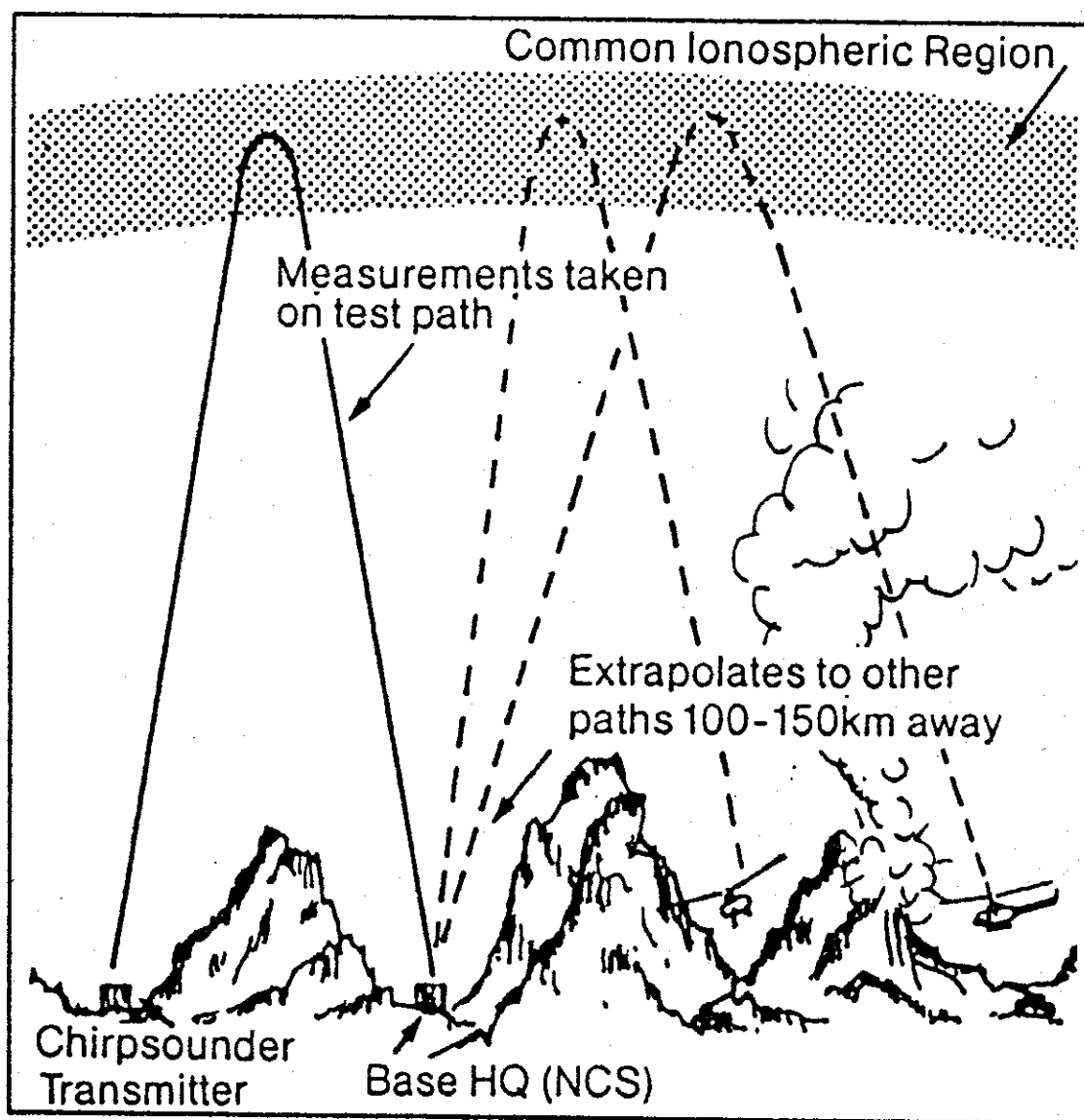


Antenner og radiobølgenes udbredelsesforhold - herunder højarktiske egne - i kortbølgeområdet 1,6 - 30 MHz



Af OZ7YO Ole B. Skipper.



Teknisk temahefte nr. 6

Tillæg til OZ 1998

INDHOLD

	Side:
1. Radiobølgernes udbredelsesforhold	3
1.1. Generel oversigt	3
1.1.1. Langbølge "DC" - 0,3 MHz	3
1.1.2. Mellembølge 0,3 - 3 MHz (0,3-1,6 MHz)	3
1.1.3. Kortbølge 3 - 30 MHz (1,6 - 30 MHz)	3
1.1.4. Ultrakortbølge 30 - 1000 MHz	3
1.1.5. Mikrobølge 1000 MHz (1 GHz) - 100 GHz?	3
1.1.6. Sammenligning med lys	3
1.2. Kortbølge frekvensområdet 1,6 - 30 MHz (1,6 - 50 MHz)	3
1.2.1. Udbredelse af jordbølger	3
1.2.1.1. Frekvenser under ca. 30 MHz	3
1.2.1.2. Frekvenser over ca. 30 MHz, herunder "line of sight" forbindelser	4
1.2.2. Ionosfæreflekterede bølger (refleksions udbredelse) for frekvenser under ca. 30 MHz	5
1.2.2.1. Introduktion	5
1.2.2.2. De enkelte lag i ionosfæren	6
1.2.2.3. Afbøjning/reflektering/spejling i ionosfæren	7
1.2.2.4. Ionosfæreradar	8
1.2.2.5. Solpletter	8
1.2.2.6. MUF (Maximun Usable Frequency)	9
1.2.2.7. Fading	11
1.2.2.8. Multi-"hop" forbindelser	11
1.2.2.9. Forbindelser over "korte" afstande	11
2. Antenner	12
2.1. Hvad er en antenne og hvad bruges den til	12
2.1.1. Antenners fødepunktsimpedans, standbølge- forhold (VSWR), afstemning	12
2.2. 1/4-bølge Ground Plane antenner	14
2.2.2. 1/2-bølge dipoler	15
2.2.3. Whip/Pisk antenner	20
2.2.3.1. Anvendelse af modvægt til pisk antenner	20
2.2.4. Multifrekvens dipoler, basis stations antenner	20
3. Valg af frekvenser, antenner og sende-effekter ud fra parametre så som, kommunikations distance, solplet aktivitet, udstyr til rådighed, steder hvor udstyret skal bruges m.v.	21
3.1. Kommunikations distance(r)	21
3.2. Frekvensvalg, evt. ud fra solpletaktivitet	22
3.3. Valg af udstyr, sender effekter, antenner m.m.	22
3.4. Er der brug for en relæstation?	22
4. Radiobølgernes udbredelsesforhold i højarktiske egne	23
4.1. Introduktion	23
4.1.1. Påvirkning af ionosfæren	23
4.2. Geo-magnetiske koordinater	24
4.2.1. Aurora ovalen og "The Polar Cap"	24
4.3. F-laget i de højarktiske områder	25
4.4. E-laget og dæmpning af radiobølger i de højarktiske områder	25
4.5. D-laget og dæmpning af radiobølger i de højarktiske områder	25
4.5.1. Aurora oval dæmpninger	26
4.5.2. "Polar Cap Absorption" (PCA Event)	26
4.6. Kortbølgeudbredelse i den irregulære polare ionosfære	26
Bilag. Eksempler på MUF tabeller og LUF - MUF beregninger	27

1. Radiobølgenes udbredelsesforhold

1.1. Generel oversigt

1.1.1. Langbølge, 'DC' - 0,3 MHz

Jordbølgen dominerer. Jord - ionosfære området virker som en bølgeleder. Jorddæmpningen er lille, specielt ved de laveste frekvenser, hvorfor jordbølgens rækkevidde kan blive anselig (telegrafi-forbindelse opnåedes i 1924 på 17,2 kHz mellem Sverige og USA). Ionosfærebølgen absorberes om dagen i D-laget, men kan om natten reflekteres i E-laget. Jordbølgen og ionosfærebølgen kan derved give interferensfading. Man anvender vertikalt polariserede bølger. Store sendeeffekter og store antennesystemer er nødvendige.

1.1.2. Mellembølge 0,3 - 3 MHz (0,3 - 1,6 MHz)

Jorddæmpningen begrænser jordbølgeudbredningen. Absorption i D-laget om dagen, refleksion i E-laget om natten. Man får i almindelighed en zone, hvor om natten jord- og ionosfærebølger giver interferensfading. Indenfor zonen dominerer jordbølgen hele døgnet. Udenfor zonen har man ionosfærebølger om natten. Man anvender vertikal polarisation. Relativt store sendeeffekter og relativt store antennesystemer er nødvendige. (Den hedengangne(?) 'Radio Luxemburg' sendte med 1,2 MW).

1.1.3. Kortbølge 3 - 30 MHz (1,6 - 30 MHz)

Jordbølgen giver ubetydelig rækkevidde. Direkte bølge til horisonten eller noget længere. I almindelighed får man en død zone (skip-zone). Ionosfærebølgen kan i F1/F2-lagene reflekteres et antal gange med stor rækkevidde til følge. En vis absorption om dagen i D-laget og E-laget. Solpletaktiviteten har stor indflydelse for udbredelsesforholdene.

Man anvender oftest horisontal polarisation ved ionosfærebølgeudbredelse. Der behøves ikke særligt store sendeeffekter eller antenner.

1.1.4. Ultrakortbølge 30 - 1000 MHz

Man anvender direkte bølger (line of sight). Spøriske ionosfærefleksioner kan dog opleves ned til nogle få meters bølgelængde. Høj antenneplacering. Rækkevidde til horisonten eller lidt længere. Dæmpning på grund af vegetation. Anvendes til radio, TV, mobiltelefon og lukkede net (f.eks. politiet).

Vilkårlig polarisation. Relativt små antenner og fra små til store effekter. (En 'lommefon' sender med ca. 2 W, hvor en TV-2 sender typisk sender med 40 kW (40.000 W)).

1.1.5. Mikrobølge 1000 MHz (1 GHz) - 100 GHz?

Direkte bølger (line of sight). Rækkevidde til horisonten eller lidt længere. Stor retningsvirkning. Stærke refleksioner fra faste genstande. Påvirkes af atmosfæren og vejrliget (gas- og dråbedæmpning). Anvendes til punkt til punkt forbindelser, f.eks. telefonforbindelser, radarsystemer samt satellitforbindelser.

Vilkårlig polarisation. Antennerne er normalt af reflektor typen - parabolantener - med meget stor retningsvirkning.

1.1.6. Sammenligning med lys

Radiobølger, der udbredes som direkte bølger eller reflekteres via ionosfæren, opfører sig på mange måder ligesom lys fra en lampe.

Ved direkte bølgeudbredelse gælder det samme som for lys: Der er forbindelse lige så længe, som der er optisk sigt (reelt dog ca. 14 % længere). Udbredelsen afbrydes ved, at der enten 'kommer noget i vejen' (huse, bakker, skov o.l.) eller at modtageren/observatøren kommer under horisonten. Plane bygningsflader og bjergsider kan i mange tilfælde udnyttes som reflektorer/spejle (passive reflektorer) for radiobølgerne.

Ved ionosfærefleksionsudbredelse virker ionosfæren som et 'spejl'/reflektor for radiobølgerne, og da dette 'spejl' befinder sig 200 - 500 km over jordens overflade, er det muligt ved hjælp af en enkelt spejling at opnå forbindelse over afstande op til næsten 4000 km. Ionosfærens effektivitet som spejl er dog meget frekvensafhængig og er koncentreret i frekvensområdet 1,6 - 30 MHz (se endvidere afsnit 1.2.2).

1.2. Kortbølgefrequensområdet 1,6 - 30 MHz (1,6 - 50 MHz)

1.2.1. Udbredelse af jordbølger

1.2.1.1. Frekvenser under ca. 30 MHz

Ved frekvenser under ca. 30 MHz 'afbøjes' radiobølgerne således, at de i større eller mindre grad følger jordens krumning, fig. 1. Jordbølgen er reelt 'bundet' til jordoverfladen, idet den følger terrænets variationer. Man kan opfatte jorden som en del af en leder og luften som en anden del af en leder.

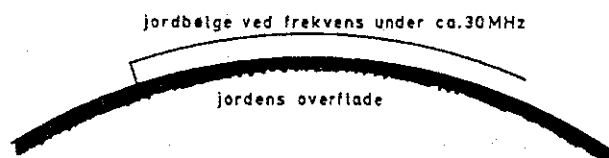


Fig. 1. Jordbølgens udbredelse.

