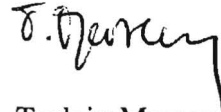


FFIE/742/110

Godkjent
Kjeller 11 desember 1998



Torleiv Maseng
Director of Research

**HF BØLGEUTBREDELSE
BASISKUNNSKAP, SAMT KORT
BRUKERVEILEDNING TIL
PREDIKSJONSPROGRAMMET ICEPAC**

JODALEN Vivianne, BERGSVIK Torgeir

FFI/RAPPORT-98/05322

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2007 Kjeller, Norge

NORWEGIAN DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT (NDRE)
 FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)

UNCLASSIFIED

POST OFFICE BOX 25
 N-2007 KJELLER, NORWAY

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-98/05322 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/742/110	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE	3) NUMBER OF PAGES 40		
4) TITLE HF BØLGEUTBREDELSE BASISKUNNSKAP, SAMT KORT BRUKERVEILEDNING TIL PREDIKSJONSPROGRAMMET ICEPAC (BASIC HF PROPAGATION, AND INTRODUCTION TO THE PREDICTION SOFTWARE ICEPAC)				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JODALEN Vivianne, BERGSVIK Torgeir				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> a) <u>ICEPAC</u> b) <u>Prediction</u> c) <u>Ionosphere</u> d) <u>Availability</u> e) <u>Antennas</u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> IN NORWEGIAN: a) <u>ICEPAC</u> b) <u>Prediksjon</u> c) <u>Ionosfære</u> d) <u>Tilgjengelighet</u> e) <u>Antenner</u> </td> </tr> </table>			a) <u>ICEPAC</u> b) <u>Prediction</u> c) <u>Ionosphere</u> d) <u>Availability</u> e) <u>Antennas</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>ICEPAC</u> b) <u>Prediksjon</u> c) <u>Ionosfære</u> d) <u>Tilgjengelighet</u> e) <u>Antenner</u>
a) <u>ICEPAC</u> b) <u>Prediction</u> c) <u>Ionosphere</u> d) <u>Availability</u> e) <u>Antennas</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>ICEPAC</u> b) <u>Prediksjon</u> c) <u>Ionosfære</u> d) <u>Tilgjengelighet</u> e) <u>Antenner</u>			
THESAURUS REFERENCE:				
8) ABSTRACT <p>The main objective of this document is to give the reader a good knowledge of using the HF prediction software ICEPAC (Ionospheric Communications Enhanced Profile Analysis and Circuit prediction program). The first chapter gives an introduction to HF communications by means of ground- and ionospheric support. Chapter 2 discuss the properties of widely used HF antennas. ICEPAC input parameters are described in chapter 3, and this chapter contains some examples of ICEPAC predictions. The last chapter presents results from a comparison of speech, telegraphy and the two modems STANAG 4415 (75 bps) and STANAG 4285 (2400 bps) which is performed with the experimental data from the Doppler And Multipath Sounding Network (DAMSON) project. This is done to show that ICEPAC predictions confirm with experimental data.</p>				
9) DATE 11 December 1998	AUTHORIZED BY This page only Torleiv Maseng <i>T. Maseng</i>	POSITION Director of Research		

ISBN 82-464-0314-1

UNCLASSIFIED

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	4
2	HF BASISKUNNSKAP	5
2.1	Rombølge	5
2.2	Jordbølge	5
2.3	Ionosfærebølge	7
2.4	Egenskaper ved det ionosfære-reflekterte HF signalet	12
2.4.1	MUF	12
2.4.2	Signal til støyforhold	13
2.4.3	LUF	15
2.4.4	Flerbaner og flerbanespredning	15
2.4.5	Frekvensspredning	15
3	LITT OM AKTUELLE ANTENNER	15
4	INNFØRING I BRUKEN AV PREDIKSJONSPROGRAMMET ICEPAC	23
4.1	Hva gir programmet til brukerne?	24
4.2	Hvordan få tak i ICEPAC?	24
4.3	Input parametere til ICEPAC	25
4.4	Solflektall og Q-indeks	27
4.5	Type resultater fra ICEPAC	29
5	HF MODEMERS YTELSE SAMMENLIGNET MED TALE OG TELEGRAFI	33
5.1	Sambandsstrekket Harstad-Tuentangen	34
5.2	Hva viser sammenligningene av tale, telegrafi og modemer	34
5.3	Sammenligning av prediksjon og analyse	35
5.4	Oppsummering	36
	Litteratur	37
	Fordelingsliste	38

HF BØLGEUTBREDELSE BASISKUNNSKAP, SAMT KORT BRUKERVEILEDNING TIL PREDIKSJONSPROGRAMMET ICEPAC

1 INNLEDNING

Gjennom samtaler med de militære brukerne av HF kommunikasjon, har vi fått forståelsen av at de har store problemer med å etablere pålitelig kommunikasjon på HF. Dette gjelder spesielt innenfor hær-avdelinger der HF er primær-kommunikasjonsmiddelet, f.eks. jeger-avdelinger som skal kommunisere over avstander i størrelse 50-200 km og med lite effekt. Vi har fått høre at dersom ikke sambandet blir bedre, så representerer det en trussel mot selve jegeroperasjonen.

FFI sitter inne med endel kunnskap om bølgeutbredelsen på HF, og vi tror at økt forståelse for bølgeutbredelsen blant HF-operatørene vil kunne gi en økt mulighet for samband. Dette gjelder uansett om gammelt eller nytt sambandsutstyr benyttes, og er en "billig" investering i økt sambandstilgjengelighet.

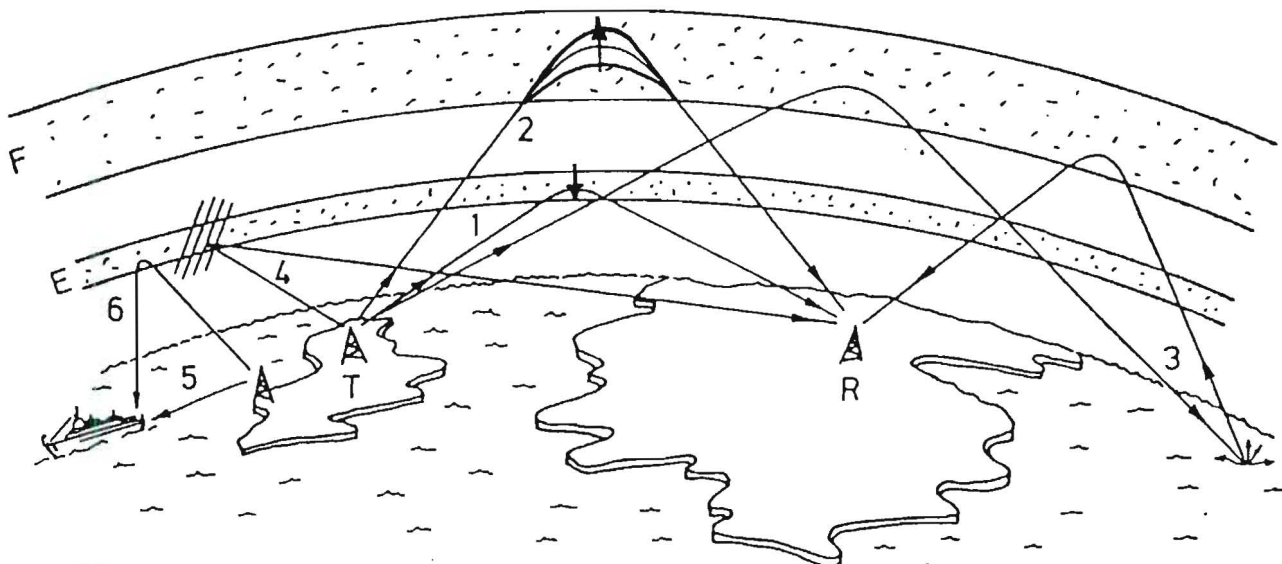
Rapporten søker først å formidle endel basiskunnskap om bølgeutbredelsen på HF. Denne informasjonen finnes også i lærebøker, men her har vi prøvd å uttrykke på et "ikke-vitenskapelig" språk det vi tror er viktig for norske militære brukere i norsk terreng. Vi ser også på aktuelle antenners innvirkning på bølgeutbredelsen.

Ffi har i mange år kjørt prediksjonsprogrammet IONCAP/ICEPAC og sendt ut frekvensvarsler til militære HF-brukere. Siden denne programvaren for PC nå er gratis tilgjengelig på Internett, ser vi liten grunn til å fortsette med denne tjenesten. Vi tror at bruken av disse frekvensvarslene blir mer effektiv (og mer kritisk) ved at sambandspersonell selv kjenner og kjører programmet. Den brukerveiledningen som eksisterer for ICEPAC og som også kan lastes ned fra Internett, er imidlertid svært omfattende og på engelsk. Vi gir i kapittel 4 av denne rapporten en komprimert brukerveiledning som ikke dekker alle deler av programmet, men som er nok til å kunne kjøre enkle frekvensvarsler. Brukeren får selv utforske andre deler av programmet, alternative måter å framstille prediksjonene på, etc. Det finnes andre prediksjonsprogrammer som også er tilgjengelige på Internett, men alle bygger stort sett på de samme ionosfære- og bølgeutbredelsesmodellene som ICEPAC. Vi anbefaler å bruke ICEPAC på grunn av at dette programmet gir bedre prediksjoner på høye breddegrader.

Tilslutt i rapporten går vi inn på hvordan ulike signalformater (koding, rammestruktur, modulasjon) kan gi bedre/dårligere kommunikasjon ved visse kanalforhold. Vi viser et eksempel på en ICEPAC prediksjon for et gitt sambandsstrek og viser hvilken sambandspålitelighet to forskjellige bølgeformer har gitt på denne strekningen (feltnålinger).

2 HF BASISKUNNSKAP

Figur 2.1 viser hvordan HF-signaler kan utbre seg langs forskjellige veier og komme fram til mottaker med forskjellig tidsforsinkelse.



Figur 2.1 HF bølgeutbredelse - signalet kan gå langs forskjellige veier.

2.1 Rombølge

Rombølgen på HF er den bølgen som utbrer seg i det frie rom mellom to antenner som ligger synlig til for hverandre. Jo høyere over det omkringliggende terrenget antennene plasseres, jo lengre når signalene. Rekkevidden av et signal som sendes ut fra en antenne som har høyde h_{tx} over det omkringliggende terrenget til en mottagerantenne med høyde h_{rx} er begrenset av jordens krumning og kan beskrives på denne måten (høyden til hver antenne skal være gitt i meter):

$$d(\text{km}) = \sqrt{17h_{tx}} + \sqrt{17h_{rx}}$$

Denne typen bølgeutbredelse på HF kan sammenlignes med kommunikasjon på VHF /UHF, og den har en større båndbredde (kan overføre større data-hastigheter) enn ionosfærebølgen.

2.2 Jordbølge

Jordbølgen utbrer seg langs bakken fra sender til mottaker. Den kan gå mye lengre enn synsrekkevidden, avhengig av flere faktorer. Dekningen er avhengig av frekvens, utsendt effekt, polarisasjonen av radiobølgene og hvilken konduktivitet som eksisterer i mediet som radiobølgene går i. Terrengets form ("glatt"het") er også av betydning for dekningen.

- Horizontal polariserte bølger vil raskt bli absorbert i mediet de går igjennom, så deknin-gen vil bli liten. Vertikal polariserte bølger er de eneste som vil utbre seg over lengere av-stander.
- Utsendt effekt i *forover-retning* er viktig for utbredelsesavstanden, så her spiller an-tennediagrammet til sender-antennen en rolle.
- Konduktiviteten i bakken (jordledningsevnen) rundt senderen og mellom senderen og mottakeren har avgjørende betydning for kommunikasjonen. Disse typer jordsmonn leder signalene i økende grad:

ørken/tørr grunn (dårlig ledningsevne)

fjell/stein/karrig natur

åser/tørr jordbakke/skogsterreng

frodig jordbruksterreng/myrer

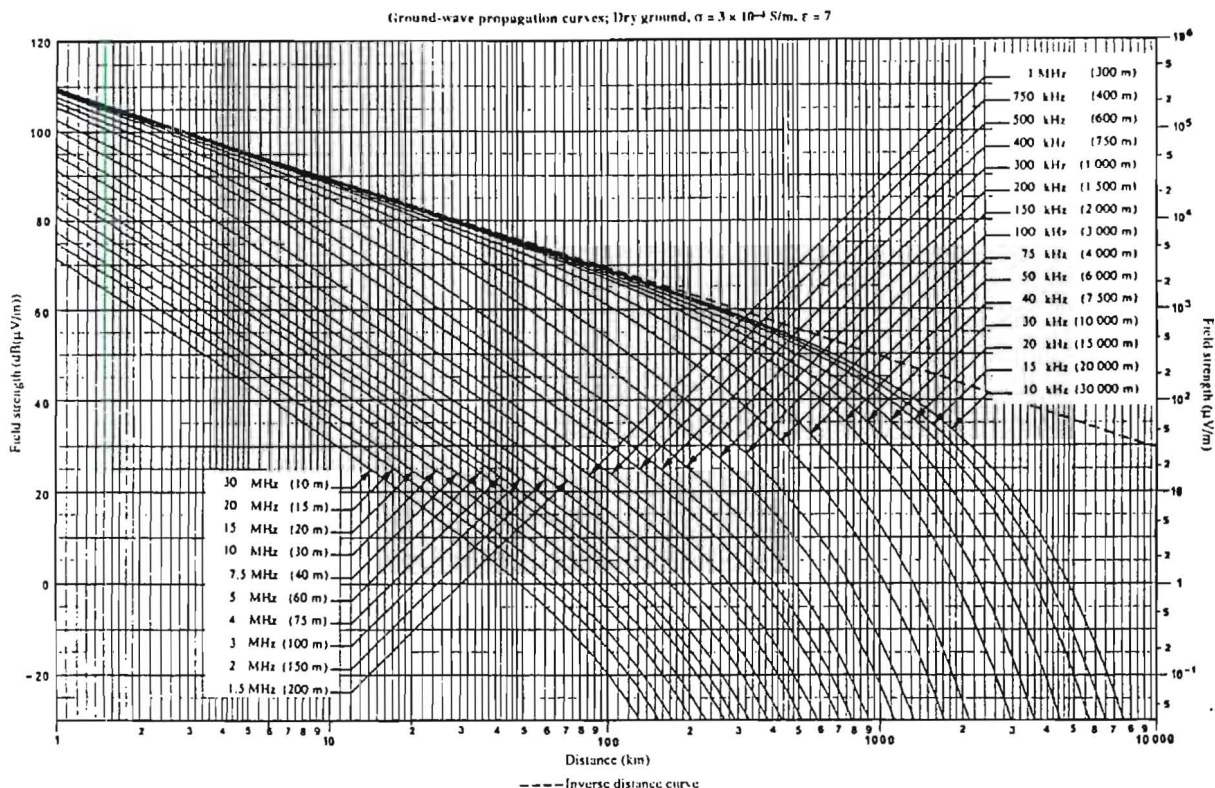
ferskvann

sjøvann (svært god ledningsevne)

Stor fuktighet i bakken øker ledningsevnen. Kommunikasjon med jordbølge vil altså gå bedre langs et dalføre med elveleie enn i fjellterreng.

