobilt med en Haloantenn på 144 MHz jämfört med en vertikalantenn)

**OBS** av mina inledande kapitel så framgår att det finns en viss begreppsförvirring inom detta område. Om man skall diskutera detta ämne så är det viktigt att man klargör och är överens om vad man menar med begreppen. Denna anmärkning gäller ju allt som man diskuterar men här finns det extra anledning att se upp.

## TILL SIST

Kom ihåg att när vi talar om direktvåg, ytvåg, rymdvåg etc. så är det hela tiden manifestationer av samma elektromagnetiska fält. De olika namnen är ju bara vårt sätt att hantera olika beteende hos fältet.

Tack till SM6APQ, SM0AQW, SM5DWF och SM6ESG som medverkat under framtagning av artikeln. Speciellt tack till SM0AOM som faktagranskat artikeln.