Jordbølgenes rækkevidde er meget afhængig af frekvensen og jordoverfladens elektriske ledningsevne.

Jordbølgenes rækkevidde aftager med stigende frekvens, og forbindelser over ca. 30 MHz er reelt begrænset til den 'synlige' horisont.

Jordbølgenes rækkevidde stiger endvidere med stigende ledningsevne i jordoverfladen, d.v.s. stor ledningsevne (lav modstand) giver længst rækkevidde. Jordbølgenes rækkevidde er størst ved lodret polarisation, undtagen i byområder og store skovområder, hvor vandret polarisation er fordelagtigst. (I skovområder virker de lodrette træer som 'lodrette tabsmodstande' for lodret polariserede signaler).

Da jordbølgen er mest interessant for de lave frekvenser i kortbølgeområdet (plus mellem- og langbølgefrequenser), resulterer dette i store antennesystemer, hvor man f.eks. på 2 MHz typisk vil have en min. 37,5 meter (1/4 bølge lang) lodret mast med et tilhørende jordnet (radialnet) med fra 100 - 200 radialer ud fra masten. Radialerne skal ligeledes være mindst 37,5 meter lange. Radialerne bruges til at forbedre jordoverfladens ledningsevne i antennens umiddelbare nærhed, hvilket er meget vigtigt, se fig.2.

Typiske ledningsevner for jordoverflader er:

Saltvand:	Meget god
Ferskvand:	Halvgod
Våd jord:	Halvgod
Tør jord:	Dårlig
Frossen jord:	Dårlig (eksempel: permafrosen jord på Grønland har dårlig ledningsevne)
Sand:	Dårlig

1.2.1.2. Frekvenser over ca. 30 MHz, herunder 'line of sight' forbindelser

Ved frekvenser over ca. 30 MHz udbreder jordbølger (direkte bølger) sig stort set efter rette linier, mange gange kaldet 'line of sight' forbindelser,

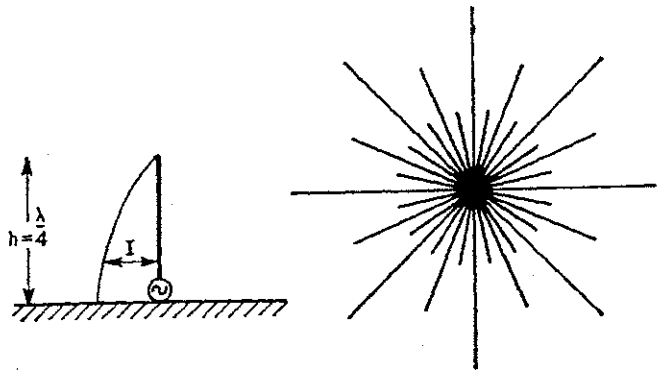


Fig. 2. Ground-plane antenne med tilhørende radialnet.

se fig.3. Ved frekvenser over ca. 30 MHz er det mest korrekt at kalde de 'ikke ionosfæreflekterede' bølger for direkte bølger, idet radiobølgerne ikke længere følger jorden og terrænets variationer. Dog kan den direkte bølge afbøjes i troposfærens luftlag, hvor fugtig og kold luft ligger skarpt adskilt fra varm og tør luft. Radiobølgerne vil under sådanne forhold gå langs luftlagenes skillelinie og muliggøre forbindelser over ekstraordinært store afstande. Fænomenet optræder hyppigst om sommeren.

Rækkevidden af direkte bølger over vand eller fladt terræn er:

$$A = 4,1 \times (\sqrt{H1} + \sqrt{H2}) \text{ km,}$$

hvor A er afstanden mellem modtager og sender i km, og H1 og H2 er højden over terræn i meter for hver af de to antenner.

Eksempel: Hvis H1 er 10 meter og H2 er 50 meter, så får vi en sikker kommunikationsafstand A på 41,95 km.

Da 'direkte bølgen' mellem to punkter kan udbrede sig ad to veje, nemlig direkte samt reflekteres via jorden, så opstår der tit fading/interferens (resultatet er variation i modtagersignalstyrken, kaldet 'fading' eller 'flutter') mellem signalerne fra de to signalveje.

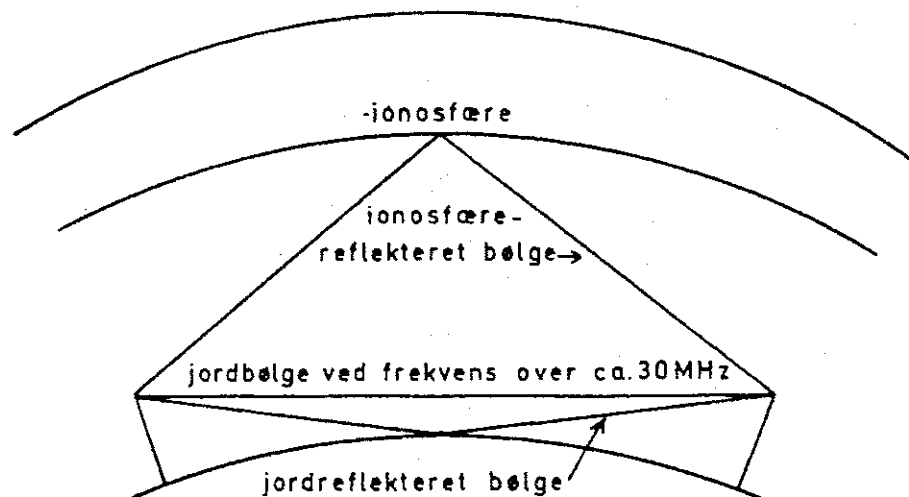


Fig. 3. Direkte og reflekterende radiobølgers udbredelse. Direkte bølgers signalstyrke aftager med kvadratiske

tet på afstanden, d.v.s. forøges afstanden med en faktor 2, så mindskes signalet med en faktor 4.

1.2.2. Ionosfærereflekterede bølger (refleksionsudbredelse) for frekvenser under ca. 30 MHz

1.2.2.1. Introduktion

I fig.4 er det muligt at få et indtryk af, hvordan jordens atmosfære typisk ser ud om dagen i området fra 1 km til 1000 km højde.

Det er i figuren muligt at aflæse typiske værdier så som tryk, temperatur og antallet af frie elektroner som funktion af højden. De frie elektroner er interessante i relation til radiobølger, idet de virker som en form for 'leder' overfor radiobølger i det lave frekvensområde, hvilket vil sige under ca. 30 MHz. Hvis en radiobølge møder et medie, der er ledende overfor den pågældende radiobølge, så vil radiobølgen blive afbøjet/reflekteret/spejlet afhængig af lederens ledningsevne, udstrækning og udseende. (Radiobølger kan dog også afbøjes

på anden vis). Et eksempel er en satellit TV parabolantenne, der virker som et spejl for de indkomne radiobølger på ca. 12 GHz.

De frie elektroner i mange kilometers højde i atmosfæren opstår ved, at stråling fra solen - primært ultraviolet stråling (UV) - 'slår' elektroner løs fra atomerne, der er tilstede i den pågældende højde. Disse frie elektroner - der er under påvirkning af blandt andet jordens magnetfelt - kan virke som en form for leder overfor radiobølgerne, idet de frie elektroner så at sige svinger frem og tilbage i takt med radiobølgerne (samme frekvens). De frie elektroner vender efter nogen tid - rekombinationstiden - tilbage til atomerne, så konstant stråling er nødvendig for at opretholde en given mængde frie elektroner.

Under hensyntagen til atomtæthed, strålingsintensitet, jordens magnetfelts styrke, temperatur, sted på jorden og andre faktorer, så har de frie - og dermed ioniserede - elektroner en udpræget tendens til at gruppere sig i flere lag. De lag, der i radiobølgemæssig sammenhæng udgør ionosfæren, benævnes D-, E-, F1 og F2-laget, se fig. 5,

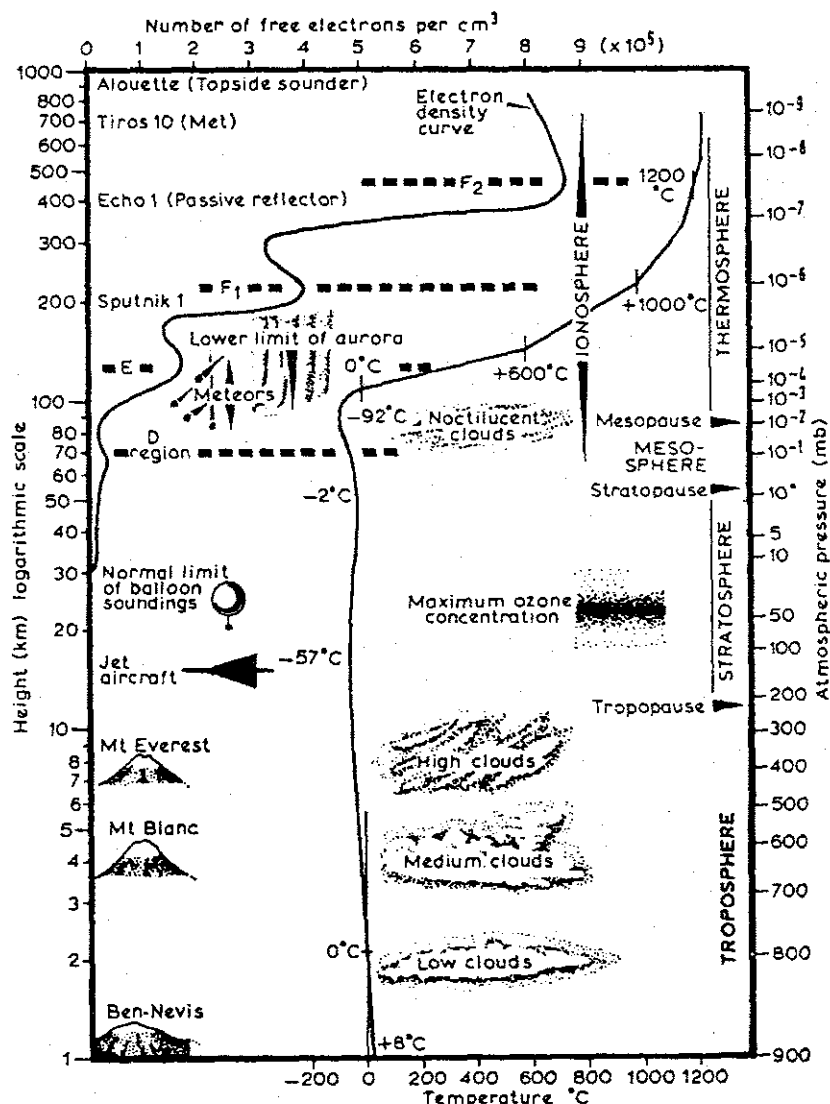


Fig. 4. Sammensætningen af jordens atmosfære/ionosfære om dagen.

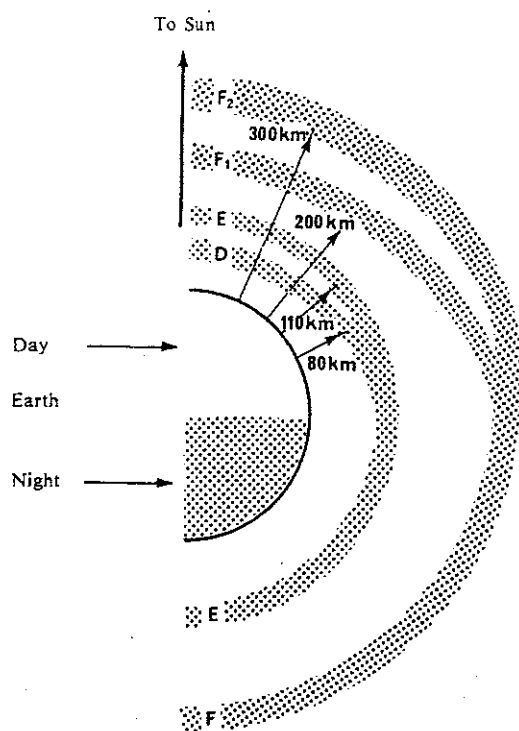


Fig. 5. Ionosfærelagernes højde over jorden, som funktion af solens placering.

og det er disse lag, der har betydning og udnyttes, når ionosfærens afbøjende/reflekterende/spejlede virkning udnyttes til etablering af radiokommunikationsforbindelser.

D-, E-, F₁- og F₂-lagernes effekt for radiobølgernes udbredelsesforhold er meget afhængig af tid på døgnet, tid på året og ikke mindst solpletaktiviteten (beskrives separat senere).