- Lavere frekvenser utbrer seg lengre enn høyere frekvenser. Figur 2.2 viser dekningsav-stand for forskjellige frekvenser. Figuren viser elektrisk feltstyrke som funksjon av avstand når 1 kW er utsendt fra en vertikal dipol og jordsmonnet er tørr jord.
- Terrengets form har også betydning for signalstyrken. Dersom signalet utbrer seg i grov sjø, vil signalstyrke tapes i forhold til vindstille sjø. Trær dekket med våt snø, eller våte blader vil gi signaltap. Motsatt effekt kan også forekomme; dersom signalet utbrer seg rundt hindringer som hus, fjell, etc., kan signalstyrken på andre siden av hindringen være større enn om hindringen ikke hadde vært der. Dette er kompliserte fenomener og lar seg ikke så lett kvantifisere.

HF signaler som utbrer seg kun som jordbølge vil være stabile signaler uten raske variasjo-ner i signalstyrke. For å nå langt med jordbølgen er det altså viktig å plassere senderen på relativt fuktig grunn, velge vertikalpolarisert antenne og lave frekvenser.

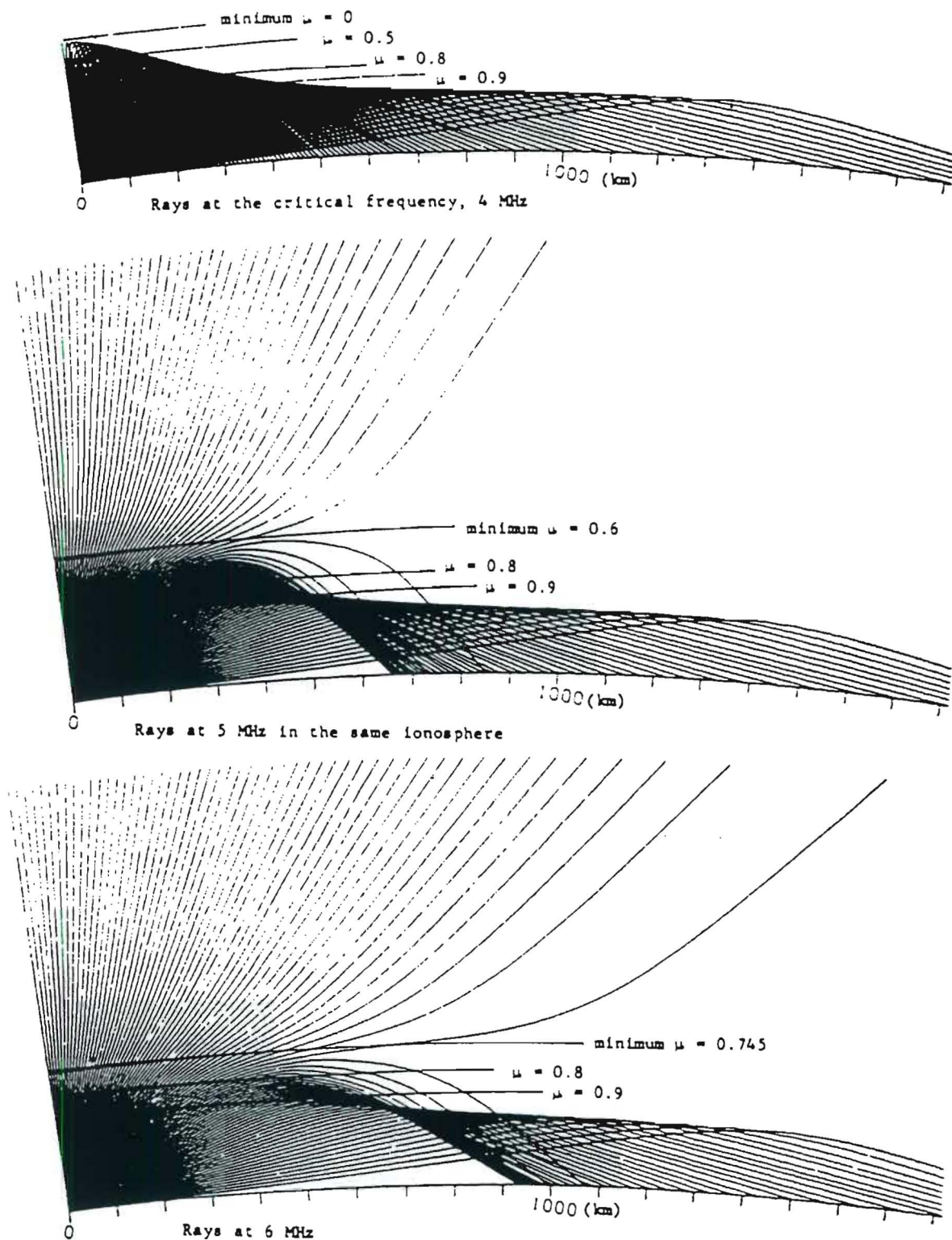


Figur 2.2 Feltstyrkekurver for HF frekvenser utsendt med 1 kW fra en vertikal dipol over tørr grunn (1).

2.3 Ionosfærebølge

Ionosfærebølgen er den delen av HF signalet som blir reflektert i høyder fra 100 km til 400 km over bakken. I disse høydene har elektromagnetisk stråling fra sola ionisert gasser som nitrogen og oksygen slik at frie elektroner eksisterer (=ionosfære), og disse danner reflekterende lag slik at HF radiobølger kan reflekteres og dermed opprette samband over lange avstander. Frekvenser over HF-båndet ($> 30 \text{ MHz}$) har for mye energi til å kunne bli reflektert av disse lagene, og de vil trenge rett gjennom. Frekvenser under HF-båndet ($< 2 \text{ MHz}$) har for lite energi til å kunne nå opp til disse lagene, de vil bli absorbert lengre nede i atmosfæren. Også innenfor HF-båndet eksisterer en usikkerhet om HF signalet vil bli reflektert og komme tilbake til mottaker. Dette er avhengig av elektrontettheten til de reflekterende lag i øyeblikket i forhold til den frekvensen som benyttes, og avstanden fra sender til mottaker. Er frekvensen for høy i forhold til elektrontettheten, så vil signalet skjære gjennom laget og ikke bli returnert. Men en for høy frekvens kan kompenseres ved å rette antennen og dermed signalenergien inn med en stor innfallsvinkel (med vertikalen) mot det reflekterende lag, da kan likevel signalet reflekteres, men nedstrålingsfeltet blir lengre borte i forhold til sender. På grunn av dette kan en "skip-sone" opptre rundt senderen ved bruk av en bestemt frekvens, dvs en sone utenfor rom- og jordbølgens rekkevidde som ikke

mottar ionosfærebølge-signal fordi frekvensen er for høy og innfallsvinkelen for liten til at signalet blir reflektert. Dersom frekvensen minskes, vil skip-sonen krype nærmere senderen. Utenfor skip-sonen mottas signal som er reflektert fra ionosfæren. Dette er illustrert i Figur 2.3.



Figur 2.3 Ionosfærebølgeutbredelse ved tre forskjellige frekvenser. Skip-soner.

Atmosfærens innhold av gasser i forskjellige høyder er varierende, og når den elektromagnetiske strålingen fra sola når atmosfæren, vil forskjellige bølgelengder av sollyset ionisere gassene i forskjellige høyder. Det dannes elektrontetthetslag som har karakteristiske høyder:

- D-laget ligger i høydeområdet 60-100 km og er ganske svakt ionisert. Ioniseringen er ikke sterk nok til å kunne reflektere frekvenser i HF-båndet, men laget forårsaker at signalet som går gjennom det svekkes, det absorberes delvis eller helt.
- E-laget ligger i høydeområdet 100-150 km og kan forårsake refleksjon av HF-signaler. Det normale E-laget dannes bare om dagen, dvs. at det dannes ikke om vinteren ved høye breddegrader. Dersom et signal reflekteres i E-laget, vil nedstrålingsfeltet ligge nærmere senderen enn hvis signalet hadde blitt reflektert i F-laget (sees ved en enkel geometri-betraktning).
- F-laget ligger i høydeområdet 150-400 km og er det sterkeste ioniserte laget som vil reflektere de høyeste frekvensene. Nedstrålingsfeltet er lengre vekk fra senderen enn om signalet hadde blitt reflektert i E-laget. F-laget eksisterer både sommer og vinter, men om sommeren kan dette laget deles opp i et F1 og et F2-lag der F1 er det laveste laget (150-250 km) og F2 er det øverste laget (250-400 km). Ofte benevnes F-laget om vinteren for F2.

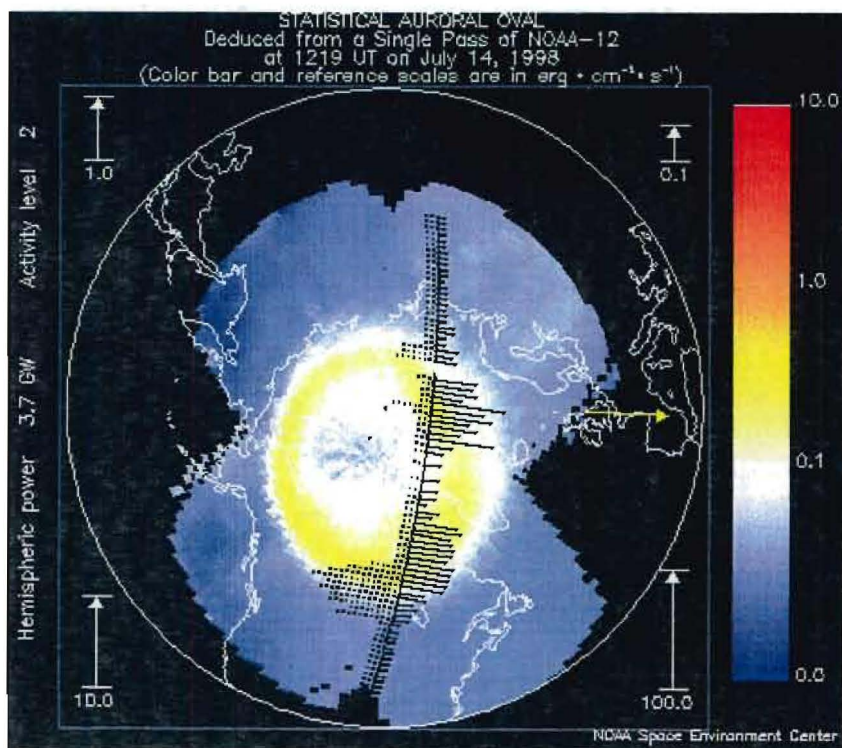
At lagene er tilstede er altså sterkt avhengig av sollyset. Lagene blir likevel ikke helt borte når døgnet er på sitt mørkeste, det sørger tregheten i systemet for. Når sola stiger opp om morgenen, belyses først de øvre deler av atmosfæren og frie elektroner blir dannet høyt oppe i F-laget. Høyden av F-laget reduseres etterhvert som sola belyser lavere deler av atmosfæren og når et minimum når sola står høyest på himmelen. E-laget dannes når sola når en viss høyde over horisonten. Høyden av F2-laget øker igjen når sola senker seg. På denne måten får vi en *daglig variasjon* i refleksjonsforholdene for HF-signaler. På samme måte har vi en årlig variasjon av strålingsintensiteten fra sola som gir en *årstidsvariasjon* i refleksjonsforholdene.

I tillegg til den elektromagnetiske strålingen fra sola, gir sola opphav til en annen ioniseringskilde som endrer forholdene beskrevet over i D, E og F-lag. Dette er solvinden, en strøm av elektrisk ladde partikler som sola slynger ut ved mindre regelmessige utbrudd. Disse partiklene når jorda lenge etter den elektromagnetiske strålingen. Siden jordas magnetfelt i de fleste områder beskytter jorda mot inntrengning av slike partikler, er det kun i ovaler rundt nord- og sydpol at de kan trenge inn til ionosfæren. Partiklene trenger inn og skaper nordlys, økt ionisasjon i E-lag (nordlys-E), sporadiske E-lag (Es) og økt ionisasjon i D-lag på høye breddegrader. Det er kun på nattsiden av jorda at nordlysovalen går så langt sør at den kan dekke fastlands-Norge, på dagsiden vil den ikke gå lengre sør enn at den dekker Svalbard.