1.2.2.2. De enkelte lag i ionosfæren

D-laget

D-laget befinder sig i en højde over jorden på mellem 60 og 92 km. I denne relativt lave og tætte part af atmosfæren rekombinerer atomer - der er brudt op i ioner (frie elektroner og atomer hvor der mangler en elektron) af solstrålingen (lys plus UV) - meget hurtigt. Opbygningen af D-laget begynder ved solopgang, er maksimal ved middagstid og forsvinder igen ved solnedgang. Når elektroner i dette tætte medie er sat i bevægelse af en passerende radiobølge, er kollisioner mellem partikler så hyppige, at en stor del af energien omdannes til varme, hvilket giver stor dæmpning af radiobølgerne.

Sandsynligheden for kollision er afhængig af, hvor langt en elektron bevæger sig under påvirkning af radiobølgen, - med andre ord - afhængig af bølgelængden. Lange bølger (lave frekvenser) giver lange bevægelser (stor dæmpning), og korte bølger (høje frekvenser) giver korte bevægelser (lille dæmpning).

D-laget, også kaldet absorptionslaget, har derfor stor betydning for radiobølgernes udbredelse i dagtimerne i den lave ende af kortbølgeområdet.

I perioder med *lav* solpletaktivitet vil D-laget i dagtimerne i praksis forhindre (opsuge) ethvert forsøg på ionosfærebaseret kommunikation op til 2 - 3 MHz.

I perioder med *høj* solpletaktivitet vil D-laget i dagtimerne i praksis forhindre (opsuge) ethvert forsøg på ionosfærebaseret kommunikation op til 3 - 5 MHz.

Da absorptionen i D-laget er mere fremherskende end D-lagets evne til at reflektere radiobølgerne tilbage til jorden, så er D-lagets rolle i langdistancekommunikation meget negativ for lave frekvenser. Den frekvens, hvor absorptionen/dæmpningen er aftaget så meget, at det lige akkurat kan lade sig gøre at bruge frekvensen, kaldes **LUF** - lavest brugbare frekvens (**L**owest **U**sable **F**requency).

E-laget

E-laget befinder sig i en højde over jorden på mellem 100 og 115 km. I denne højde har atmosfæren en 'mellemtæthed', og ioniseringen varierer med solens højde over horisonten. E-laget bliver ioniseret af solens UV- og røntgenstråler (x-rag) samt derudover af meteoror og andre småpartikler, der kommer ind fra rummet. Opbygningen af E-laget begynder ved solopgang, er maksimal ved middagstid og forsvinder igen kort efter solnedgang. Minimum optræder kort efter midnat.

E-laget kan udnyttes som reflektionslag for korte forbindelser, men har sjældent den store betydning sammenlignet med F-lagene for lange forbindelser grundet dets relative ringe højde over jorden.

Den kritiske frekvens for lodret refleksion - som beskrives senere - for E-laget, er typisk ca. 3 MHz om dagen og 0,4 - 0,6 MHz om natten i perioder med *lav* solpletaktivitet, og ca. 4 MHz om dagen og 0,5 - 0,75 MHz om natten i perioder med *høj* solpletaktivitet.

I E-lagets højde kan der endvidere optræde et reflektionslag i begrænsede frekvensområder op til flere hundrede MHz. Disse såkaldte 'sporadiske'-E-lag ved høje frekvenser har levetider på fra få minutter til mange timer. 'Sporadisk'-E (Es) skyldes ikke stråling fra solen, men andre faktorer som f.eks. meget hurtige luftforskydninger i atmosfæren i E-lagets højde. Giver ved de frekvenser, hvor de opstår, mulighed for forbindelse over lange afstande. Vil ikke nærmere blive behandlet i

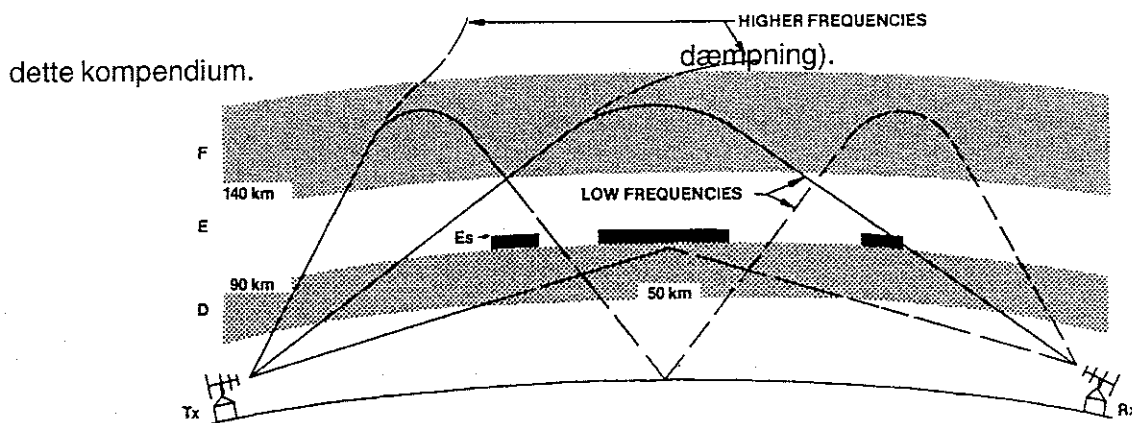


Fig. 6. afbøjning af radiobølger i ionosfæren.

F-lagene (F1 & F2)

F-laget/lagene befinder sig i en højde over jorden på mellem 150 og 500 km. Om dagen splittes F-laget op i et F1-lag og et F2-lag i hver sin højde, se fig.5, på grund af faktorer som strålingsintensitet fra solen, temperatur, jordens magnetfelt og andet.

F1-laget befinder sig typisk i en højde af 150 - 210 km, både dag og nat.

F2-laget, der opstår ved solopgang og forsvinder efter solnedgang, befinder sig typisk - midtpå dagen - i en højde af 300 - 400 km. Ved de højeste frekvenser for F2-laget, der desværre er meget ustabile, når F2-laget typisk op i 500 eller 600 km højde.

I F-lagenes højde er atmosfæren relativ 'tynd', hvilket indebærer, at de frie elektroner er relativt længe om at re-kombinere, d.v.s. vende tilbage til atomerne. Dette medfører, at ioniseringen holder sig så relativt længe, at F-laget bibeholder nogen refleksionsevne om natten.

Den kritiske frekvens for lodret refleksion - som beskrives senere - for F1/F2-lagene, er typisk ca. 5 MHz om dagen og 2 - 3 MHz om natten i perioder med lav solpletaktivitet.

I perioder med høj solpletaktivitet er den kritiske frekvens for lodret refleksion for F1/F2-lagene om sommeren typisk ca. 9 MHz om dagen og 6 - 7 MHz om natten, og om vinteren ca. 12 - 13 MHz om dagen og ca. 5 MHz om natten.

F-lagene er meget vigtige for langdistance kommunikationsforbindelser, idet refleksionslagene befinder sig så højt over jorden, at en enkelt refleksion/spejling giver mulighed for stor afstand mellem sender og modtager. Et 'enkelt hop', d.v.s. én ionosfærefleksion, kan forbinde en sender og en modtager med op til 4000 km afstand.

Som nævnt i omtalen af D-laget, så er sandsynligheden for elektronkollision afhængig af, hvor langt en elektron bevæger sig under påvirkning af radiobølgen, - med andre ord - afhængig af bølglængden. Lange bølger (lave frekvenser) giver lange bevægelser (stor dæmpning), og korte bølger (høje frekvenser) giver korte bevægelser (lille

Desto højere frekvens, det er muligt at få reflekteret/spejlet i ionosfæren, desto mindre dæmpning bliver radiobølgerne udsat for i ionosfæren. Da radiobølgernes styrke aftager med kvadratet på afstanden, så er det en fordel, at langdistanceforbindelser - der bruger de højeste frekvenser - bliver dæmpet mindst muligt i ionosfæren.

1.2.2.3. Afbøjning/reflektering/spejling i ionosfæren

Hvis vi sammenligner radiobølger med lys og ionosfæren med et spejl (fladt og jævnt), så er det nemt at forstå, at vi i ionosfæren kan få kastet vores radiobølger tilbage til jorden. Stedet, hvor radiobølgerne ender, er ligesom for lys afhængig af, hvor vi har spejlet og med hvilken vinkel, vi rammer spejlet, da indfaldsvinkel er lig udfaldsvinkel.

På mange måder kan ionosfæren opfattes som et fladt og jævnt spejl, men for fuldt ud at kunne forstå, hvad der sker i ionosfæren, så er det nødvendigt også at opfatte ionosfæren som et diffust og 'blødt' spejl.

Det er med radiobølger som med lys, at hvor de/det bevæger sig fra et medie med én tæthed og til et andet medie med en anden tæthed, så 'bøjes'/'knækkes' bølgerne væk fra den direkte rette linie.

Der er dog den meget store forskel, at hvor lys i f.eks. glas eller vand med tiltagende tæthed - , så 'bøjes'/'knækkes' radiobølger i ionosfæren den modsatte vej - mod aftagende tæthed. Da lagene i ionosfæren set nede fra jorden først tiltager i tæthed, for derefter at aftage igen, så har den underste halvdel af lagene netop den egenskab, at de 'bøjer'/'knækker' radiobølgerne tilbage mod jorden. Se fig.6.

Ved lave frekvenser - op til den kritiske frekvens for lodret refleksion - støder radiobølgerne, der bliver sendt lodret op, ligesom 'panden mod en mur' i ionosfærelagene; de kan ikke komme videre og bliver derfor reflekteret tilbage til jorden, som om der var et spejl det pågældende sted. Dette skyldes, at ionosfæren for radiobølger har

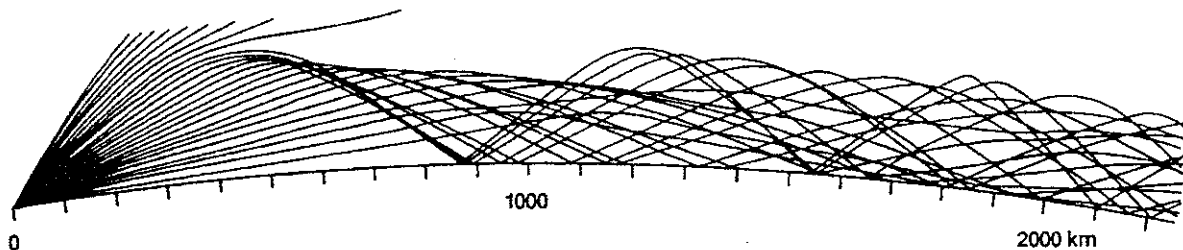


fig. 7. Typisk "Ray Tracing" for ionosfæreudbredelse af kortbølge signaler.

en forskellig tæthed afhængig af frekvensen. (Lave frekvenser stor relativ tæthed, høje frekvenser relativt lille tæthed.)

1.2.2.4. Ionosfæreradar

Til bestemmelse af, hvordan ionosfærens egenskaber er 'her og nu', anvendes en såkaldt ionosfæreradar. Denne radar sender et signal lodret op i luften, og er der refleksion i ionosfæren på den pågældende senderfrekvens, så reflekteres signalet, og radarens modtager kan måle styrken af det modtagne signal, samt hvor længe det har været undervejs. Da 'rejsetiden' for signalet er proportionalt med, hvor højt refleksionslaget befinder sig over jorden, er vi dermed i stand til at bestemme, hvor højt over jorden refleksionslaget befinder sig.

Ved at lade radaren forøge sin sende- og modtagerfrekvens med f.eks. 0,1 MHz mellem hver måling, startende ved 1 MHz og sluttende ved f.eks. 30 MHz, er det muligt at få et billede af, hvordan ionosfæren ser ud i kortbølgeområdet. Det er muligt at aflæse i hvilken højde de enkelte refleksionslag befinder sig, og derudover at aflæse den højeste frekvens for lodret refleksion for de enkelte lag. Disse maksimale frekvenser for lodret refleksion for hvert lag kaldes kritiske frekvenser (FK).

De kritiske frekvenser for ionosfærelagene anvendes i forbindelse med beregning af den højeste brugbare frekvens for en given afstand mellem sender og modtager. Den højest brugbare frekvens kaldes **MUF (Maximal Usable Frequency)**.

1.2.2.5. Solpletter

Ionosfærelagene ioniseringsgrad og dermed egenskaber varierer meget i løbet af et døgn, idet den side af jorden, der vender mod solen, naturligvis er den side, der får mest lys og stråling, hvilket giver størst ionisering af ionosfærelagene.

En anden faktor, der er meget vigtig i forbindelse med, hvor kraftig ionosfæren bliver ioniseret, er hvor aktiv solen er på et givet tidspunkt.

Et mål for solens aktivitet er antallet af solpletter på solen. En solplet kan beskrives som en form for 'vulkan'-udbrud, forårsaget af meget kraftige magnetfelter, hvor gasser, ladede partikler og forskellige former for stråling sendes væk fra solen. Det er muligt at tælle antallet af solpletter, og antallet per. år kan variere fra ganske få (under 20) til flere hundrede (op til ca. 400).

Variationen i antallet af solpletter har en periode-tid på ca. 11 år.

Da solens aktive områder, d.v.s. områder med en eller flere solpletter, flytter sig, er det selvfølgelig

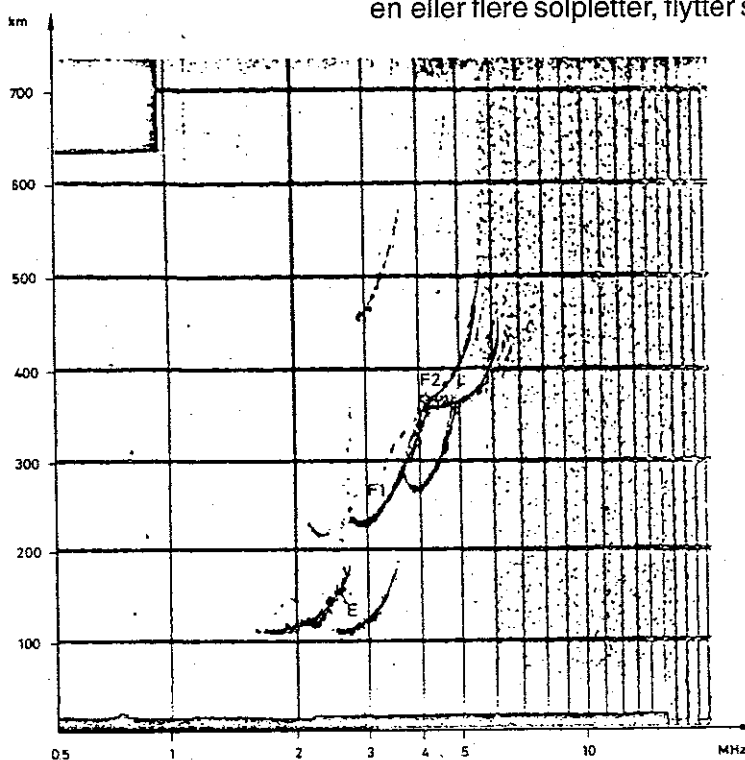


Fig. 8. Ionogram.

8 Tillæg til OZ 7/98

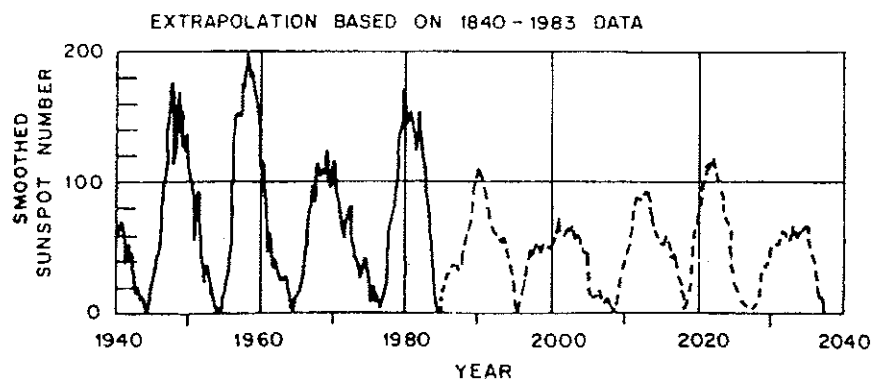


Fig. 9. Forventet solpletal frem til år 2037.

lig den side af solen, der vender mod jorden, der har betydning for jordens ionosfære. Da solen set fra jorden roterer med en periodetid på ca. 27 dage (27,2753 dage), og da solpletter kan holde sig i flere måneder, så har radiobølgernes udbredelsesforhold også en underordnet periodetid på ca. 27 dage.

Solpletallets 11 års variation kan sammenlignes med vejrets sommer/vinter variation, og den underordnede 27 dages variation kan 'sammenlignes' med vejrets månedsvariation (der dog ikke er repetitiv).

Et udbrud fra solen kan blive så kraftigt, at det resulterer i en utrolig forøget ionisering af D-laget, hvorved mængden af de frekvenser, der dæmpes af D-laget, stiger voldsomt. LUF'en krydser så at sige MUF'en med et radio 'black-out' til følge. På normale danske breddegrader vil et sådant 'black-out' typisk vare op til et par timer, og den efterfølgende 'storm' i ionosfæren vil medføre lettere ustabile refleksionsforhold i dagene efter. I høje arktiske egne er et 'black-out' straks en meget værre sag, idet det kan vare i een til to uger. Under et arktisk 'black-out' er det kun muligt at kommunikere ved brug af 'line of sight', eller bruge meget lave frekvenser f.eks. 100 kHz, hvor jordbølgen rækker meget længere end på HF.

1.2.2.6. MUF (Maximum Usable Frequency) for en given afstand mellem sender og modtager

Hvis radiobølgerne ikke sendes lodret op i ionosfæren, men sendes ud med en vinkel i forhold til jord

overfladen, der er mindre end 90 grader, så vil den strækning, som radiobølgerne har til at blive 'bøjet' tilbage mod jorden i, blive større, hvilket resulterer i, at den maksimale frekvens F_G , der kan reflekteres tilbage til jorden, stiger på følgende måde:

$$F_G = \frac{1}{\sin \alpha} \cdot F_K$$

hvor F_K er den kritiske frekvens for lodret refleksion, og α er vinklen mellem ionosfæren og den indkomne radiobølge.

Eller,

$$F_G = \frac{1}{\sin \beta} \cdot F_K$$

hvor F_K er den kritiske frekvens for lodret refleksion, og β er vinklen mellem den lodrette linie til jord og den indkomne radiobølge.

Ved brug af frekvenser højere end F_K vil der opstå en død zone ('Skip-Zone') fra hvor jordbølgen ender, og til hvor den første refleksion rammer jorden igen, idet radiobølgerne ved stejle udstrålingsvinkler ikke bliver reflekteret, men fortsætter ud i rummet, se fig.10. Den døde zone stiger med stigende frekvens. Ved at udnytte indholdet af de to næste figurer, fig.11 og fig.12, kan vi, hvis vi kender F_K , nemt regne os til F_G . Fig.11 giver den nødvendige udstrålingsvinkel i relation til afstanden mellem sender og modtager. Fig.12 giver derefter den faktor (ZEN), som F_K skal ganges med for at få F_G . Det skal her bemærkes, at når man har fundet F_G er det en god tommelfinger-

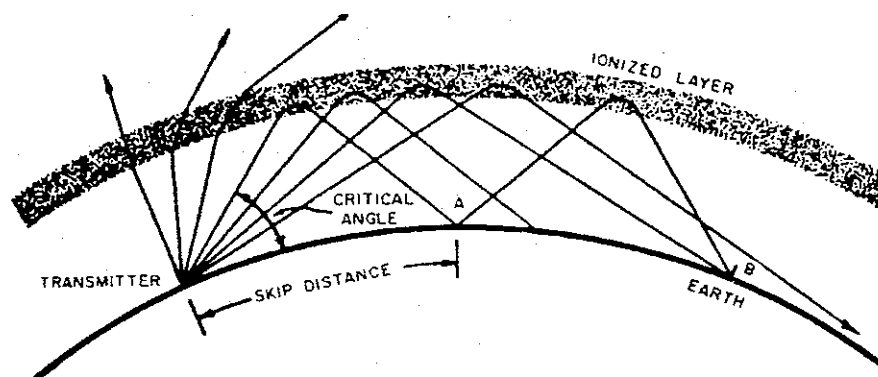


Fig. 10. Indikering af død zone området (Skip-Zone/Skip Distance).

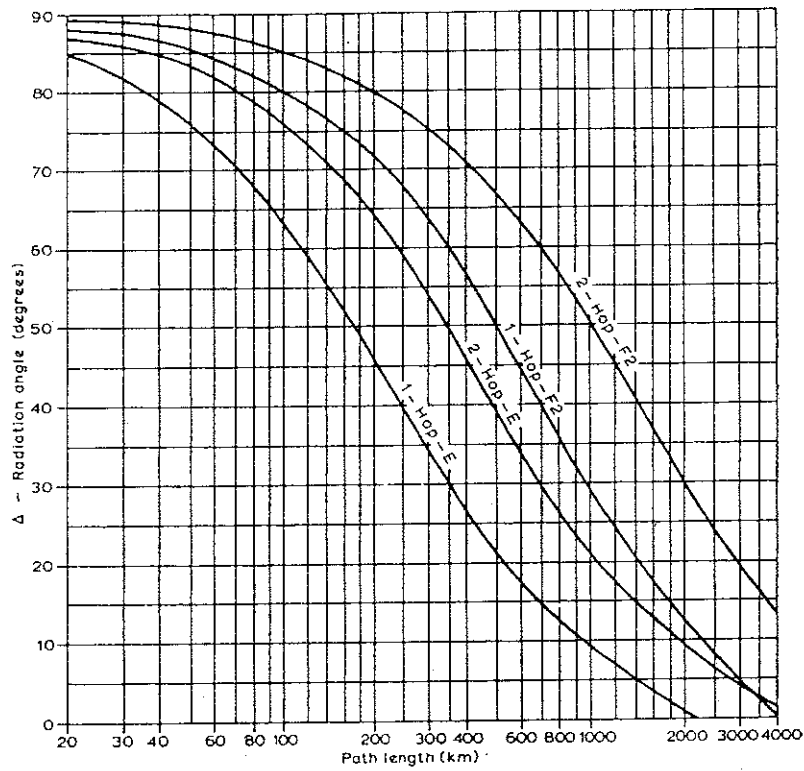


Fig. 11. Udstrålingsvinkler som funktion af afstanden mellem sender og modtager, for 1 og 2 hops forbindelser.

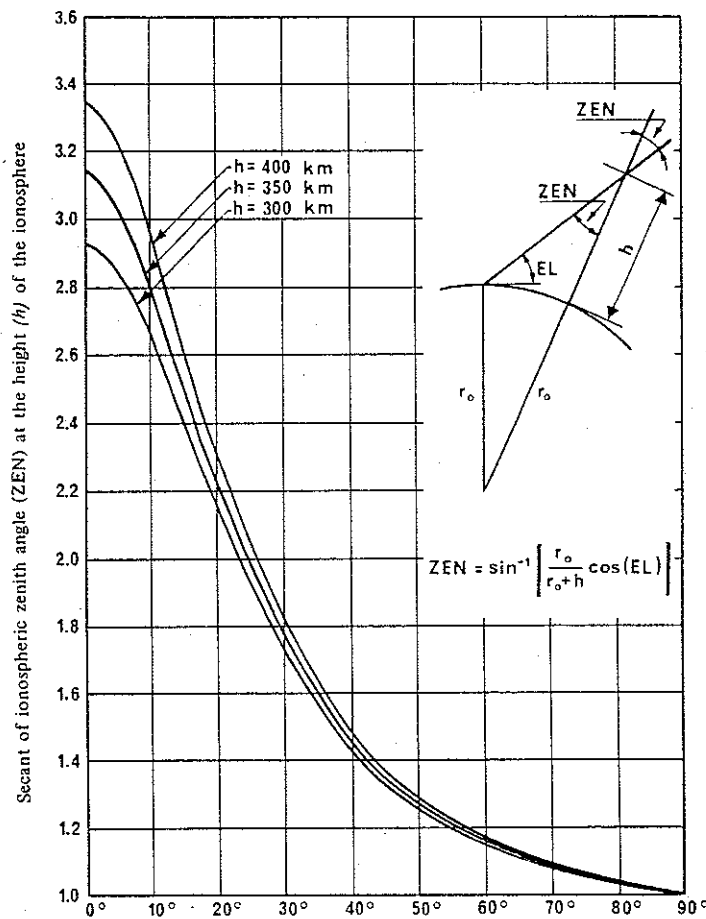


Fig. 12. Multiplikationsfaktoren ZEN som funktion af udstrålingsvinklen.

regel til kommunikationsforbindelser, at anvende frekvenser der ligger ca. 15% lavere end F_G , da disse frekvenser er nogenlunde stabile, hvilket F_G frekvensen **ikke** er.