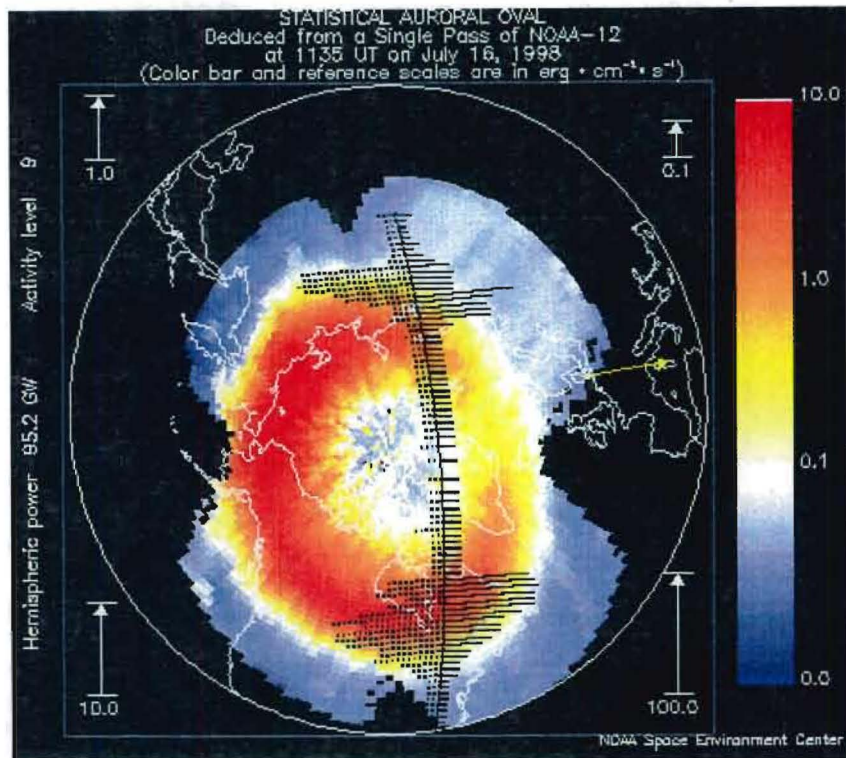
Effekten av denne tilleggssionisasjonen på radiokommunikasjon er at et tett E-lag eksisterer også om natten, og det tette E-laget kan gi refleksjon istedetfor at signalene trenger gjennom E-laget og blir reflektert i F-laget. Det betyr en kortere rekkevidde av signalet. Nordlys E-lag og sporadiske E-lag opptrer sent på kvelden og ved midnatt, hyppigst rundt ca kl 23 lokal tid (geomagnetisk midnatt). Økt ionisasjon i D-laget gir økt absorpsjon av signalet og dermed svakere signal ved mottaker. Dette opptrer noe senere (partiklene som ioniserer her ankommer senere) gjerne på morgenkysten ca 7-9 lokal tid.

Denne tilleggssionisasjonen fra partikkelnedbøren er imidlertid ikke støttet tilstede. Det er avhengig av utbredelsen av nordlysovalen (det geofysiske aktivitetsnivået) og tidspunktet på døgnet. Klokka 23 lokal tid vil alltid nordlysovalen ha sin maksimale utbredelse sør-øst, men om ovalen dekker fastlands-Norge, er avhengig av størrelsen på ovalen ved det gitte tidspunkt. Størrelsen er avhengig av mengden partikkelnedbør i øyeblikket. I figurene 2.4 til 2.7 er vist nordlysovalens posisjon og utbredelse ved to tidspunkter og ved to ulike geofysiske aktivitetsnivåer. Selve ovalen er vist med fargene gult (liten intensitet) til rød (høy intensitet). Blått er svært liten intensitet.

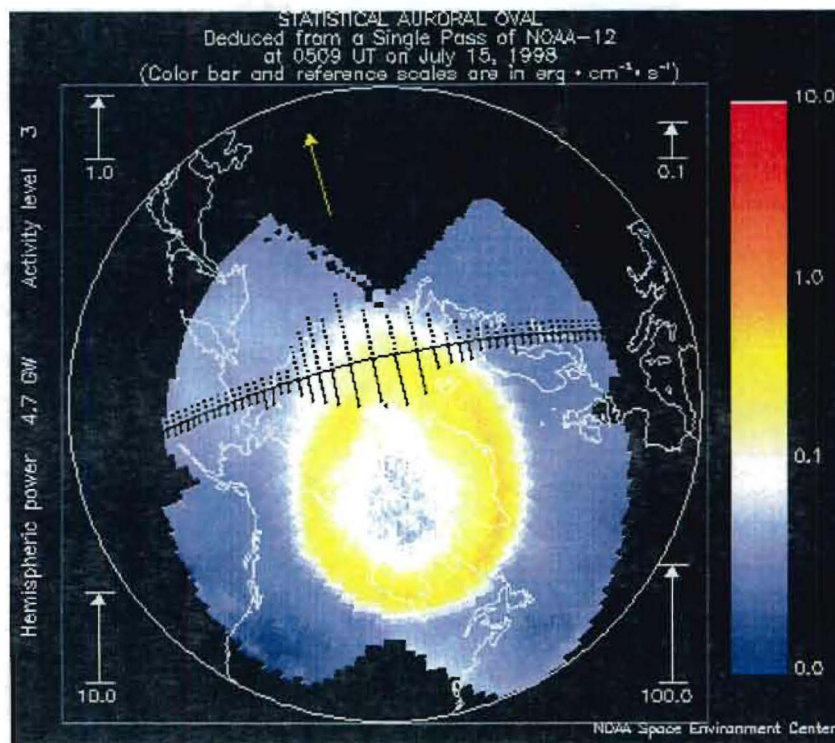
En ekstrem konsekvens av partikkelnedbør kan være en Polar Cap Absorption event (PCA). Dette skjer når det er et stort utbrudd på sola, der svært tunge partikler blir slynget ut. Disse forårsaker svært stor ionisasjon i D-laget og total "black-out" i HF-båndet over hele nord-kalotten ned til 60°N. HF-båndet kan være helt dødt i flere dager. PCA forekommer sjelden ved solflekk minimum, men ved solflekk maksimum kan det forekomme ca én per måned.



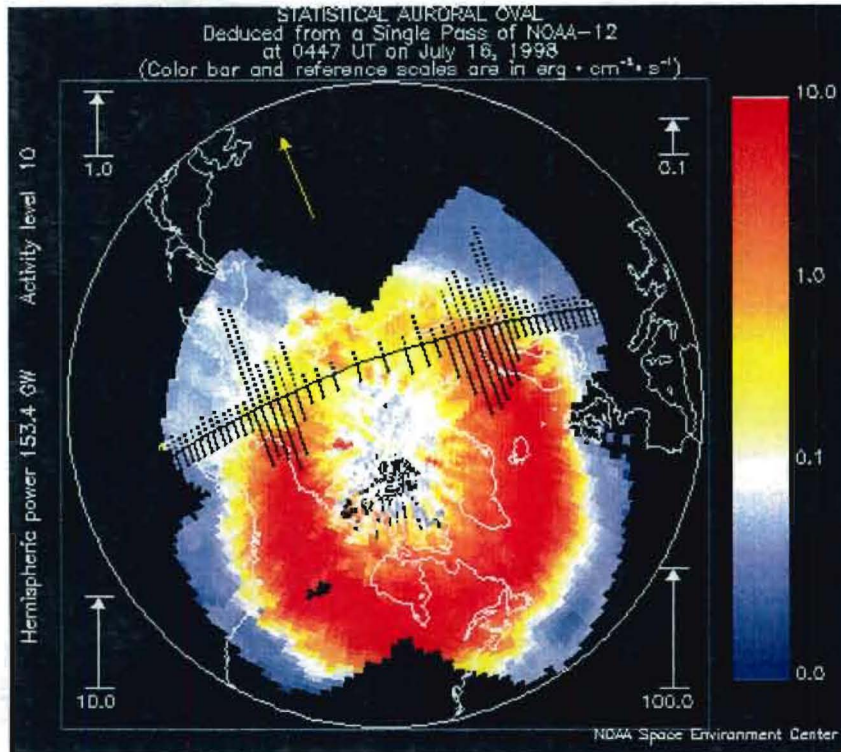
Figur 2.4 Nordlysovalens posisjon ca kl 12 UT, lavt geofysisk aktivitetsnivå.



Figur 2.5 Nordlysovalens posisjon ca kl 12 UT, høyt geofysisk aktivitetsnivå.



Figur 2.6 Nordlysovalens posisjon ca kl 05 UT, lavt geofysisk aktivitetsnivå.



Figur 2.7 Nordlysovalens posisjon ca kl 05 UT, høyt geofysisk aktivitetsnivå.

Mediet som HF-signalene går igjennom og er avhengig av, er altså svært variabelt. Refleksjonsforholdene er avhengig av

- frekvens
- tid på døgnet
- tid på året
- geomagnetisk aktivitet
- hvilken fase i solflekksyklusen, (som er 11 år)

2.4 Egenskaper ved det ionosfære-reflekterte HF signalet

2.4.1 MUF

Til enhver tid eksisterer en Maximum Usable Frequency (MUF) på en gitt sambandsstrekning. Dersom en høyere frekvens enn MUF brukes, skjærer signalet gjennom ionosfæren og vil ikke bli returnert til stedet der mottakeren står. Jo lengere sambandsstrekningen er, jo høyere er MUF. Denne instantane MUF'en blir også kalt MOF (Maximum Operational Frequency) og er bestemt av ionosfærens tilstand i øyeblikket. Dersom målte MUF-verdier for en gitt time, årstid og solflekketall midles, får vi en statistisk beregnet MUF.

Denne gjennomsnittlige MUF er den som predikteres i f.eks. ICEPAC, og det kan da ikke forventes at denne stemmer overens med den virkelige MUF til enhver tid. Halvparten av tiden vil den virkelige MUF være større enn, og halvparten av tiden vil den være mindre enn, den statistiske MUF.

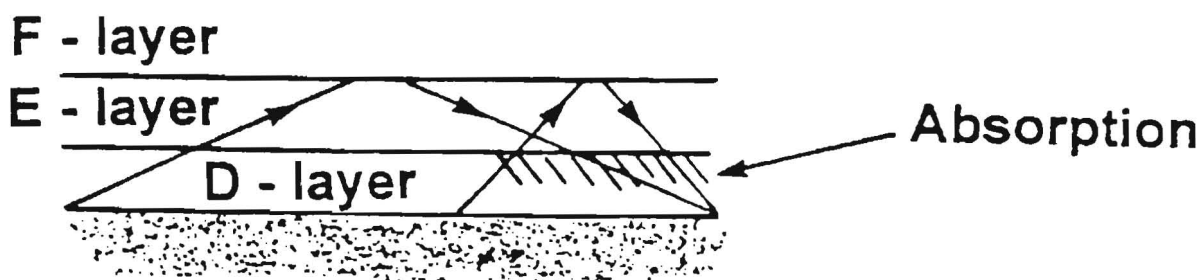
2.4.2 Signal til støyforhold

Effekt utsendt er naturligvis viktig for om signalet kan mottas eller ikke, forutsatt at ionosfæren reflekterer frekvensen det sendes på. Er ionosfæren for svakt ionisert til å reflektere frekvensen, hjelper det ikke å pøse på med effekt. Forholdsvis små effekter (< 25 W) kan nå langt dersom rett frekvens velges og antennene peker i optimal retning i forhold til hverandre. Maksimum antenne-forsterkning bør peke i den retning det ønskes å kommunisere i. Dette kommer vi tilbake til i kapittel 3.

Signalet blir utsatt for forskjellige typer tap over kanalen. En type tap er *frittroms-tapet* (i antall dB) som øker med logaritmen av avstanden mellom sender og mottaker og med logaritmen til frekvensen brukt. En annen type tap på ionosfærekanalen er *absorpsjonstapet*. Dette kan være det største tapet som signalet utsettes for, og størrelsen på tapet (i dB) følger formelen:

$$\text{ionosfærisk absorpsjon} \sim 1/f^2$$

De laveste frekvensene utsettes altså for det største tapet, forårsaket av absorpsjon. Tapet av energi foregår i D-laget, og lengden av signalbanen gjennom D-laget er også avgjørende for det totale tapet. Dersom signalet har en stor innfallsvinkel på ionosfæren, vil lengden av banen gjennom D-laget være stor og tapet blir større. Dette er forsøkt illustrert i Figur 2.8. Derfor vil ikke frekvenser nederst i HF-båndet kunne mottas langt borte. Absorpsjonen av signalet varierer med ionisasjonstettheten i D-laget og er størst rundt middag da sola er på sitt høyeste. I tillegg kan som nevnt før, partikkelnedbør i nordlyssonen føre til økt absorpsjon oftest på morgenen (7-9 lokal tid).



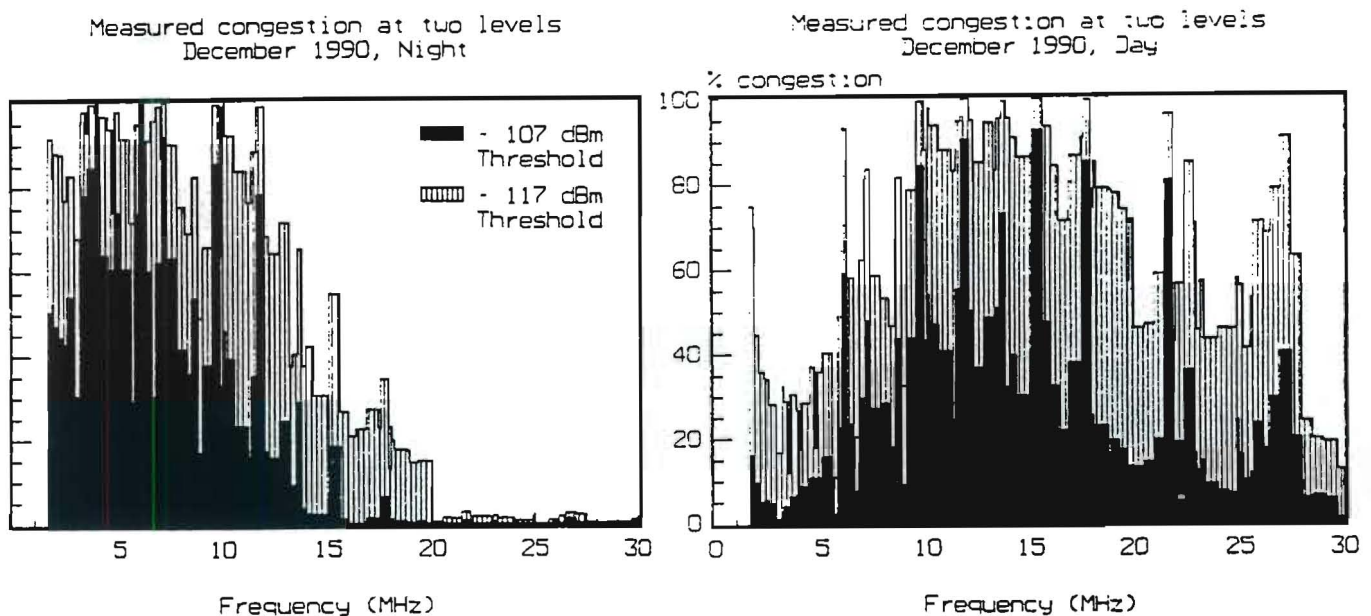
Figur 2.8 HF-signalet utsettes for absorpsjon i D-laget.

Mottakere kan ha varierende følsomhet for innkommende signaler. Avhengig av signalets format (koding, modulasjon, rammestruktur) kan noen typer mottakere motta signaler som er svakere enn støyen på kanalen, d.v.s. signal/støyforholdet er mindre enn 0 dB (spred-

spektrum teknikker), mens andre mer konvensjonelle mottakere krever et signal/støy forhold på 10-20 dB.

Signal/støy forholdet bestemmes både av mottatt signalenergi og av støyen i mottaker. På HF er det flere typer innkommende støy; støy fra det ytre verdensrom (galaktisk), fra tordenvær rundt omkring på jorda (atmosfærisk), eller fra menneske-generert støy i nærområdet til mottakeren. Den menneske-genererte støyen er størst nederst i HF-båndet, men kan også være den dominerende støy-komponenten øverst i båndet. Atmosfærisk støy kan overgå den menneske-genererte støyen nederst i HF-båndet ved visse tidspunkt. Galaktisk støy vil bare bidra øverst i HF-båndet, men vil sjelden dominere støy-bildet.

Det er tett med brukere i HF-båndet, og det er et problem at signaler utsendt ett sted på jorda kan ha stor rekkevidde pga de reflekterende egenskapene til ionosfæren. Gjenbruk av frekvenser i forskjellige geografiske områder er derfor vanskelig. Ionosfæren fungerer på samme måte overfor uønskede HF-signaler som for vårt eget ønskede signal, og disse uønskede signalene utgjør *interferens* på vårt eget signal. Interferens kan blokkere de sendefrekvensene vi sender eget signal på, og mottaker klarer ikke å motta det. Interferensen vil også på samme måte som signalet variere med tid på døgnet, solflekketall, o.s.v. F.eks vil interferensen på natta være størst på lave frekvenser for ionosfæren klarer ikke å reflektere høyere frekvenser. På dagen vil interferensen bli større høyere oppe i båndet og mindre på de lavere frekvenser fordi den økte absorpsjonen på dagtid vil fjerne interferens her. Figur 2.9 viser hvordan "trengselen" i HF-båndet varierer fra natt til dag.



Figur 2.9 "Trengsel" i HF-båndet for natt og dag (2).

2.4.3 LUF

I tillegg til MUF for en gitt banestrekning eksisterer også en LUF (Least Usable Frequency). Denne eksisterer på grunn av den overnevnte absorpsjonen.

2.4.4 Flerbaner og flerbanespredning

Figur 2.1 viste en typisk situasjon for HF: Signalet utbrer seg langs flere baner fram til mottaker. Disse ankommer mottaker med forskjellig tidsforsinkelse og forskjellig fase p.g.a. de forskjellige veilengdene, og vi får en *flerbanespredning* i tid som er tiden gått fra først ankommende signalmode til sist ankommende signalmode. Denne effekten, sammen med frekvensspredning (neste avsnitt) er med på å gjøre at den innkommende signalenergi- en varierer i tid (fading) og at mottaker kan miste signalet når signalenergien er lav.

2.4.5 Frekvensspredning

Figur 2.1 viser også at de reflekterende lagene (ionisasjonen) kan være i bevegelse. For eksempel kan hastigheten i en nordlyssituasjon være på opp til 1000 m/s. Dette innfører et Doppler skift på signalet, dvs at mottatt frekvens ikke er den samme som utsendt frekvens. De forskjellige banene kan oppleve forskjellige Doppler skift slik at mottatt signal er en samling av signalmoder med forskjellig Doppler skift, signalet har en *Doppler spredning* eller *frekvensspredning*. Denne effekten forårsaker *signalfading*.

3 LITT OM AKTUELLE ANTENNER

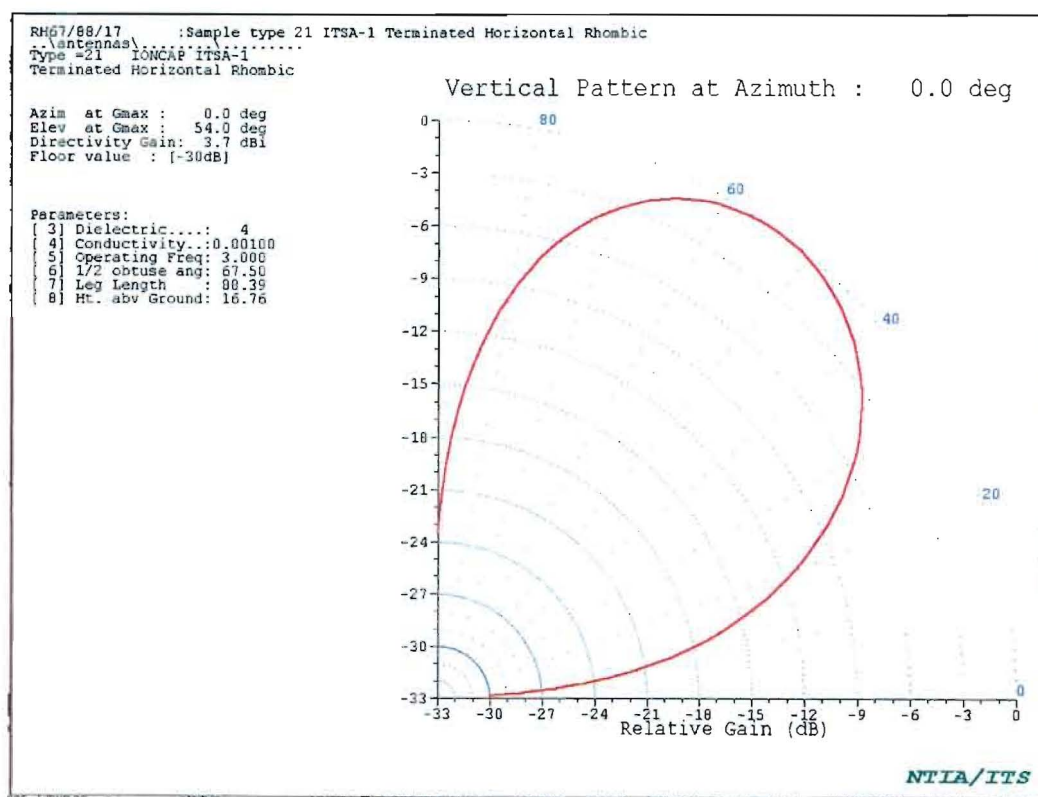
Antennevalget er viktig for kommunikasjonen. F.eks. kan ikke horisontalpolariserte antenner brukes til å kommunisere over jordbølgen fordi horisontalpolariserte radiobølger vil raskt absorberes i jordsmonnet. Forskjellig fysisk utforming av antenner gir forskjellig utstrålingsvinkel (antennediagram), forsterkning og tap. Antennediagrammet vil favorisere bølgeutbredelse i visse retninger som igjen vil favorisere kommunikasjon (gi maksimalt signal-støy forhold) over visse avstander. Antennediagrammet for én antenne vil variere fra frekvens til frekvens. Andre faktorer som påvirker antennediagrammet er jordkonduktiviteten og antennens plassering i forhold til omkringliggende ting.

En *isotropisk* antenne er en ideell referanseantenne som ikke eksisterer i virkeligheten, og som stråler like mye i alle retninger, også vertikalt. Forsterkningen til virkelige antenner blir ofte referert til en isotropisk antenne med antall dB over en isotropisk antenne (dBi).

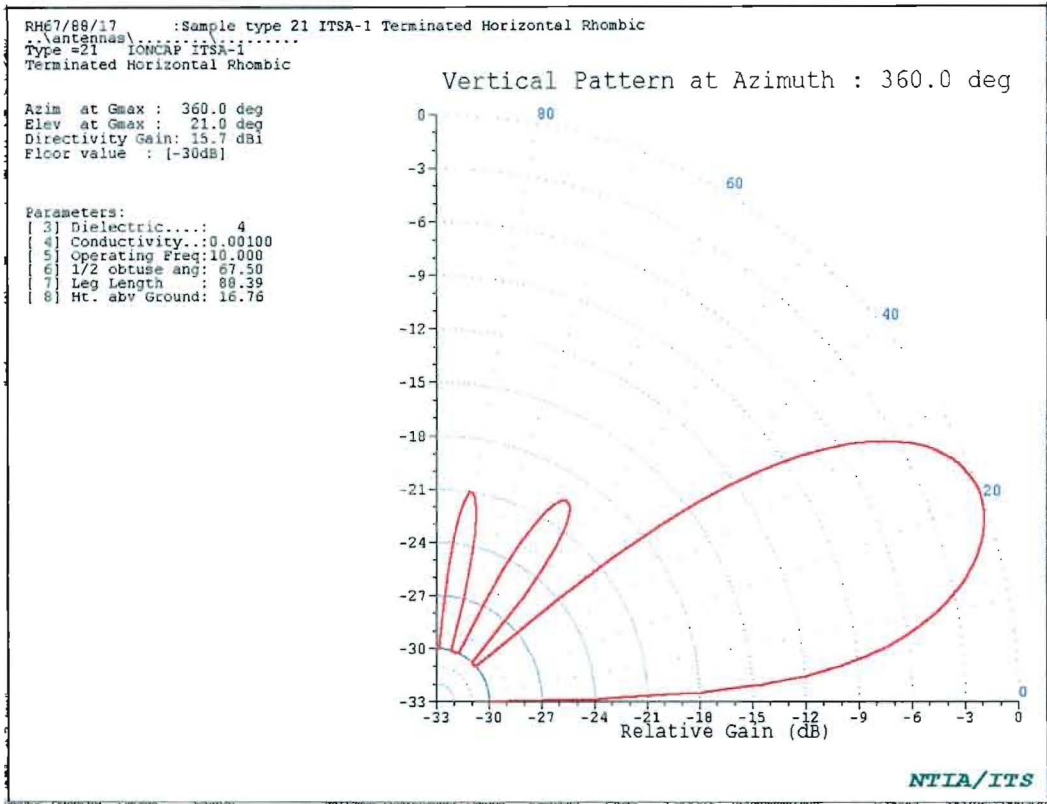
Eksempler på antennediagrammer til tre forskjellige antenner er vist i de følgende figurer. Antennediagrammene er laget med HFANT for WINDOWS som er en del av program-pakken ITS HF PROPAGATION PREDICTION SOFTWARE (3). Figurene 3.1 til 3.4 viser diagrammene til en *terminert horisontal rhombe*. De to første figurene angir maksimal

utstråling i vertikalretningen ved frekvensene 3.0 og 10.0 MHz. På 3 MHz er det maksimal utstråling ved elevasjonsvinkelen 54° og her er forsterkningen 3.7 dBi i senderetningen. For større og mindre vinkler avtar utstrålingen med så mange dB som kan avleses på diagrammet. På 10 MHz er det maksimal utstråling ved 21° og her er forsterkningen 15.7 dBi i senderetningen. For den lave frekvensen vil altså effekten bli rettet mere oppover og favorisere kommunikasjon på kortere avstander, mens for den høye frekvensen vil effekten være enda mer konsentrert og rettet framover slik at kommunikasjon over lengere avstander favoriseres. De to neste figurene angir utstrålingen i horisontalretningen (asimut) for de samme to frekvensene ved den elevasjonen som gir maksimal utstråling, henholdsvis 54° for 3 MHz og 21° for 10 MHz. 3 MHz gir en jevn men avtagende fordeling av utstrålt effekt ut til ca 70° på hver side av hovedretningen, mens 10 MHz gir "nullpunkter" (ingen utstrålt effekt) i retningene $\pm 20^\circ$, $\pm 50^\circ$, $\pm 70^\circ$, o.s.v.

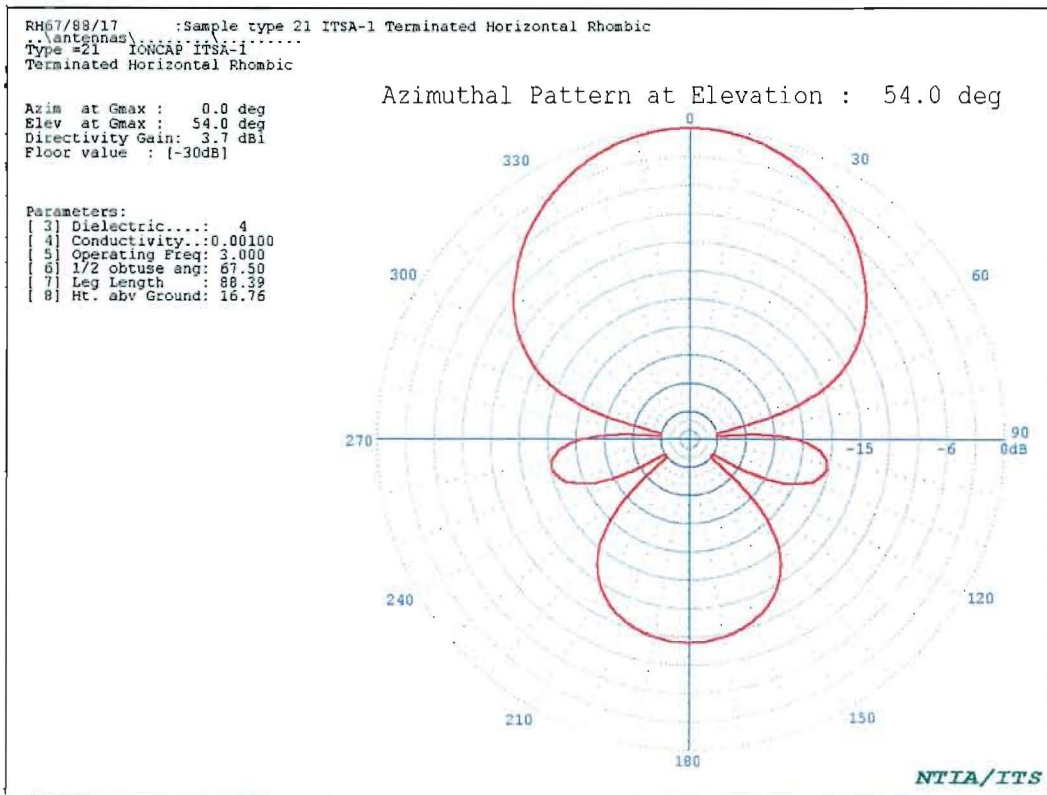
Figurene 3.5 til 3.8 viser diagrammene for en *vertikal monopol*, og figurene 3.9 til 3.12 viser diagrammene for en *horisontal dipol*. Begge disse antenntypene blir benyttet av Hæren.