1.2.2.7. Fading

I fig. 10 modtager station 'B' to signaler på sammetid: Et, der ankommer efter et hop og et, der ankommer efter to hop. Hvis modtagerantennen er følsom overfor begge de to 'ankomst'vinkler, som de to signaler ankommer med, så vil de to signaler kunne med eller modarbejde hinanden, signalet 'fader'. Fading opstår, når det samme signal modtages ad to veje (eller flere), hvis længde ikke er konstant, men varierer på grund af ændringer i ioniseringstætheden, hvorved refleksionen sker i ændret afstand over jorden. Dette resulterer i, at signalerne ændrer fase ved modtagerstedet. Hvis de to signaler er i fase, så hjælper de hinanden, er de i modfase, så modarbejder de hinanden. (Er signalerne lige store, kan modtagersignalet i perioder faktisk forsvinde.)

Fading kan minimeres ved, at både sender- og/eller modtagestationen benytter antenner, der kun udstråler/modtager med en åbningsvinkel omkring elevationsvinklen på det ønskede signal. (Sender- og modtagestationen skal selvfølgelig være enige om, i hvilken 'mode' - 1, 2 eller flere hop - forbindelsen skal etableres i.

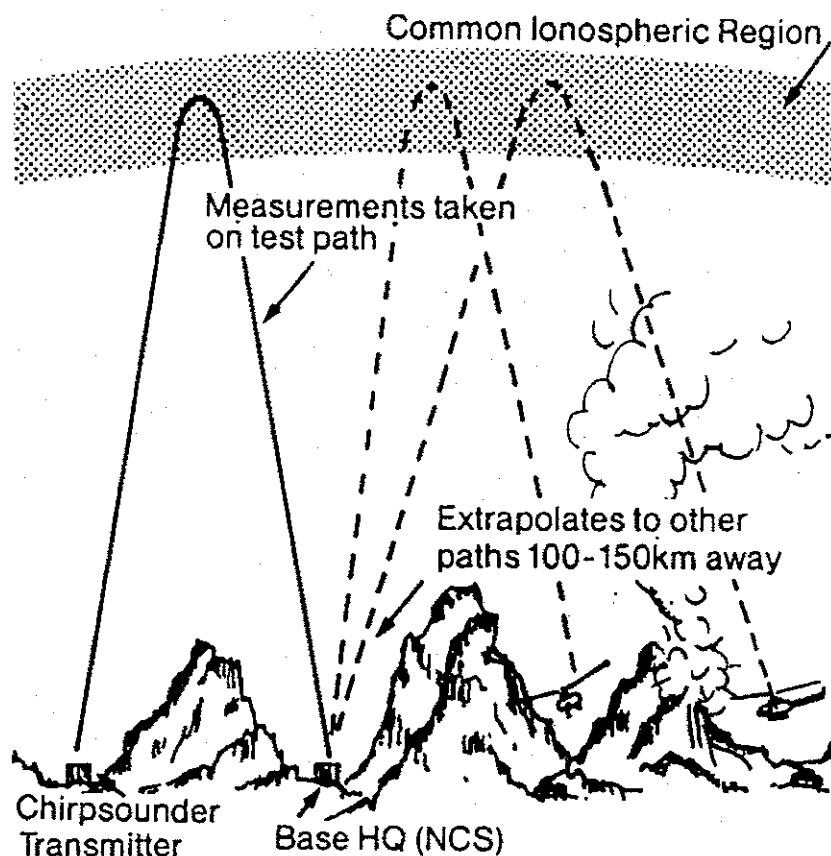
1.2.2.8. Multi-'hop' forbindelser

Såfremt det er nødvendigt at bruge mere end et 'hop' for at etablere en forbindelse mellem to stationer, så er det en fordel, at jordrefleksionen foregår, hvor jordoverfladen består af vand, idet en vandoverflade dæmper signalet mindre end en jordoverflade (vand leder meget bedre end jord). Eksempel: Det vil mange gange være en fordel med en 3 hops forbindelse, hvor de to jordreflektioner sker mod vand i stedet for en 2 hops forbindelse, hvor jordrefleksionen sker mod jord.

1.2.2.9. Forbindelser over 'korte' afstande, NVIS (Near Vertical Incidence Skywave) forbindelser

Ved relative korte ionosfære forbindelser, d.v.s. forbindelser op til 400 - 500 km, bliver udstrålingsvinklerne for radiobølgerne meget stejle (større end 50 grader), hvilket ofte resulterer i, at frekvensforskellen mellem MUF'en (Maximum Usable Frequency) og LUF'en (Lowest Usable Frequency) bliver relativt lille, d.v.s. at det brugbare frekvensområde for korte forbindelser ofte er begrænset. Det er derfor meget vigtigt for at sikre forbindelser over korte afstande, at man har mange frekvenser - med små spring imellem - til rådighed i det rigtige frekvensområde, hvilket typisk er fra 2 - 5 MHz.

Fig. 13. NVIS operation.



2. Antenner

2.1. Hvad er en antenne og hvad bruges den til?

Set fra en sender er funktionen af en antenne at udstråle mest muligt af den af senderen producerede energi som elektromagnetiske bølger.

Set fra en modtager er funktionen af en antenne at opfange de elektromagnetiske bølger i 'atmosfæren' og føre dem videre til modtageren.

Da radiobølger, også kaldet elektromagnetiske bølger, består af et kombineret elektrisk og magnetisk felt, så virker antennen som 'transformator'/'kobler' mellem atmosfærens elektromagnetiske felt og senderens/modtagerens elektriske signal.

En antennes funktion (effektivitet) er dobbeltrettet, d.v.s. at en antenne, der er en god senderantenne, også er en god modtagerantenne. En dårlig senderantenne er også en dårlig modtagerantenne. (Denne dobbeltrettede funktion gælder dog ikke for ferritantenner.)

Da radiobølger, i luft, bevæger sig med lysets hastighed, 300.000 km/sek., så kan bølgelængden udregnes efter følgende formel:

$$\text{Bølgelængden (i meter)} = \frac{300}{F(\text{MHz})}$$

Eksempler: Bølgelængden ved 3,0 MHz er 100 meter, ved 6,0 MHz er den 50 meter, ved 12 MHz er den 25 meter, og ved 20 MHz er den 15 meter.

Da radiobølgerne bevæger sig lidt langsommere i en antenne end i fri luft, så er bølgelængden i en antenne lidt kortere, og i de tilfælde, hvor en antenne er tynd i forhold til bølgelængden, hvilket gælder for alle trådanter i kortbølgeområdet, kan antennebølgelængden udregnes efter følgende formel:

$$\text{Ant.bølgelængden (i m)} = \frac{300}{F(\text{MHz})} \times 0,95 = \frac{285}{F(\text{MHz})}$$

Kendskabet til bølgelængden for en given frekvens er vigtig, idet der er visse antennelængder - typisk kvarte og halve bølgelængder - der er nemme at tilpasse impedansmæssigt til sender/modtager impedansen, hvilken i langt de fleste tilfælde vil være 50 Ohm.

Alle materialer, der er elektrisk ledende, kan i princippet bruges som ledere i antenner, men metaller med lav modstand overfor radiobølger er selvfølgelig at foretrække. Et meget anvendt metal til antenneformål er kobber (samt kobberlegeringer). Rustfrit stål kan også anvendes i kortbølgeområdet, men er ikke tilrådeligt ved frekvenser meget højere end 50 MHz.

2.1.1. Antenners fødepunktsimpedans, standbølgeforhold (VSWR) og afstemning

En dipolantennes fødepunktsimpedans afhænger af længden, se fig.14.

Fødepunktsimpedansen kaldes ofte for Z, hvor Z

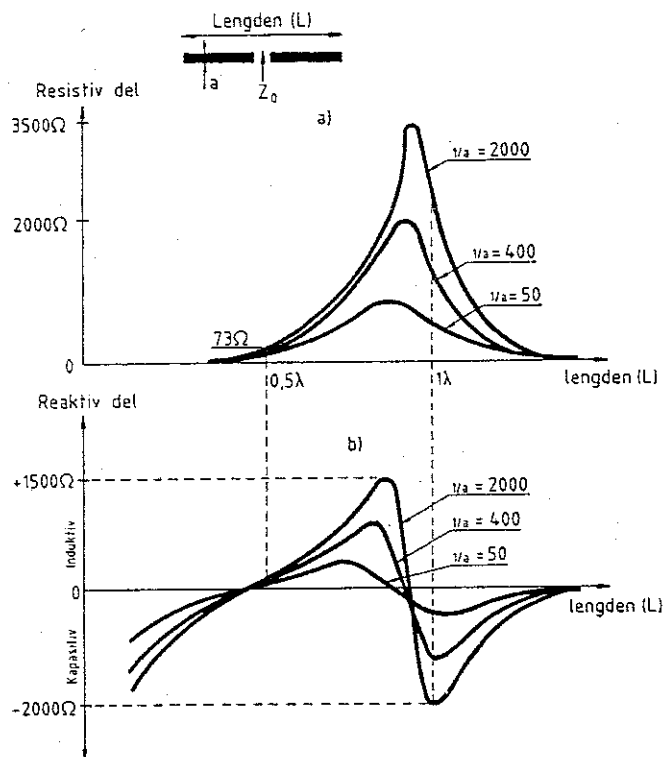


Fig. 14. Fødepunktsimpedansens variation som funktion af antennens længde. de interessante dele af kurverne er der, hvor antennen er en 1/2 bølgelængde lang.

= $R + jX$, hvor R er realdelen og jX imaginærdelen af impedansen. Hvis jX er negativ, så er antennen kapacitiv og omvendt, hvis jX er positiv, så er antennen induktiv.

For at få maksimal sendereffekt eller modtager-signal overført mellem sender/modtager og antennen, er det nødvendigt at der er impedanstilpasning, d.v.s. at sender/modtager og antennen har samme impedans, hvilket normalt vil være 50 Ohm ($50 + j0$ ohm).

Hvor god en tilpasning der er mellem sender/modtager og antenne udtrykkes normalt ved standbølgeforholdet, også kaldet VSWR-forholdet. Simpelt forklaret, så er standbølgeforholdet, forholdet mellem antennens impedans og sender/modtagerens impedans. Hvis sender/modtagerens impedans er 50 ohm og antennens impedans er 50 ohm, så er standbølgeforholdet 1:1. Hvis derimod antennens impedans er 25 ohm eller 100 ohm, så er standbølgeforholdet 1:2. Hvis antennens impedans er 10 ohm eller 250 ohm, så er standbølgeforholdet 1:5.

Standbølgeforholdet er nemt at udregne når antennens impedans udelukkende er reel, idet VSWR-forholdet findes ved at dividere antennens impedans med 50 Ohm. Hvis dette resultat er mindre end 1, så findes VSWR-forholdet ved at dividere 50 Ohm med antennens impedans.

Hvis derimod antennen består af en reel del samt en kapacitiv eller induktiv del, så er det lidt vanskeligere at udregne, hvilket vi ikke vil komme ind på her.

Desto bedre et standbølgeforhold nærmer sig 1:1, desto bedre tilpasning er der mellem sender/modtager og antenne. Jo bedre tilpasning, jo bedre effektivitet i systemet.

Da det forholder sig således, at en antennens impedans ved bestemte længder er næsten rent resistiv (rent ohmsk), og at hver anden af disse længder endvidere udviser en ohmsk impedans på næsten 50 ohm, så gælder det om at ramme disse længder, for da kan antennen tilsluttes sender/modtageren uden tilpasningsled. Antennens længde afstemmes efter frekvensen. Denne afstemning af antennen, vil blive behandlet separat for hver af de i de næste afsnit beskrevne antenner.

Hvis en antenne ikke kan få en længde så dens impedans er rent ohmsk, så kan en antenne med delvis induktiv impedans, kompenseres ved indskydelse af en kapacitet (kondensator) i antennen, og omvendt, så kan en antenne med delvis kapacitiv impedans, kompenseres ved indskydelse af en induktivitet (spole) i antennen, således at slutresultatet bliver en rent ohmsk impedans.

Disse kompensations komponenter skal impedansmæssigt være modsat af den reaktive impedansdel som antennen udviser.

Eksempel: Hvis en antenne i fødepunktet udviser en målt impedans på 60 -j125 ohm, så skal vi kompensere med en induktivitet (spole) på +j125 ohm. Resultatet bliver en impedans på 60 ohm (rent ohmsk). (Ved dipoler skal kompensationskomponenten "deles" mellem de to antenne halvdele, således at der i eksemplet her skal +j62,5 ohm i hver halvdel.)