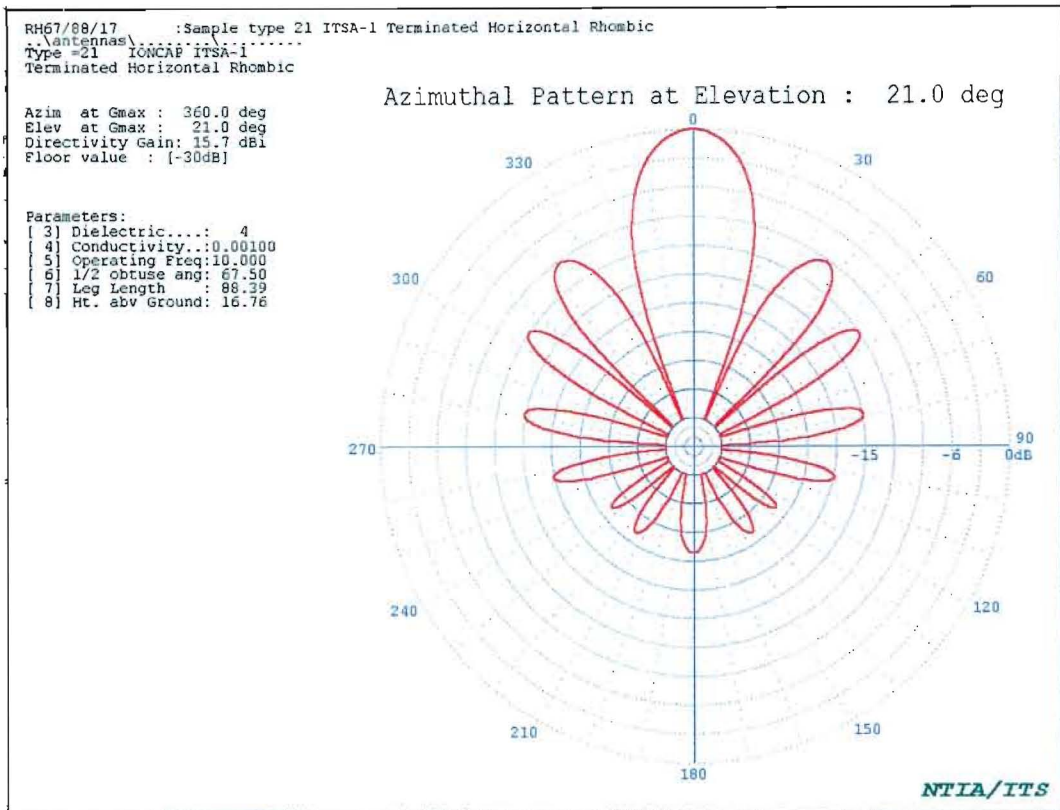
Figur 3.1 Terminert horisontal rhombe, elevasjonsdiagram, 3 MHz.



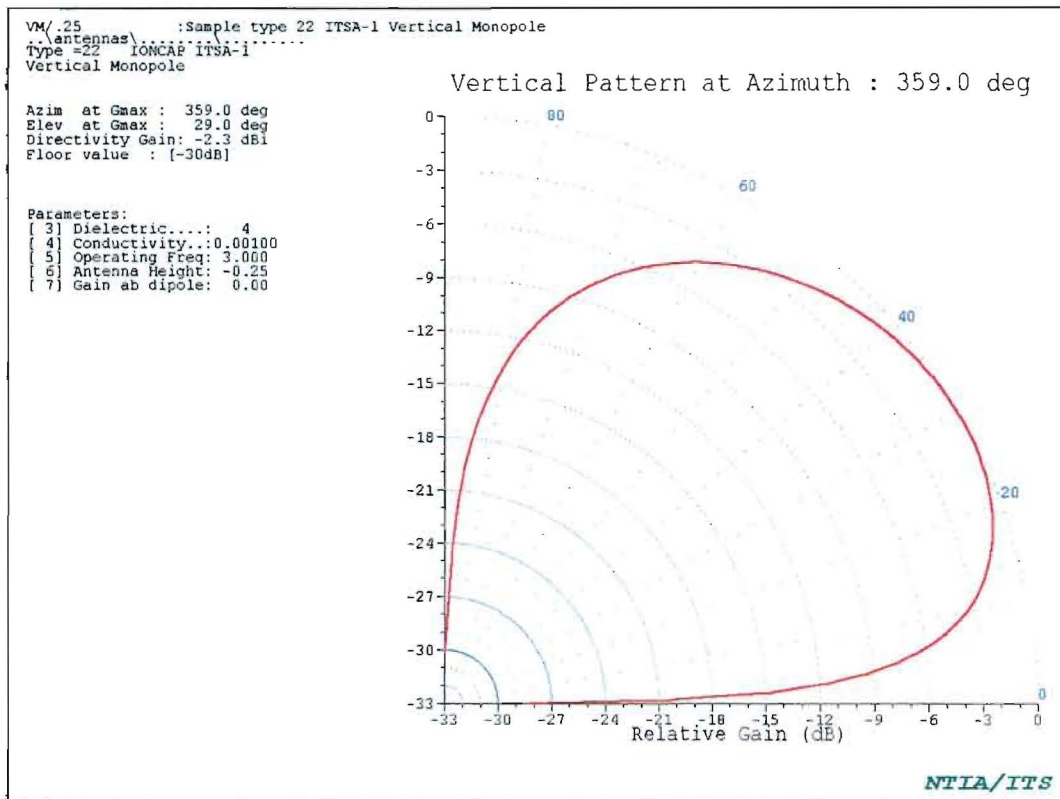
Figur 3.2 Terminert horisontal rombe, elevasjonsdiagram, 10 MHz.



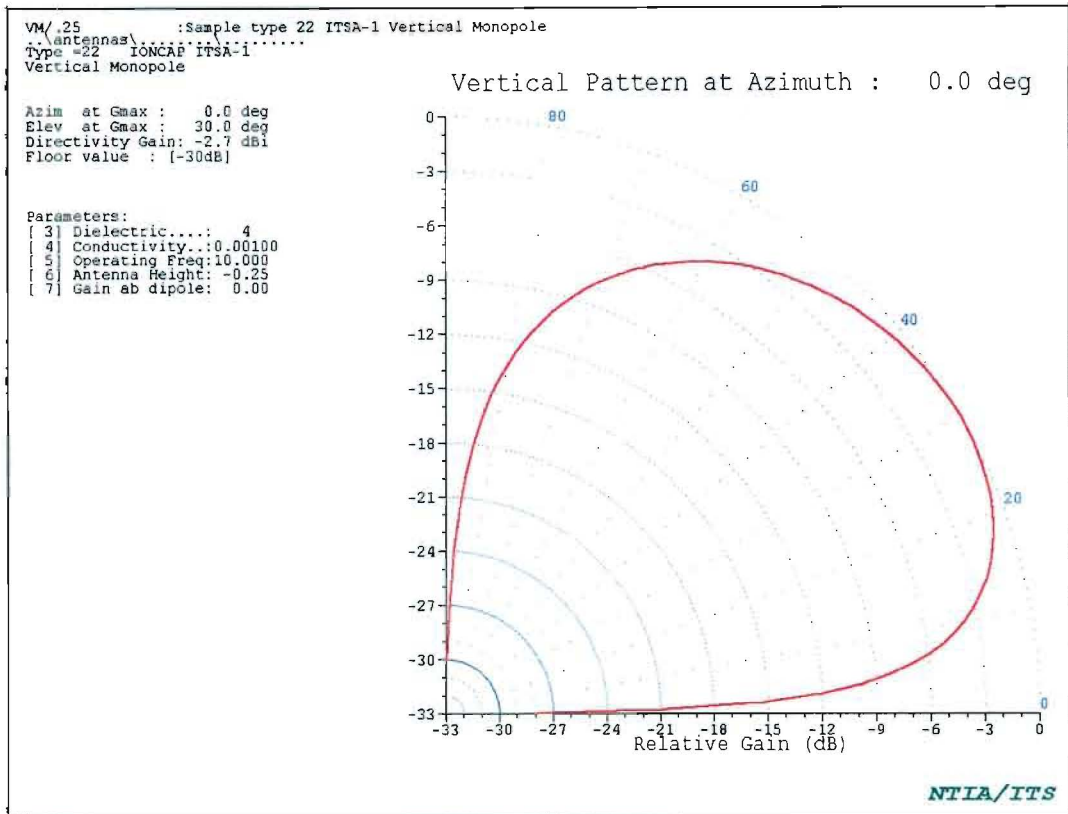
Figur 3.3 Terminert horisontal rombe, asimutdiagram, 3 MHz.



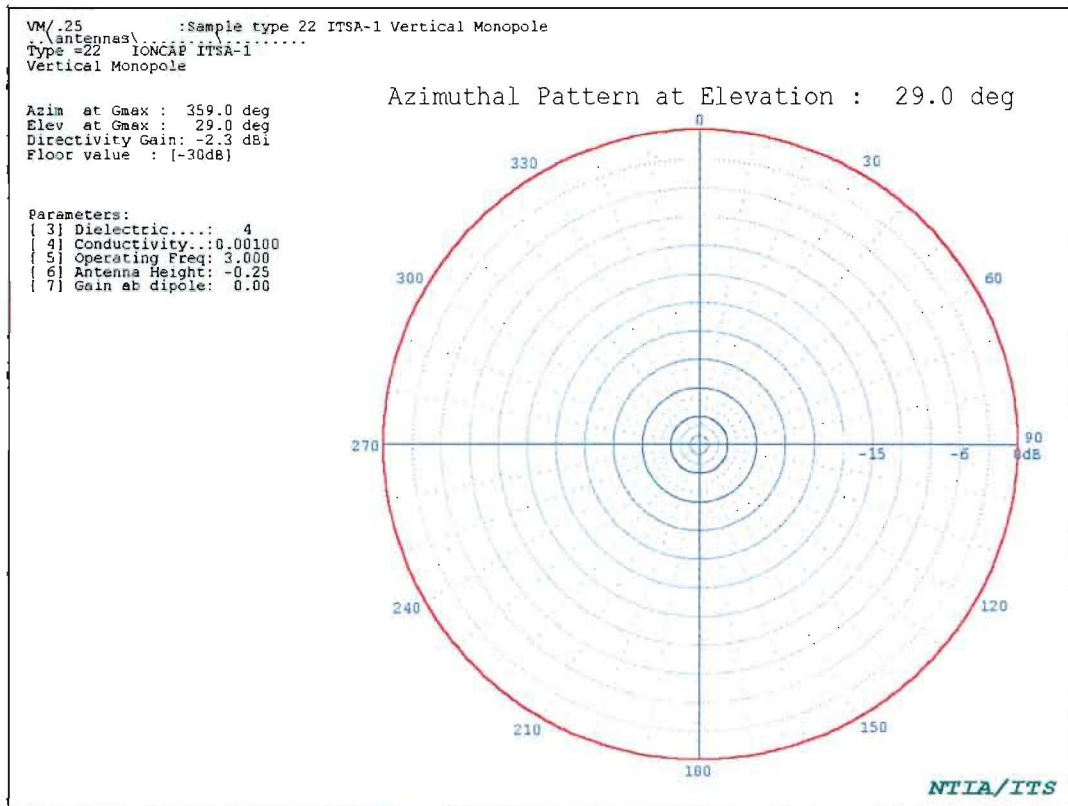
Figur 3.4 Terminert horisontal rombe, asimutdiagram, 10 MHz.