Mange kortbølge sender/modtagere er forsynet med en antenntuner, der virker som et tilpasningsled mellem sender/modtageren og antennen. Det vil sige, at såfremt antennens impedans ikke er rent 50 ohm, så transformerer/omformer antenntuneren antennens aktuelle impedans til de af sender/modtageren ønskede 50 ohm. Med en antenntuner til rådighed, kan der således anvendes antenner hvor fødepunktsimpedansen ikke er 50 ohm, det være sig f.eks. en "tilfældig" tråd eller en antenne der benyttes på en anden frekvens end den den er konstrueret til.

Moderne antenntunere der benyttes i forbindelse med sendere med transistorer i udgangstrinnet, kan typisk tilpasse standbølgeforhold på op til 1:10. Selv impedanser med en relativ stor reaktiv eller kapacitiv komponent, tilpasses normalt uden problemer.

Sendere med rørdgangstrin har ofte et PI-led som tilpasningsled mellem udgangsrør og antenne, og et sådant PI-led kan normalt tilpasse standbølgeforhold på op til 1:5. Et sådant PI-led i rørdgangstrinnet tilpasser dog kun senderen - ikke modtageren.

Såfremt der anvendes antenner med en anden fødepunktsimpedans end 50 ohm, er det vigtigt at både sender og modtager impedanstilpasses ved hjælp af en antenntuner, idet et modtaget signal der kommer fra en antenne med f.eks. et standbølgeforhold på 1:5 i forhold til modtageren, vil blive forringet med 2,5 dB, stammende fra mistilpasningen mellem antenne og modtager. Er standbølgeforholdet 1:10, er forringelsen på hele 4,8 dB.

2.2.1. Ground Plane antenner

En ground plane antenne anvendes til at frembringe et lodret polariseret jordbølgesignal, eller et lodret polariseret signal med lav udstrålingsvinkel til brug for langdistance kommunikation. Ground plane antennen er ikke velegnet som antenne for korte ionosfæreforbindelser, idet antennen næsten ikke udstråler noget signal ved elevationer over 50 grader. Ground plane antennen er i sig selv rundstrålende, men kan sammen med en eller flere yderligere ground plane antenner bringes til at få et udstrålingsdiagram med retningsvirkning.

Den mest anvendte ground plane antenne har en længde på 1/4 bølgelængde, idet fødepunktsim-

pedansen ved denne længde er ca. $37 + j0$ Ohm, d.v.s. den er nem at tilslutte til en sender/modtager. Antennen er egentlig derved afstemt til halv-bølgeresonans, idet den manglende $1/4$ bølgelængde af antennen udgøres af antennens eget spejlbillede i jordplanet, se fig.17.

Ground plane antennens udstrålingsdiagram og virkningsgrad er meget afhængig af, hvor godt jordplanet er. Hvis ikke ground plane antennens yderleder/jordplan har 'fodderne' plantet i saltvand - hvilket f.eks. er tilfældet med et skib - så er det normalt nødvendigt at etablere en forbedring af jordplanet. I et effektivt jordplan skal antallet af radialer være stort (en MW radiofonisender har tit op til 200 radialer, se evt. fig.2), og de skal mindst være $1/4$ bølgelængde lange.

I fig.15 kan forskellen ses mellem udstrålingsdiagrammet for en $1/4$ -bølge ground plane antenne med ideelt jordplan og en med halvdårligt jordplan.

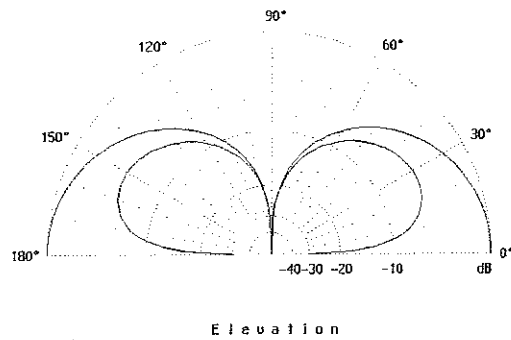
Hvis længden af det strålende element i $1/4$ -bølge ground plane antennen ændres, så sker der følgende:

Hvis antennen forkortes, så bliver den kapacitiv, og realdelen af impedansen (strålingsmodstanden) falder. Da tabsmodstanden i jordplanet er uændret, så falder antennes effektivitet. I fig.16 kan antenneeffektiviteten aflæses som funktion af antennelængden og jordtabsmodstanden. Hvis 'jordplanet' etableres i form af 'en pløk i jorden', så vil jordtabsmodstanden være 100 Ohm eller mere.

Hvis antennen forlænges, så bliver den induktiv, og realdelen af impedansen (strålingsmodstanden) stiger. Når antennen er $1/2$ bølgelængde lang, så vil realdelen af impedansen være steget

GPANJ
GPALJ

Halvdårlig Jord
Uendelig God Jord



0 dB = 3.01 dBd

3.000 MHz

Fig. 15. Sammenligning af udstrålingsdiagrammer for uendelig god og halvdårlig jord.

til ca. 1000 Ohm. Når antennens længde passerer $1/2$ bølgelængde, så skifter den fra at være induktiv til igen at være kapacitiv. Forøges længden til $3/4$ bølgelængde, så er realdelen af impedansen igen i nærheden af 37 ohm, og den reaktive del af impedansen er ligeledes igen tæt ved $j0$ Ohm. (Og sådan vil det fortsætte, hvis antennen yderligere gøres længere.)

Da det for alle antenner gælder, at strømmen ved enden af antennen - f.eks. en trådende - er nul (modsat er spændingen her størst), se fig.17, og at antennens effektivitet hænger sammen med, hvor stor en strøm der løber over hvor stort et område, så er det meget vigtigt at få en god længde på antennen.

Hvis ikke der er en mast - eller noget andet til at holde antennetråden oppe - som er $1/4$ bølge-

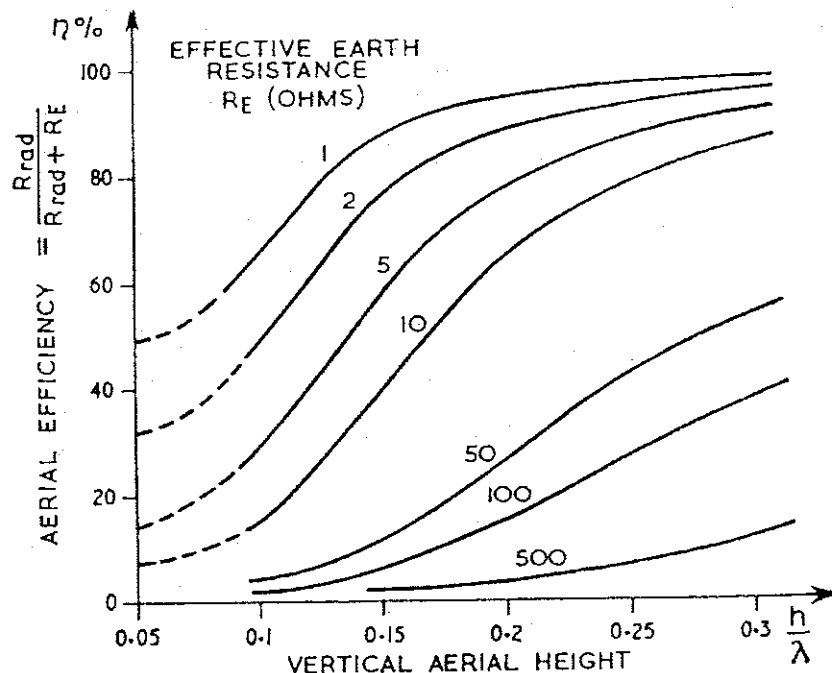


Fig. 16. Effektiviteten for en ground-plane antenne, som funktion af antennelængde og jordmodstande.

længde højt, så er der følgende tre muligheder for at komme omkring dette på, idet desto større strøm, der løber i antennen umiddelbart over fødepunktet, desto bedre virker antennen:

1. Giv antennen 'top-hat' på, d.v.s. træk en eller flere tråde ud til siden fra toppen; det forlænger antennen 'kunstigt'. Længden af mast plus længste toptråd må ikke overstige $1/4$ bølgelængde.

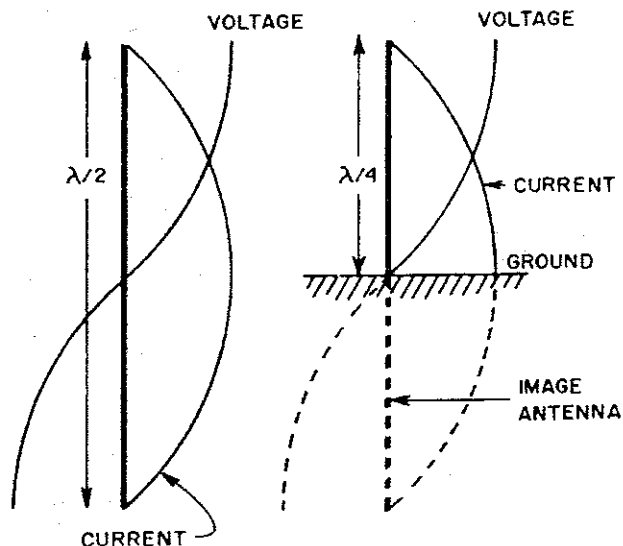


Fig. 17. Strøm og spænding på en $1/2$ bølgelængde dipol antenne, samt en $1/4$ bølgelængde GPA.

2. Afmål antennertråden til $1/4$ bølgelængde, lad den være lodret så højt op som muligt, og lad den derefter gå ud til siden. (Den må ikke nå helt ned til jorden.) Juster evt. længden af tråden til bedst VSWR-forhold.

3. Brug en 'forlængerspole' i antennertråden, så fødepunktsimpedansen bliver rent ohmsk. Spolen placeres bedst midt på tråden, og spolens størrelse afhænger af frekvensen samt antennertrådens længde. Nødløsningen kan dog i stedet være at anvende en antenntuner.

Længden af det strålende element i en ground plane antenne må ikke overstige $0,65$ bølgelængde, idet udstrålingsdiagrammet ellers 'rejser sig' og bliver til en hovedsløjfe i en elevation på ca. $20 - 30$ grader.

2.2.2. $1/2$ -bølge dipoler

Begrebet 'dipol' dækker i antennemæssig sammenhæng over, at antennen består af to dele, der arbejder i modfase. En af de til mange formål mest anvendte antenner er $1/2$ -bølgedipolen. $1/2$ -bølgedipolen består af to halvdele - hver $1/4$ bølgelængde lange - der deler sig til to sider ud fra fødepunktet. $1/2$ -bølgedipolen har mange anvendelsesmuligheder, idet den kan bruges til at frembringe både lodret- eller vandret polariserede radi-

obølger, samt - placeret i korrekt højde i forhold til frekvensen - kan $1/2$ -bølge dipolen bruges til at frembringe signaler til både kort-, mellem- eller langdistancekommunikationsforbindelser. Da $1/2$ -bølgedipolen endvidere impedansmæssigt er tæt på 50 Ohm (nominelt 73 Ohm) og dermed nem at tilpasse til sender/modtageren, så er den på mange måder meget unik.

Hvis $1/2$ -bølgedipolen placeres højt og frit, så vil en ændring af antennes længde påvirke impedansen på følgende måde:

Hvis antennen forkortes, så bliver den kapacitiv, og realdelen af impedansen (strålingsmodstanden) falder. Da tabsmodstanden i antennertrådene er uændret, så falder antennes effektivitet (dog ikke nær så meget som en ground plane antenne), og det er endvidere nødvendigt at anvende tilpasningsled (antennetuner). Bliver antennen kortere end ca. $0,2$ bølgelængde, så vil tabene normalt i antennertråde og tilpasningsled være blevet så store, at effektiviteten er reduceret kraftigt.

Hvis antennen forlænges, så bliver den induktiv, og realdelen af impedansen (strålingsmodstanden) stiger. Når antennen er $1/1$ bølgelængde lang, så vil realdelen af impedansen være steget til ca. 2000 Ohm. Når antennes længde passerer den $1/1$ bølgelængde, så skifter den fra at være induktiv til igen at være kapacitiv. Forøges længden til $1 1/2$ bølgelængde, så er realdelen af impedansen igen i nærheden af 73 Ohm, og den reaktive del af impedansen er ligeledes igen tæt ved $j0$ Ohm. (Og sådan vil det fortsætte, hvis antennen yderligere gøres længere.)

Da det selvfølgelig også gælder for $1/2$ -bølge antenner, at strømmen ved enden af antennertrådene er nul (modsat er spændingen her størst), se fig.17, og at antennes effektivitet hænger sammen med, hvor stor en strøm der løber over hvor stort et område, så er det meget vigtigt at få en god længde på antennen. To antenner, der er nærmere hinanden end ca. 5 bølgelængde, vil påvirke hinanden så meget, at de ikke længere kan betragtes som selvstændige antenner, idet de kobler til hinanden, eller sagt på en anden måde, 'de snakker sammen'. Dette påvirker deres fødepunktsimpedans samt deres udstrålingsdiagrammer. Denne kobling - der bliver kraftigere, jo tættere antennerne kommer hinanden - udnyttes bl.a. til at frembringe retningsantenner med.

Da en jord- eller vandoverflade (fælles betegnelse = jord) virker som en form for spejl (jo bedre ledningsevne, jo bedre spejlvirkning) for radiobølgerne, så ser en antenne, der er anbragt over jord eller vand, sit eget spejlbillede i jorden eller vandet. For en lodret antenne gælder, at spejlbilledantennen vil være i fase med den fysiske anten-

ne, hvorimod det for en vandret (horisontal) antenne gælder, at spejlbilledantennen vil være i modfase med den fysiske antenne. Dette faktum, at spejlbilledantennen er i fase eller modfase med den fysiske antenne, afhængig af om den er lodret- eller vandretpolariseret, har stor betydning i forbindelse med beregning af udstrålingsdiagrammer for forskellige antennetyper. (Vil ikke blive behandlet yderligere i dette materiale.)

Når en 1/2-bølge dipolantenne anbringes vandret over jord, så ser den, som nævnt ovenfor, sit eget spejlbillede (i modfase) i jorden. Når den højde, 1/2-bølge antennen anbringes i, bliver mindre end 0,2 bølgelængder, så påvirkes fødepunktsimpedansen mere og mere, idet den bliver mindre og mindre. Hvis jorden er uendelig godt ledende, så bliver fødepunktsimpedansen 0 Ohm for en 1/2-bølge antenne, der ligger på jorden. Da al jord ikke tilnærmelsesvis er ideel, så sker der det, når vi nærmer 1/2-bølge dipolen mod jord, at fødepunktsimpedansen bliver mindre, samt at jordtabene og tabene i antennerådene bliver meget store. Når antennen ligger på jorden, så går næsten al effekt tabt i jord- og trådtab. Almindelig fugtig dansk landbrugsjord er meget tabsgivende, hvorimod tørt sand eller tørre områder med permfrost (F.eks. Grønland) ikke udviser nær de samme tab. Det er almindelig kendt fra Grønland, at man normalt slipper forholdsvis 'ustraffet' fra at lægge en 1/2-bølge dipolantenne på jorden (eller sneen om vinteren).

Udstrålingsdiagrammet for en dipolantenne i frit rum er som et 'mavebælte'/'bildæk' rundt om antennen, se fig.18, d.v.s. at signalet er kraftigst vinkelret på antennerådens retning. Når dipolantennen anbringes over jord, så skal den altid anbringes vinkelret på retningen mod den, man

ønsker at kommunikere med, såfremt der er mere end ca. 400 km i kommunikationsafstand (storcirkelafstand på jorden).

Det er på mange måder upraktisk at anvende lodrette dipolantennen i kortbølgeområdet, idet kablet til fødepunktet helst skal placeres vinkelret på antennen den første 1/4 bølgelængde, samt at antennen bliver utrolig høj ved lave frekvenser. Vandret placering/polarisering er langt den mest anvendte for 1/2-bølge dipolantennen.

For at få en god virkningsgrad, samt for at få et hensigtsmæssigt udstrålingsdiagram for 1/2-bølge dipolantennen, så er det vigtigt at få den hævet et godt stykke over jorden. Til mange forbindelser i frekvensområdet 3 - 15 MHz er en højde over jord på ca. 20 meter meget velegnet. Det er selvfølgelig ideelt, hvis hele antennen er i den højde, men er der kun en mast til rådighed, så er det vigtigt at få fødepunktet op i rette højde, da den primære udstråling sker herfra. Enderne af antennen kan derefter trækkes skråt ud til siderne. Antennens ender skal holdes fri af jorden, da koblingen til jorden ellers bliver for kraftig, med uønskede tab til følge.

Hvis ikke der er plads til 1/2-bølge dipolantennen i fuld længde, så zig-zag antennen helt eller delvis, eller fold enderne tilbage mod fødepunktet (den ombukkede del af antenneråden skal holdes i rimelig afstand - f.eks. 0,5 meter - fra den ikke ombukkede del). Virkningsgraden bliver ikke forringet nævneværdigt ved dette.

Længden af hver af de strålende elementer i en dipolantenne må ikke overstige 0,65 bølgelængder, idet udstrålingsdiagrammet ellers 'åbner sig' på midten og bliver til hovedsløjfer, der ligner en sommerfugl, d.v.s. der bliver fire udstrålingsretninger, se fig.36.

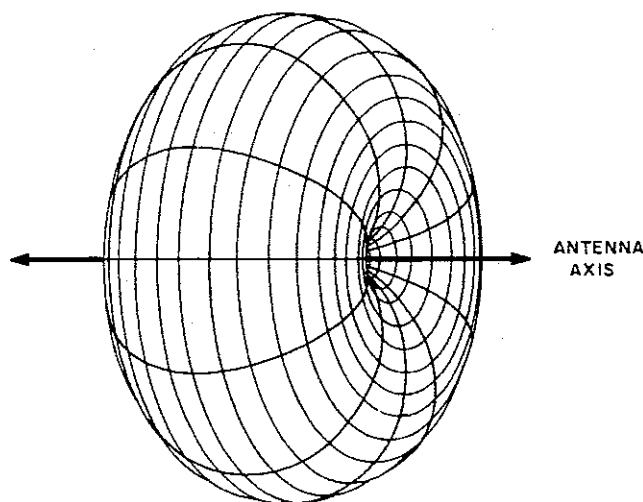


Fig. 18. Udstrålingsdiagram for en 1/2 bølge dipolantenne i frit rum.

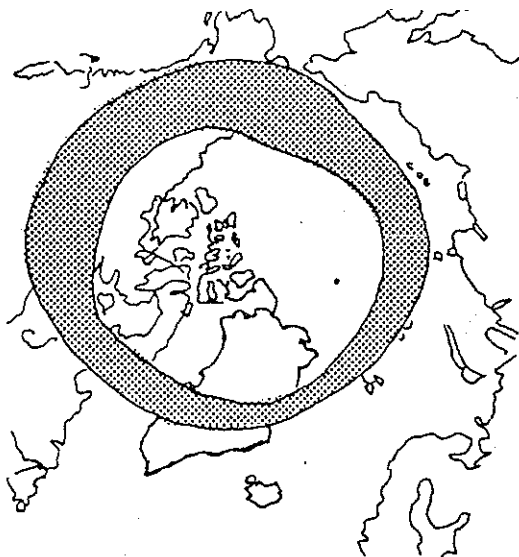


Fig. 40. Aurora ovalen ca. kl. 10-11 UTC/GMT

4.3. F-lagene i de højarktiske områder

F-laget/lagene i de højarktiske områder - når disse er belyst af solen - bliver dog stadig ioniseret primært af den direkte stråling (UV) fra solen.

Hvis ikke hele det højarktiske område (polar cap) er belyst af solen, så vil elektriske felter, der hænger sammen med jordens magnetfelt i området, få ionisering skabt i den belyste dagside af polområdet til at bevæge sig tværs over polområdet til den ubelyste del, hvorefter det langs auroraovalen - begge veje rundt - returnerer til den belyste side, for igen at blive sendt tværs over polområdet. Bevægelsehastigheden for ioniseringen kan blive op til 0,4 km/s (1440 km/t). Dette medfører, at der næsten altid er et relativt stabilt F-refleksionslag til stede i 'polar cap' området.

Når polområdet (polar cap) befinder sig i mørke (ved vintersolhverv, samt forår og efterår, når den magnetiske pol er på den side af den geografiske pol, der vender væk fra solen), er ioniseringen af F-laget/lagene ikke særlig stor, hvilket medfører, at den kritiske frekvens for lodret refleksion (F_K) normalt vil være 2 - 3 MHz, lavest ved lokal midnat, samt noget varierende. I år med lav solpletaktivitet, få solpletter, kan den kritiske frekvens falde til under 1 MHz.

I auroraovalen bliver F-lagene konstant ioniseret af lavenergielektroner, der er blevet afbøjet af jordens magnetfelt, for derefter at følge det. Da feltlinierne - i det område, som auroraovalen dækker i løbet af et døgn - ligger meget tæt ved hinanden, så ender relativt mange lavenergieelektroner i auroraovalen, hvor elektronerne skaber ionisering i F-lagets højde. Dette medfører, at den kritiske frekvens for lodret refleksion (F_K) i auroraovalen normalt ikke bliver lavere end 3 MHz. Ioniseringsgraden er dog meget varierende i tid og sted, hvilket giver meget svingende udbredelsesforhold for radiobølger, der reflekteres i auroraovalen. I det område af auroraovalen, der vender direkte mod solen (geomagnetisk middag), kommer der ofte i

yderkanten af ovalen (mellem 75 og 80 grader geomagnetisk bredde), en ekstraordinær stor mængde lavenergieelektroner ind, resulterende i, at den kritiske frekvens for lodret refleksion (F_K) i dette område stiger med flere MHz. Denne stigning i F_K begynder ca. 2 timer før geomagnetisk middag, og ebber ud ca. 2 timer efter.

4.4. E-laget i de højarktiske områder

I det polnære område (polar cap) er ioniseringen af E-laget meget svag, hvorfor E-laget ikke er særlig betydningsfuldt for kortbølgekommunikationen i 'polar cap' området. E-laget kan dog, af mangel på F-lags refleksion, om vinteren og ved lave solpletter, være betydningsfuldt for kommunikationsmulighederne i området.

I aurorabæltet samt området op til 5 breddegrader udenfor, er der næsten altid et godt reflekterende E-lag til stede, brugbar for kommunikation over relativt korte distancer (op til ca. 400 - 600 km). F_K for E-laget er typisk 2,5 MHz, men ses dog fra tid til anden helt op til 5 MHz.

Derudover opstår der i de højarktiske områder - specielt dog i aurorabæltet - ofte reel sporadisk E-lags (E_s) refleksion på højere frekvenser i kortbølgeområdet. Disse sporadiske E-lags refleksioner giver mulighed for kommunikation på frekvenser typisk op til 16 - 18 MHz, over afstande på op til 2000 - 3000 km. Disse kommunikationsforbindelser, der er baseret på sporadiske E-lags refleksioner, er dog meget ustabile med megen fading og problemer med multivejsudbredelse. Sporadisk E-lags refleksion kan om sommeren observeres i ca. 50 % af tiden, og om vinteren i ca. 30 % af tiden.

4.5. D-laget og dæmpning af radiobølger i de højarktiske områder

D-laget påvirkes i det højarktiske område af ioniserende elektroner og protoner, der bliver ledt til området af jordens magnetfelt med store påvirkninger af radiobølgernes udbredelsesforhold i kortbølgeområdet til følge.

4.5.1. Auroraoval dæmpninger

I auroraovalen, samt området op til ca. 8 breddegrader udenfor, optræder der hyppigt, i perioder dagligt, dæmpninger af radiobølgerne i frekvensområder under ca. 5 MHz. Dæmpningerne optræder typisk om morgenen samt før midnat. Variationerne i dæmpningerne om morgenen er langsomme, hvorimod de før midnat er hurtige og korte, men lidt kraftigere. Dæmpningerne skyldes elektroner, der bliver ledt til området af jordens magnetfelt, der har så megen energi, at de kan trænge igennem til D-laget og skabe ionisering, hvilket medfører, at radiobølgerne bliver dæmpet med op til en faktor 5 - 10 gange ekstra. Dæmpningerne

opleves som variationer i det modtagne signals styrke. Signalerne forsvinder normalt ikke helt.

4.5.2. 'Polar Cap Absorption' (PCA Event)

I perioder med høj solpletaktivitet, det vil sige mange solpletter, kommer der fra tid til anden udbrud på solen, der udsender store mængder stråling (X-ray), samt højenergiprotoner. Hvis et sådant udbrud optræder på den side af solen, som vender mod jorden, så får det ofte store følger for radiobølgernes udbredelsesforhold i kortbølgeområdet. Se endvidere afsnit 1.2.2.5. Solpletter vedrørende gentagelsestid for påvirkninger fra et 'udbrud'.