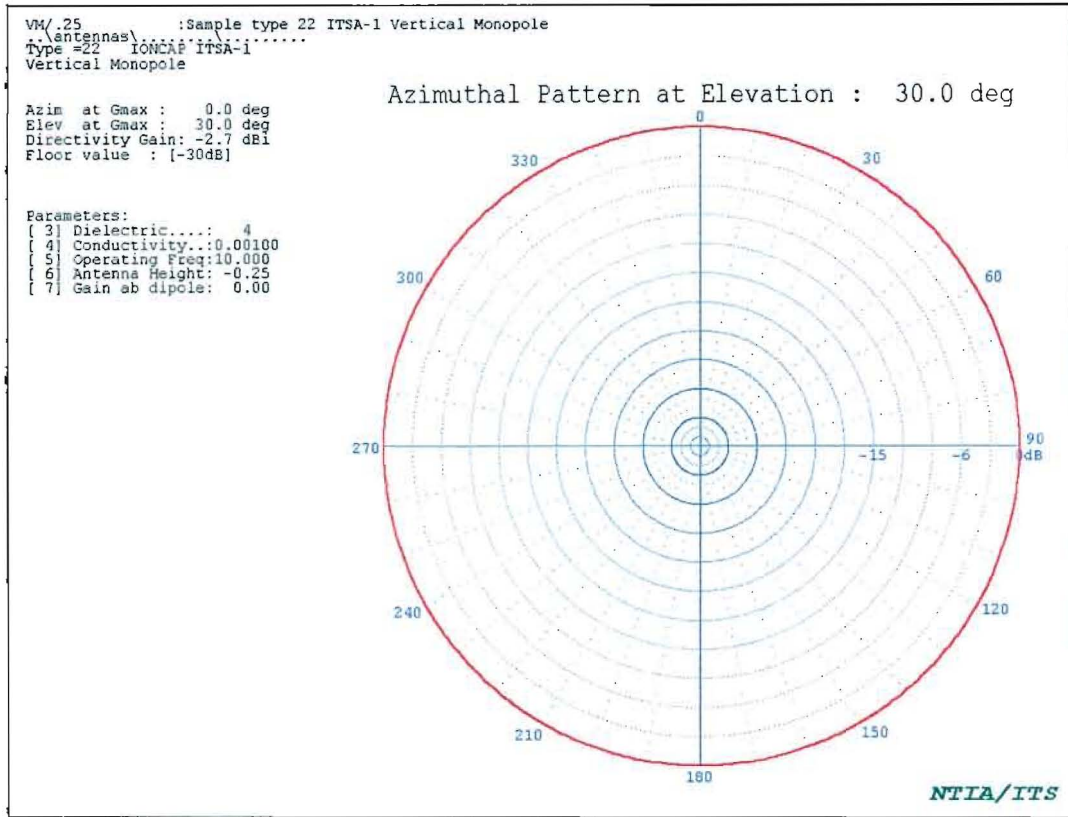
Figur 3.5 Vertikal monopol, elevasjonsdiagram, 3 MHz.



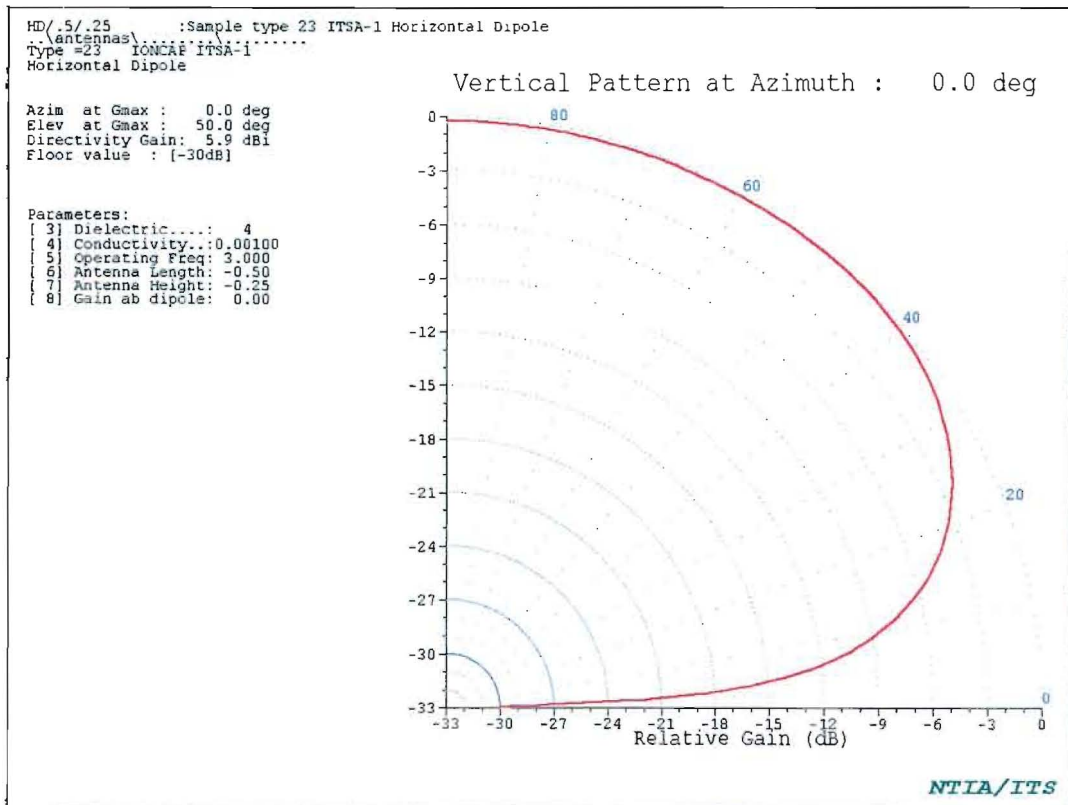
Figur 3.6 Vertikal monopol, elevasjonsdiagram, 10 MHz.



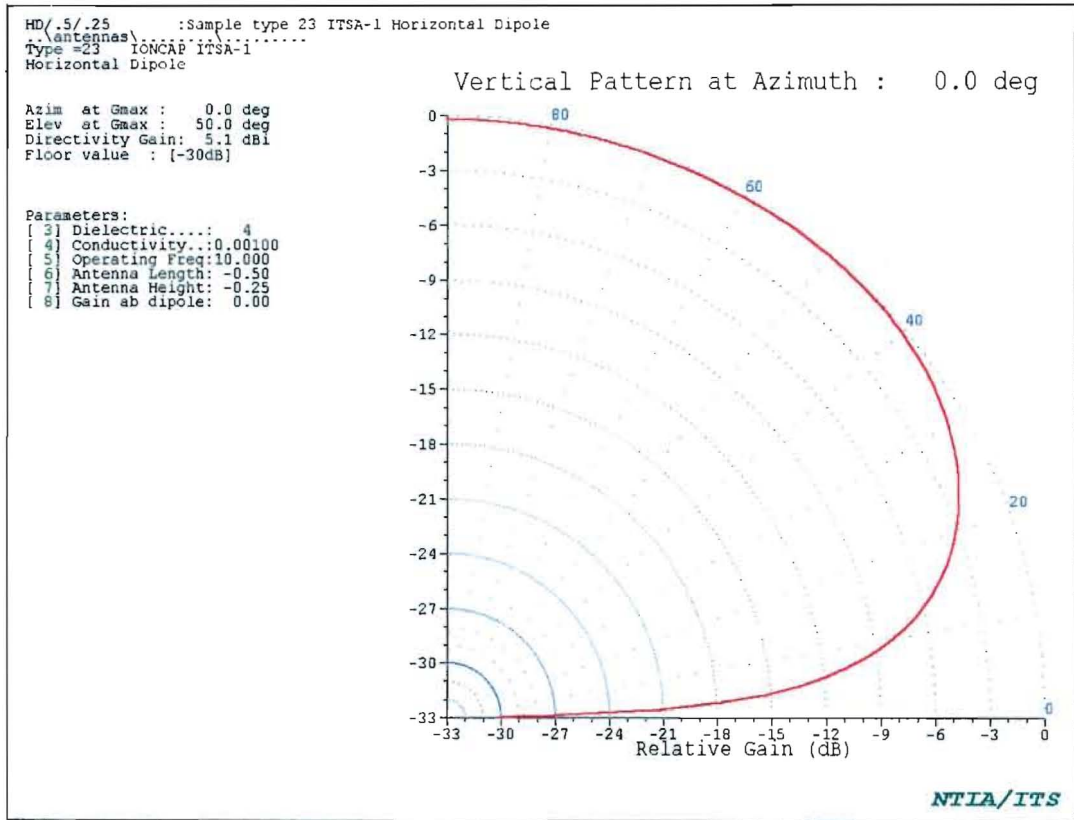
Figur 3.7 Vertikal monopol, asimutdiagram, 3 MHz.



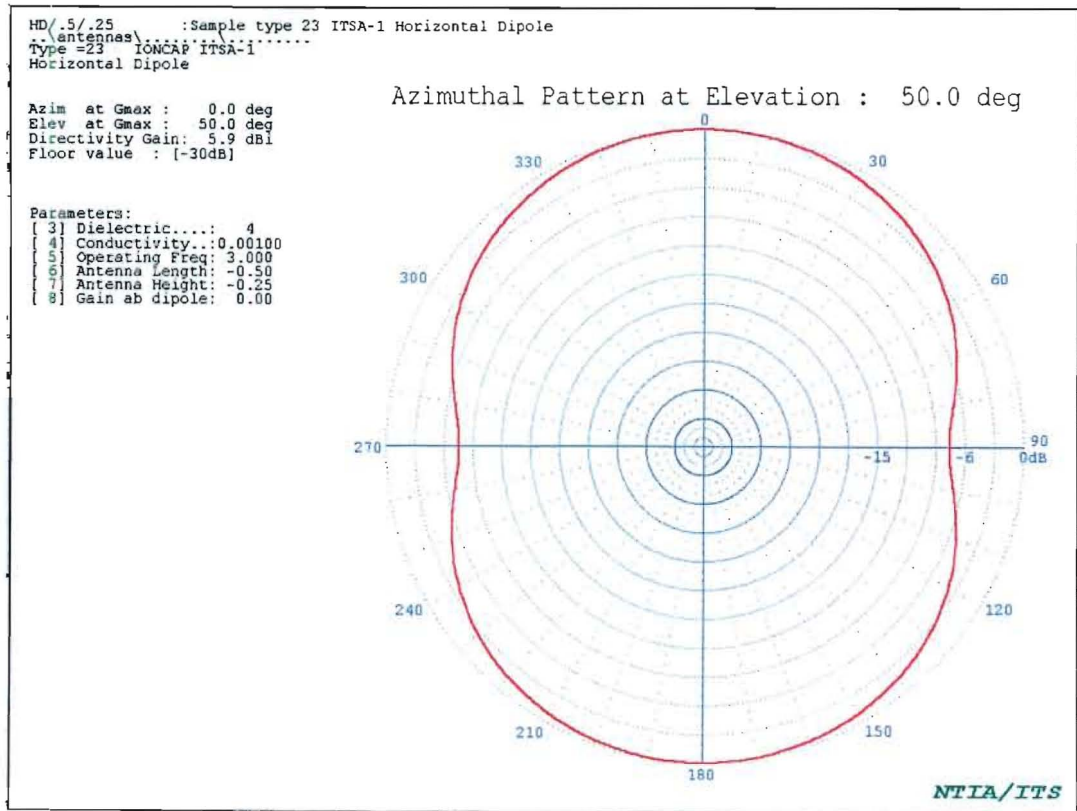
Figur 3.8 Vertikal monopol, asimutdiagram, 10 MHz.



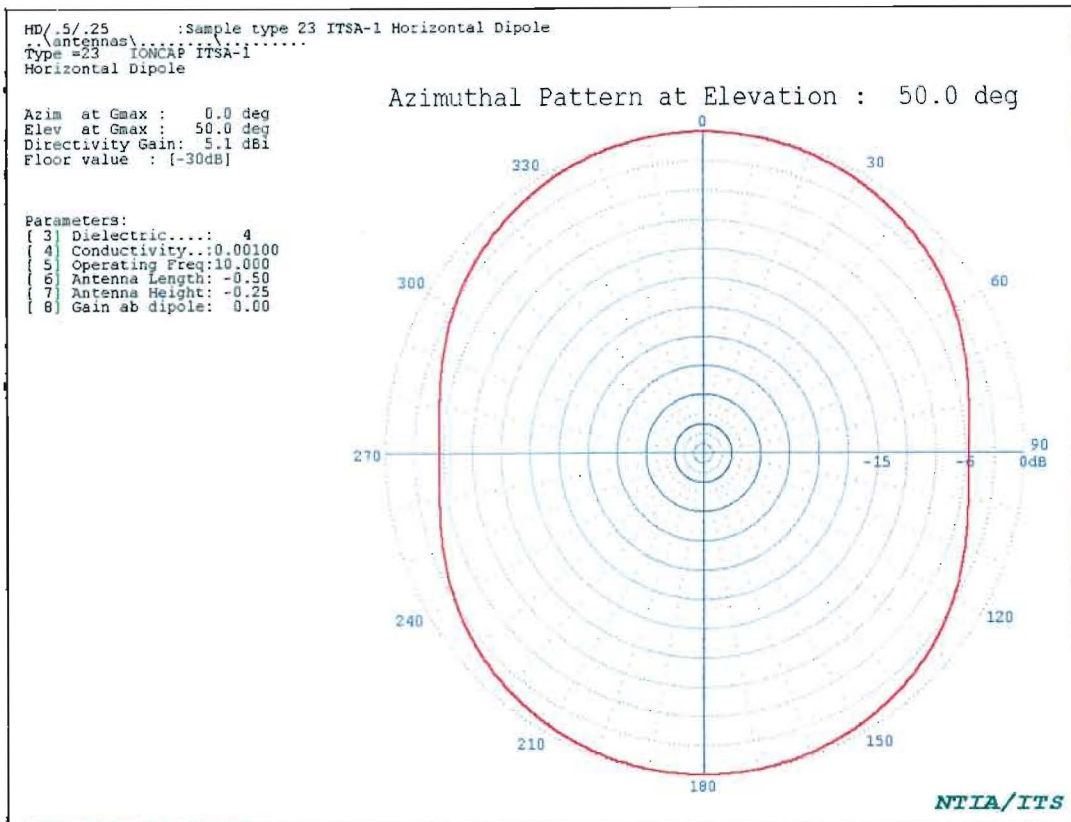
Figur 3.9 Horisontal dipol, elevasjonsdiagram, 3 MHz.



Figur 3.10 Horizontal dipol, elevasjonsdiagram, 10 MHz.



Figur 3.11 Horizontal dipol, asimutdiagram, 3 MHz.



Figur 3.12 Horisontal dipol, asimutdiagram, 10 MHz.

For den vertikale monopolen er både elevasjonsdiagrammene og asimutdiagrammene for de to frekvensene så og si like. Det vil si at frekvensen spiller liten rolle for retningen på utstrålingen. I forhold til en ideell isotropisk antenne så gir denne antennen ut mindre effekt selv i den retningen som utstråler mest, forsterkningen er på -2.3 dBi ved elevasjon 29° for 3 MHz og -2.7 dBi ved elevasjon 30° for 10 MHz. I asimut stråler denne antennen like mye i alle retninger.

Den horisontale dipolen har for begge frekvensene maksimum forsterkning ved elevasjonsvinkel 50° og en forsterkning på henholdsvis 5.9 og 5.1 dBi. Asimutdiagrammene er ganske like for de to frekvensene, med 6-8 dB dempning av effekten i retningen langs med dipolen. Også for denne antennen spiller frekvensen liten rolle for utstrålingsdiagrammet.

Den vertikale monopolen bør altså brukes ved jordbølgekommunikasjon og ved kommunikasjon som ikke krever veldig sterke signaler, siden antennen har en lav (negativ) forsterkning. Hvis man prøver å kommunisere over ionosfærebølgen med en slik antenne, bør frekvensen være høy for å unngå noe av den ionosfæriske absorpsjonen som oppleves på lavere fekvenser. Man skal likevel være klar over at denne antennens utstrålingsdiagram har en lav elevasjonsvinkel (30°) som kan gjøre ionosfærekommunikasjon med liten effekt vanskelig.

Den horisontale dipolen bør aldri brukes ved jordbølgekommunikasjon, men kun ved ionosfærekommunikasjon. Den sender maksimum effekt oppover i en retning av 50° og med en bra forsterkning i forhold til den vertikale monopolen, så denne antennen vil egne seg mye bedre til ionosfærekommunikasjon.

Det er viktig å være klar over antenners rundstrålende og bakoverstrålende egenskaper med tanke på antenneplassering i forhold til fienden. Det vil bli for omfattende å komme inn på i denne rapporten hvordan jordkonduktiviteten og antenners plassering i forhold til omkringliggende ting influerer på antennediagrammet.

4 INNFØRING I BRUKEN AV PREDIKSJONSPROGRAMMET ICEPAC

Flere dataprogrammer for prediksjon av framkommelighet på HF som før ble kjørt på stormaskiner, kan nå kjøres på PC og er gratis tilgjengelige over Internet. Dette gjelder bl.a. ICEPAC (tidligere IONCAP) som FFI har brukt til å utstede rutinevarsler som har blitt sendt til mange militære brukere.

Det finnes mange forskjellige prediksjonsprogrammer for HF, noen svært enkle, andre mer komplekse. De mer komplekse programmene inneholder alle en *ionosfæremodell*, en *bølgeutbredelsesmodell*, og *empiriske data*. Modellene er helst de samme for de forskjellige programmene, forskjellene består gjerne av detaljeringsgrad i modellene. Hvordan resultatene fremstilles for brukeren varierer også fra program til program. IONCAP/ICEPAC hører med til de mere komplekse prediksjonsprogrammer for HF. IONCAP ble utviklet i USA på slutten av 70- begynnelsen av 80-tallet, og en god beskrivelse av programmet er gitt i (4). ICEPAC er en videreutvikling av IONCAP som har vært i bruk siden begynnelsen av 90-tallet. Det nye ved ICEPAC i forhold til IONCAP er at ICEPAC inneholder en høy breddegradsmodell, d.v.s at det modellerer forskjellige fysiske prosesser i forskjellige regioner av ionosfæren avhengig av geografisk plassering. F.eks. vil det være forskjellige algoritmer for prediksjoner i pol-områdene, nordlys-sonen, rett syd for nordlyssonen og på lave breddegrader. Dette er den egenskapen ved ICEPAC som muligens gjør det til det beste prediksjonsprogrammet for oss i Norge. ICEPAC inneholder imidlertid *ikke* en jordbølgeomodell, og gir dermed ingen prediksjon for jordbølgeutbredelse, kun ionosfærebølgeutbredelse.

Denne brukerveiledningen er ikke ment å dekke alt eller beskrive alle valgmuligheter man har når man kjører ICEPAC, bare gi en kort innføring i nødvendige input-parametre og forklare noen output-parametere. Ellers vil brukeren lett finne ut av mulighetene som eksisterer, ved selv å prøve seg fram.

4.1 Hva gir programmet til brukerne?

HF prediksjonsprogrammer som har vært i bruk fram til idag, inkludert ICEPAC, gir ut *et statistisk bilde av kanalforholdene*. D.v.s at hvis man måler kanalforholdene i den tidsperioden prediksjonen gjelder for (en bestemt time i en måned ved ett solflekk tall) over lengere tid, så vil i *gjennomsnitt* kanalforholdene være som prediksjonen tilsier. For en tilfeldig dag vil altså prediksjonen ikke nødvendigvis stemme med det man opplever når man kommuniserer. Denne egenskapen ved prediksjonsprogrammene gjør at de egner seg ypperlig til å gi et bilde av kanalforholdene på HF for dem som lager HF kommunikasjonsutstyr. I de fleste tilfeller ønsker jo systemdesignere at utstyret skal virke for en gjennomsnittlig kanalsituasjon. Også for frekvensadministrasjon er prediksjonene svært nyttige; de viser hvilke frekvenser som i gjennomsnitt er mest tilgjengelige på et gitt sambandsstrek.

For radio-operatører er imidlertid ikke prediksjonene helt optimale, siden de ikke sier noe om kanalsituasjonen akkurat i øyeblikket. Den øyeblikkelige MUF'en kan være lavere enn prediktert, eller absorpsjonen kan være stor slik at LUF'en er høyere enn prediktert og gjør at man ikke klarer å etablere samband på frekvenser som prediksjonen tilsier skal fungere fint. Prediksjonsprogrammer av denne type må derfor brukes kritisk, de representerer ingen "sannhet" til enhver tid.

Det arbeides for tiden med å inkludere sanntids-data i prediksjonsprogrammer f.eks. gjeldende verdier for kritisk frekvens, MUF, solflekk tall o.s.v. Dette innebærer at brukeren selv må hente ned gjeldende verdier for disse parameterne fra en database og sette dem inn i programmet. Dette vil gjøre disse programmene mere nyttige for radio-operatører. Det eksisterer også korttids-varsler (forecasting) for HF som sier noe om ionosfæreforholdene de nærmeste timene. Med Internet-tilknytning kan dette bli et viktig redskap for radio-operatører til å etablere samband.

Likevel er prediksjonsprogrammer som ICEPAC slik det er idag nyttige også for radio-operatører. De gir operatøren en forståelse for HF-kanalen og bedre grunnlag for å velge riktig frekvens.

4.2 Hvordan få tak i ICEPAC?

ICEPAC kan finnes og hentes ned over Internet på adressen:

<http://elbert.its.bldrdoc.gov/hf.html>

Det finnes forskjellige versjoner for forskjellige plattformer, DOS, Win 3.xx, Win 95 og Win NT. Disse kan kostnadsfritt hentes ned og brukes, men hvis man ønsker brukerstøtte fra utviklerne av programmet, må det betales en pris på 500 US\$.

ICEPAC ligger inkludert i en samling av tre prediksjonsprogrammer og ett antenneprogram som alle hentes ned på en gang. De andre to prediksjonsprogrammene er VOACAP (som er IONCAP videreutviklet m.h.p kringkasting for Voice Of America) og REC533 (ITU-R's standardiserte prediksjonsprogram). På samme adresse kan man også hente ned en bruker-manual, en teknisk manual og en god beskrivelse av installasjon og oppstart.

Minimumskrav til en PC som skal kjøre ett av de tre programmene er:

- 4 MByte RAM, anbefalt 16 Mbyte
- 20 MByte hard disk
- VGA grafikk kort
- 486 X 33 MHz prosessor med matematikk co-prosessor

ICEPAC, VOACAP og REC533 inneholder alle et punkt-til-punkt prediksjonsprogram, samt et program for å lage dekningsdiagrammer (xxxAREA). I tillegg inneholder ICEPAC og VOACAP et eget program som også modellerer effekten av en uønsket HF sender (interferens) på det ønskede signalet ved mottakeren. De tre programmene er forholdsvis like i bruk og gir de samme mulighetene for framstilling av resultater. I det følgende beskriver vi kun input parametere til ICEPAC punkt-til-punkt programmet, de fysiske og tekniske parametere vil være de samme for ICEAREA, men her kan man i tillegg endre på kartparametere. Type resultater som kan fåes, vil også være de samme for ICEPAC og ICEAREA.

Antenneprogrammet HFANT (brukt i kapittel 3) som kommer i den samme programpakken, gir mulighet for å se på antennediagrammene til antennene som ligger i antennebibliotekene. Med HFANT kan man sammenligne antennene i antennebiblioteket med spesifikasjoner for reelle antenner og dermed velge riktig antenne til prediksjonen fra antennebiblioteket. Man kan også modifisere på antenner i antennebiblioteket og lagre disse slik at de blir mer i overensstemmelse med reelle antenner.

4.3 Input parametere til ICEPAC

Ved oppstart av ICEPAC kommer input-siden opp. På denne siden må alle input parametere spesifiseres, og etterpå kan man lagre input-siden for senere bruk. Man kan dermed også hente opp en allerede eksisterende side.

For hver input-boks det pekes på, kommer det opp en forklaring nederst på siden. Vi går likevel kort igjennom alle input-boksene til ICEPAC punkt-til-punkt programmet:

Method. Her kan man velge mellom 30 forskjellige metoder som produserer forskjellige resultat-typer. Vi kommer tilbake til dette i et senere underkapittel.

Year. Hvilket år man ønsker prediksjonen for.

Coefficients. Kan velge mellom to ionosfæremodeller (koeffisienter): URSI eller CCIR. Begge disse modellene kan brukes, men CCIR modellen håndterer ikke solflekk tall på mer enn ~180. URSI modellen dekker i tillegg oversjøisk analyse. Generelt bør da URSI modellen benyttes ved prediksjonsanalyser.

Time. Hvilke timer man ønsker prediksjonen for, enten i UT (Universal time) eller i lokal tid.

Group. Hvilke måneder man ønsker prediksjonen for, kan spesifisere inntil 10 måneder i en kjøring. For hver måned gir man samtidig solflekk tall og Q-indeks (se neste underkapittel).

Transmitter. Geografiske koordinater til senderen. Oppgis som desimaltall. Kan også hente fram tidligere lagrede lokasjoner.

Receiver. Samme som for senderen.

Path. Her har brukeren to valg; om prediksjonen skal gjøres for den korteste veien mellom to punkter på jorda (short) eller den lengste veien rundt jorda (long). Lengde og asimutvinkel kommer automatisk opp i henhold til valget.

Frequency. Hvilke frekvenser (inntil 11 stk) prediksjonen skal gjøres for. Kan velge noen pre-definerte sett av frekvenser.

System. *Manmade noise.* Dette er støynivå ved mottakeren. Modeller for andre typer støy som atmosfærisk, etc. ligger allerede inne i programmet, kun menneskelaget støy kan spesifiseres av brukeren. Støynivået ved mottageren er gitt i -dBW (dB under 1 watt) ved en båndbredde på 1 Hz ved 3 MHz. Verdien angis ikke med negativt fortegn. Man kan gjerne velge de foreslåtte verdier som tilsvarer menneskelaget støy i et typisk industri-område, forstad, spredtbebygd område eller isolert område.

Minimum take-off angle. Dersom man ikke vet spesielt at antennen er dårlig på lave elevasjonsvinkler, anbefaler vi å bruke default-verdien 0.1.

Required Circuit Reliability (%). Denne parameteren brukes av programmet kun ved beregning av LUF eller Service Probability. Ved beregning av andre resultater kan denne parameteren ha en vilkårlig verdi. Parameteren angir prosentdel av tida som ønsket kommunikasjonskvalitet ($S/N \geq \text{required } S/N$) må være tilstede.

Required S/N (dB). Angir kravet til den gjennomsnittlige signaleffekten i aktuell båndbredde relativt til en gjennomsnittlig støy-effekt i 1 Hz båndbredde. P.g.a. at signaleffekten refereres til en 1 Hz støybåndbredde, så blir dB-tallet forholdsvis stort. To regneeksempler viser dette: Et signal-støyforhold på 70 dB over en støybåndbredde på 1 Hz gir et signal-støy-forhold over 3 kHz båndbredde på: $S/N (3 \text{ kHz}) = 70 \text{ dB} (1\text{Hz}) - 10\log(3000/1) = 35$

dB. Hvis man motsatt har en mottaker som fungerer ned til 10 dB signal-støy-forhold over en 3 kHz kanal, så skal *required S/N* settes til $10 \text{ dB} + 10\log(3000/1) = 45 \text{ dB}$ (1 Hz).

Multipath power tolerance (dB). Dersom man ikke ønsker at muligheten for flerbåner og disses innvirkning på kommunikasjonen skal vurderes, setter man denne parameteren til 0. Dersom man ønsker en slik vurdering, oppgis her en maksimum forskjell i effektstyrken på to forskjellige moder som kan tolereres av utstyret før signalkvaliteten forringes.

Maximum tolerable time delay (ms). Her oppgis maksimum tidsforsinkelse mellom to moder før signalkvaliteten forringes.

Fprob. Dersom man ikke har spesifikk annen ionosfæreinformasjon, brukes her default-verdiene.

Tx Antenna. Her velges fra et antennebibliotek hvilken senderantenne som skal brukes. To antennebibliotek er tilgjengelige: SAMPLES eller DEFAULT. I tillegg kan man ha laget egne antenediagrammer med programmet HFANT som her også kan velges. Antennene i katalogen SAMPLES har beskrivende navn mens man må kjenne CCIR's antenne-typer for å kunne velge riktig antenne på directoriet DEFAULT. Når antenne er valgt, kan man om ønskelig modifisere på denne med min/maks frekvens og designfrekvens. Dessuten må man angi retning på hovedloben til antennen med antall grader øst for nord, alternativt sette denne retningen til å peke mot mottagerantennen. Utsendt effekt spesifiseres i kW. De andre antenne-rutene nedover på siden er ikke i bruk (Not/Applicable).

Rx Antenna. Her velges mottagerantenne fra de samme to bibliotekene som over. Retningen til hovedloben angis på samme måte som for senderantennen, eventuelt at den peker mot senderantennen. Hvis man har valgt en isotropisk antenne, så kan antenneforsterkning angis.