Den umiddelbare kraftige stråling bevirker, at der opstår et 'Black Out' over store dele af jorden, specielt på den side af jorden, som vender imod solen. Dette radio 'Black Out' varer typisk nogle få timer.

Da protonerne fra udbruddet er relativt tunge, så ankommer de med nogen forsinkelse til jorden. Denne forsinkelse kan være fra 15 minutter til adskillige timer. Når protonerne møder jordens magnetfelt, bliver de afbøjet af magnetfeltet og ledt til de polare områder. Protonerne har så høj energi, at de trænger igennem til blandt andet D-laget, som ioniseres meget kraftigt, med meget stor dæmpning af radiobølgerne til følge; der opstår et polar radio 'Black Out'. Det polare radio 'Black Out' er kraftigst på den side af jorden, som vender mod solen.

D-lagets absorbering er ofte så kraftig, at det påvirker kortbølgeområdet helt eller delvist. Under nogle 'Black Outs' er det kun muligt at kommunikere ved hjælp af jordbølger; det vil sige, at skal man kommunikere over lange afstande, så må man anvende frekvenser så lave som 100 - 250 kHz, med store sendeeffekter og antenner til følge. Da første halvdel af et polar 'Black Out' typisk ikke påvirker hele kortbølgeområdet på en gang, men varierer i frekvens og typisk er værst på de lave frekvenser, vil det ofte være muligt at finde brugbare frekvenser i det højere frekvensområde. Efter protonernes ankomst til jorden vil der efterfølgende opstå en magnetisk storm, der forårsager den sidste halvdel af 'Black Out'et. I denne sidste halvdel af 'Black Out'et vil det typisk være de højere frekvenser, der er mest påvirkede, hvorfor det ofte er muligt at finde brugbare frekvenser i det lave frekvensområde.

Under et polar radio 'Black Out' ser det ud, som om de reflekterende lag i ionosfæren forsvinder; men dette er dog ikke tilfældet. De reflekterende E- og F-lag er stadig tilstede, men den kraftige ionisering af det lavere liggende D-lag medfører, at dæmpningen af radiobølgerne i D-laget er så stor, at radiobølgerne ikke når igennem til E- og F-lagene.

Idet atmosfærisk støj skabt i de tropiske egne samt uønskede signaler stammende fra andre områder på jorden under et 'Black Out' ikke vil udbrede sig til polaregnene, så vil modtagere med ekstrem lav egenstøj med stor fordel kunne anvendes. Det støjniveau, der modtages under et 'Black Out', er lavere end støjniveauet, når der ikke er 'Black Out'.

Et polar 'Black Out' kan vare fra få timer til mange dage. Der er set totale 'Black Outs', der har varet 14 - 15 dage, men gennemsnittet er ca. 2 dage. Antallet af årlige 'Polar Black Out' timer (N), kan udregnes efter følgende empiriske formel:

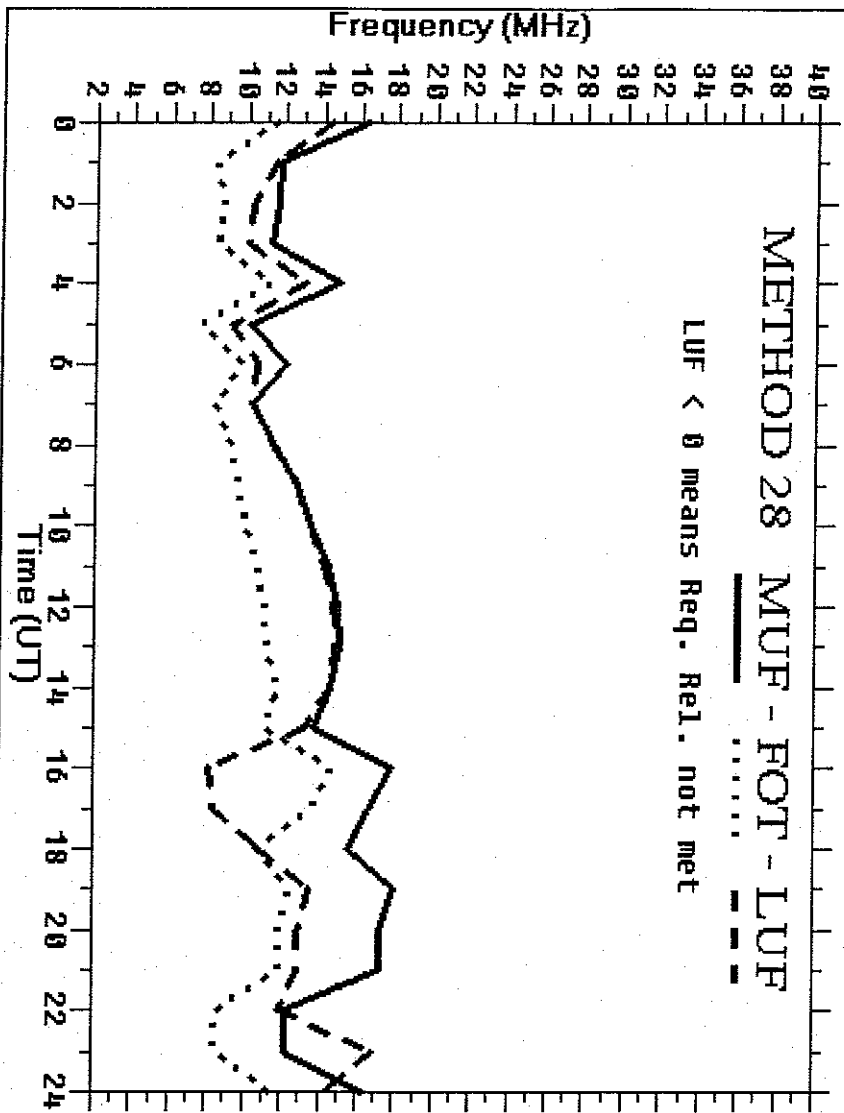
$$N = (4.4 \times R) - 70,$$

hvor N = det gennemsnitlige antal årlige 'Black Out' timer (hvis 'N' bliver negativt, så er antal 'Black Out' timer = 0), R = det gennemsnitlige årlige antal solpletter.

4.6. Kortbølgeudbredelse i den irregulære polare ionosfære

- udbredelsesforholdene varierer meget i tid og sted,
- 'Polar Cap' området er mere stabilt end Auroraovalen,
- der er typisk en del fading på de modtagne signaler,
- kommunikation kan umuliggøres af 'Black Out',
- det er vigtigt at vælge frekvenser efter antal solpletter, tid på døgnet og årstid,
- det er vigtigt at vælge en effektiv antenne til den benyttede frekvens og den ønskede kommunikationsafstand.

OCT 1997 SSN = 32. $f_{eff} = 3.0$
 TAASIRUP Kap Moltke, Greenland AZIMUTHS
 55.68 N 12.25 E - 82.13 N 31.33 W 348.80 126.87 1745.1 3231.7 KM
 MINIMUM ANGLE 3.00 DEGREES
 XMTR 2-30 IONCAP #23(OBS\DIPOLE.002) Az=348.8 OFFaz=360.0
 RCUR 2-30 IONCAP #23(OBS\DIPOLE.002) Az=126.9 OFFaz=360.0
 3 MHZ NOISE = -160.0 DBW REQ. REL = .90 REQ. SNR = 45.0 DB
 -100kW

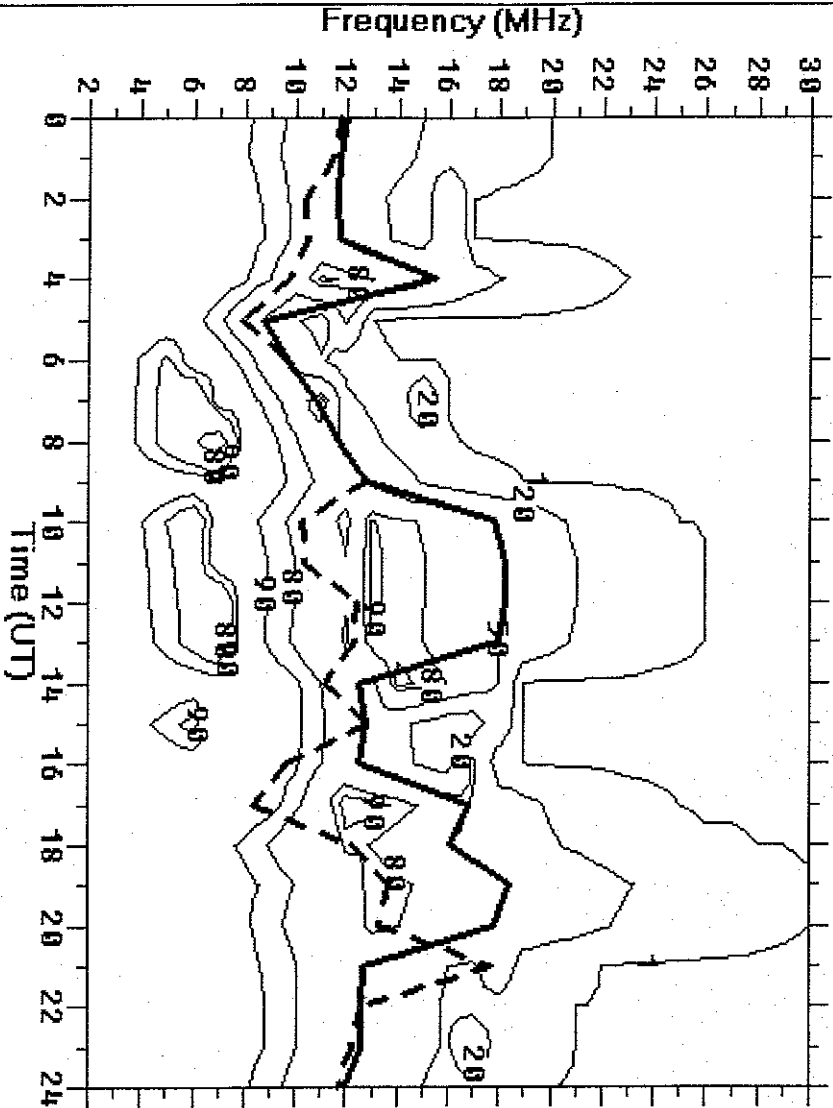


ICEPAC
 Version 951025
 CCIR Coefficients

UT	MUF	FOT	LUF
1	11.8	8.3	-11.5
2	11.6	8.7	-10.3
3	11.3	8.4	-10.0
4	14.9	11.2	-13.1
5	10.2	7.6	-9.2
6	12.1	9.7	-10.5
7	10.3	8.3	-10.3
8	11.5	9.2	-11.4
9	12.7	9.6	-12.7
10	13.5	10.0	-13.4
11	14.4	10.6	-14.2
12	14.9	11.0	-14.7
13	15.0	11.1	-14.8
14	14.5	11.7	-14.5
15	13.7	11.1	-13.2
16	17.8	14.6	-8.1
17	16.6	13.6	-8.3
18	15.5	10.7	-10.8
19	18.0	12.4	-13.4
20	17.2	11.9	-12.9
21	17.2	11.9	-12.9
22	12.2	8.5	-11.9
23	12.2	8.5	-16.8
24	16.4	11.5	-14.4

NTIA/ITS

SEP 1997 SSN = 32. Qeff = 3.0
 TRAISTRUP Kap Moltke, Greenland AZIMUTHS
 55.68 N 12.25 E - 82.13 N 31.33 W 348.80 126.87 N. MI. 1745.1 3231.7 KM
 MINIMUM ANGLE 3.00 DEGREES
 XMITR 2-30 IONCAP #23[OBS\DIPOLE.002] AZ=348.8 OFFAZ=360.0
 RCUR 2-30 IONCAP #23[OBS\DIPOLE.002] AZ=126.9 OFFAZ=360.0
 3 MHZ NOISE = -160.0 DBW REQ. REL = .90 REQ. SNR = 45.0 DB
 MULTIPATH POWER TOLERANCE = 10.0 DB MULTIPATH DELAY TOLERANCE = .850 MS



Version 951025

ICEPAC

MUF days expected

- 90% >= 90
- 80% >= 80
- 50% >= 50
- 20% >= 20
- 1% >= 1

LUF — MUF

Minimum Maximum
.00 100.00

CCIR Coefficients

LUF dashed means
Req Rel not met.

NTIA/TTS