Når alle input-data er gitt, kan programmet kjøres. Brukeren velger om han vil ha resultatene i tabells form (Circuit) eller i grafisk form (Graph). Dersom metoden valgt innebærer at flere typer resultater beregnes (signalstyrke, pålitelighet, signal-støy-forhold, etc.), får man så et valg hvilken output-parameter man vil ha plottet. Resultatene kan overføres til andre applikasjoner (Word, etc.) ved å trykke Alt+ Printscreen, da legges bildet på utklippstavla. Herfra legges det inn i den ønskede applikasjonen.

4.4 Solflekketall og Q-indeks

Dette er de to geofysiske parameterne som må gis som input til ICEPAC. Solflekketall angir aktiviteten på sola. Høye solflekketall betyr økt aktivitet og dermed hyppigere og større forandringer i ionosfæren som følge av utbrudd på sola. Solflekketallet varierer mellom 0 og 200 og har et maksimum hvert 11 år. Solflekkminimum var i 1996 og det er forventet et nytt maksimum i år 2000. Det finnes flere typer beregnede solflekketall på Internet. Den ty-

pe solflekk tall som skal brukes i ICEPAC prediksjoner er *smoothed monthly mean* og finnes f.eks på adressen:

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/

For å finne prediktert solflekk tall i månedene og årene som kommer, se fila *sunspot.predict*.

Q-indeksen angir forstyrrelse av jordas magnetfelt som opprinnelig skyldes hendelser på sola, men som gir utslag spredt utover i tid. Q-indeks skalaen går fra 0 til 11 og liten Q betyr at jordas magnetfelt er stabilt i amplitudeverdi. Det blir beregnet en Q-indeks hvert kvarter og verdien av den kan variere ganske mye fra time til time. Q-indeksen beregnes på lokale målesteder, og ideelt sett skal den Q-indeksen som settes inn i ICEPAC for en gitt time (UT) være målt på det stedet på jorda som for den gitte UT-timen har geomagnetisk midnatt. Denne indeksen er vanskelig å få tak i, så Q-indeksen som skal brukes i ICEPAC, må finnes på en annen måte. En annen mer tilgjengelig indeks er K_p -indeksen som er global. Det eksisterer en sammenheng mellom K_p og Q (målt ved magnetisk midnatt):

$$Q = 3 \cdot K_p \quad \text{for } K_p < 1$$

$$Q = K_p + 2 \quad \text{for } K_p \geq 1$$

Ved å få tak i K_p kan man bruke formelen over til å finne Q.

K_p kan *ikke*, på samme måte som solflekk tallet, predikteres mange måneder i forveien. Grunnen til det, er at den geomagnetiske indeksen endrer seg fra time til time. Vi fant én Internet adresse som gir prediktert K_p for dagene som kommer, men usikkerheten er nok stor for dagene lengst fram i tid:

<gopher://sec.noaa.gov/00/weekly/27DO.txt>

Valget av Q for prediksjon med ICEPAC i framtida er dermed vanskelig og kan ikke bli helt korrekt. Det gis også på Internet varsel om forskjellige typer solutbrudd og forstyrrelser som er under utvikling, f.eks på adressen

<http://www.sel.noaa.gov/>

Dersom slike hendelser er i gang, så kan man ta det som tegn på at Q-indeksen går opp. Når en hendelse først er igang så vil den gjerne vare ved endel timer. På denne adressen finnes også K_p -indeksen for den siste dagen. Denne kan brukes som en indikasjon på om vi er inne i en rolig eller forstyrret periode.

Hvis man synes at dette blir for omstendelig (og likevel usikkert) for å få kjørt en rask prediksjon, kan man kjøre ICEPAC med $Q=0$ (helt uforstyrret magnetfelt) og med $Q=6$

(moderat til temmelig forstyrret magnetfelt) og sammenligne de to. De virkelige forholdene vil som oftest ligge innenfor disse grensene.

4.5 Type resultater fra ICEPAC

Det finnes 30 forskjellige typer resultater som kan framstilles med ICEPAC. Noen av metodene som kan velges vil ha overlappende resultater, f.eks vil MUF informasjon komme fram ved mange forskjellige metoder. Brukeren kan velge om han vil framstille resultatene grafisk eller i tabells form.

Vi gir her et par eksempler på resultatframstilling som kan velges, og forklarer hva de forskjellige resultatene betyr. Metode 24 (resultat vist i figur 4.1) er en metode som FFI har kjørt for mange militære brukere.

Scrollw:C:\TSHFB\GRUNICEPACx.out 2359 bytes

File Edit

URSI Coefficients METHOD 24 ICEPAC Uersion 970428W PAGE 1

MAR 1998 SSN = 55. Qeff= 0.0 Minimum Angle 0.10 deg
 Andoya Alta AZIMUTHS N. MI. KM
 69.30 N 16.02 E - 69.90 N 23.20 E 73.17 259.90 154.4 285.9
 XMTR 2-30 IONCAP #23[SAMPLES\SAMPLE.23] Az= 73.2 OFFaz=360.0 0.300k
 RCUR 2-30 IONCAP #23[SAMPLES\SAMPLE.23] Az=259.9 OFFaz= 0.0
 3 MHZ NOISE = -150.0 DBW REQ. REL = .90 REQ. SNR = 50.0 DB

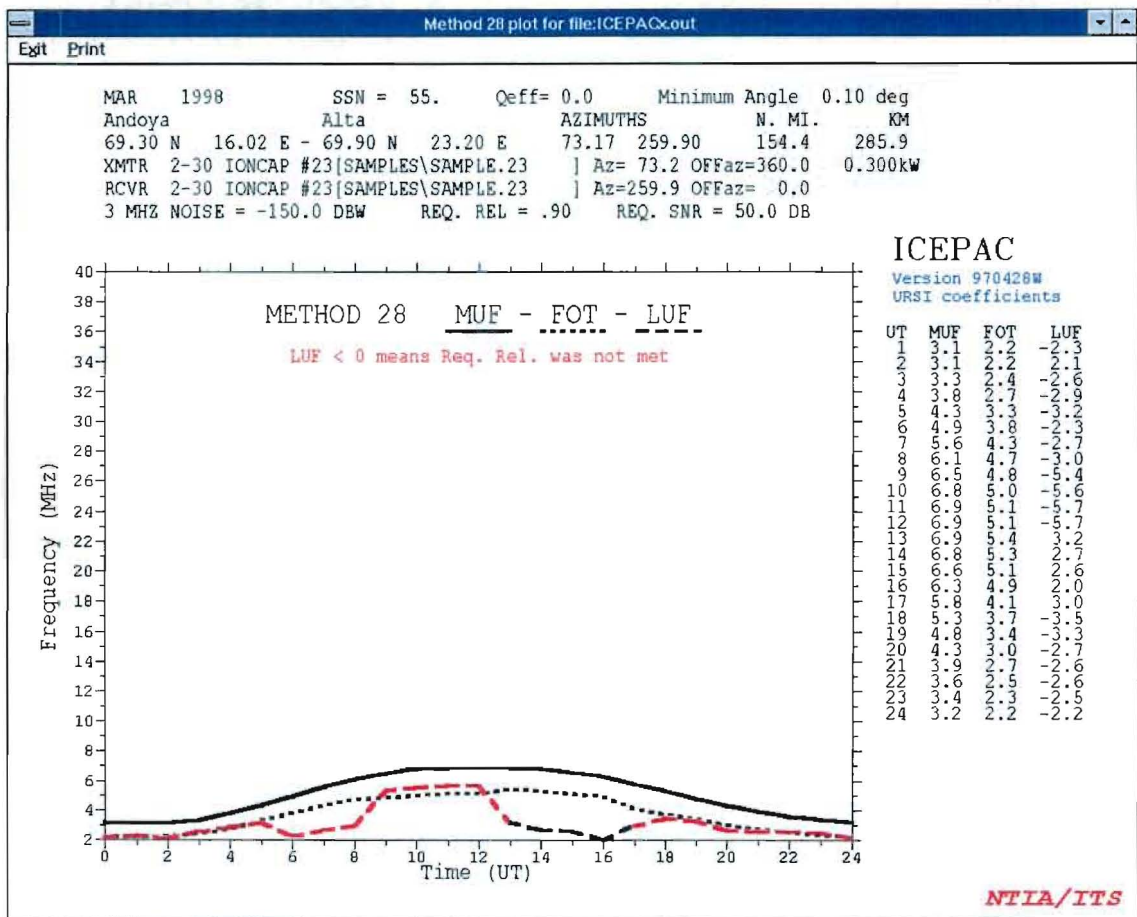
FREQUENCY / RELIABILITY

UT	MUF	3.0	4.5	6.0	8.5	10.5	12.5	14.5	17.0	19.0	-	-	MUF
1	3.1	0.87	0.59	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	0.88
2	3.1	0.89	0.58	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	0.87
3	3.3	0.86	0.62	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	0.83
4	3.8	0.88	0.77	0.30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	0.84
5	4.3	0.88	0.84	0.60	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	0.85
6	4.9	0.80	0.80	0.68	0.12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.78
7	5.6	0.78	0.81	0.75	0.33	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.78
8	6.1	0.80	0.80	0.77	0.53	0.14	0.04	0.01	0.01	0.01	-	-	0.77
9	6.5	0.85	0.86	0.88	0.76	0.46	0.14	0.02	0.01	0.02	-	-	0.86
10	6.8	0.84	0.85	0.88	0.79	0.54	0.20	0.05	0.01	0.01	-	-	0.86
11	6.9	0.84	0.85	0.88	0.81	0.57	0.23	0.07	0.00	0.01	-	-	0.87
12	6.9	0.86	0.87	0.90	0.83	0.61	0.26	0.05	0.00	0.00	-	-	0.88
13	6.9	0.87	0.88	0.90	0.82	0.59	0.24	0.05	0.00	0.00	-	-	0.89
14	6.8	0.91	0.91	0.91	0.83	0.58	0.23	0.04	0.00	0.00	-	-	0.89
15	6.6	0.87	0.90	0.90	0.78	0.48	0.15	0.03	0.01	0.02	-	-	0.88
16	6.3	0.89	0.91	0.89	0.73	0.37	0.10	0.01	0.01	0.02	-	-	0.88
17	5.8	0.90	0.91	0.87	0.76	0.53	0.27	0.10	0.01	0.01	-	-	0.88
18	5.3	0.88	0.88	0.83	0.64	0.35	0.12	0.05	0.02	0.02	-	-	0.85
19	4.8	0.87	0.85	0.78	0.50	0.19	0.08	0.01	0.02	0.02	-	-	0.83
20	4.3	0.85	0.80	0.71	0.32	0.08	0.01	0.01	0.02	0.02	-	-	0.81
21	3.9	0.78	0.70	0.56	0.17	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.73
22	3.6	0.78	0.68	0.48	0.10	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.73
23	3.4	0.77	0.65	0.40	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.73
24	3.2	0.87	0.76	0.50	0.09	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	0.85

Figur 4.1 Resultat fra kjøring av Metode 24: Reliability på de valgte frekvenser og MUF.

De øverste linjene viser input parametere gitt til programmet. Den første kolonnen i selve tabellen angir time (UT), og den første raden angir valgte frekvenser. Andre kolonne viser MUF for hver time gjennom døgnet. Resten av matrisen viser sannsynlighet på hver frekvens for at det gjennomsnittlige signal-støy-forholdet skal være større enn det påkrevde signal-støy-forholdet gitt som input (1.00= 100% sannsynlig). Kolonnen til høyre viser sannsynligheten for at SNR på MUF er større enn påkrevd SNR.

Figur 4.2 viser resultater fra kjøring av Metode 28 som kun gir frekvensinformasjon.



Figur 4.2 Resultat fra kjøring av Metode 28: MUF, FOT og LUF.

Grafen viser MUF, FOT og LUF som funksjon av tid på dagen. FOT står for Frequency of Optimum Transmission og er beregnet ut fra den statistiske MUF. FOT er definert som den høyeste frekvensen det er 90% sannsynlighet hvor det kan oppnås samband. FOT er avhengig av systemets totale forsterkning og påkrevd signal til støyforhold som er gitt av bruker. Alle disse tre parameterne er altså statistisk beregnet, og representerer derfor ikke de virkelige verdier i øyeblikket.

Metode 20 gir et komplett sett av resultater for én time (1 UT) vist i figur 4.3. Kort forklaring på de forskjellige output parameterne er som følger:

Freq. Den første frekvensen er MUF, deretter valgte frekvenser (i MHz) som er evaluert.

Mode. Hvilken bølgeutbredelsesmode som er mest sannsynlig. 1F2 betyr 1-hopps F2.

Scrollw:C:\ITSHFBGRUNNICEPACx.out 55416 bytes

File Edit

URSI Coefficients METHOD 20 ICEPAC Version 970428W PAGE 1

MAR 1998 SSN = 55. Qeff= 0.0 Minimum Angle 0.10 deg
 Andoya Alta AZIMUTHS N. MI. KM
 69.30 N 16.02 E - 69.90 N 23.20 E 73.17 259.90 154.4 285.9
 XMTR 2-30 IONCAP #23[SAMPLES\SAMPLE.23] Az= 73.2 OFFaz=360.0 0.300k
 RCUR 2-30 IONCAP #23[SAMPLES\SAMPLE.23] Az=259.9 OFFaz= 0.0
 3 MHZ NOISE = -150.0 DBW REQ. REL = .90 REQ. SNR = 50.0 DB
 MULTIPATH POWER TOLERANCE = 3.0 DB MULTIPATH DELAY TOLERANCE = 0.100 M

1.0	3.1	3.0	4.5	6.0	8.5	10.5	12.5	14.5	17.0	19.0	0.0	0.0	FREQ
	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	1F2	-	-	MODE
70.0	68.3	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	-	-	ANGLE
3.0	2.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	-	-	DELAY
420	383	417	417	417	417	417	417	417	417	417	-	-	U HITE
0.50	0.57	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	MUFday
102	100	125	159	161	163	165	166	167	168		-	-	LOSS
37	37	17	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16		-	-	DBU
-74	-74	-98	-134	-137	-138	-140	-141	-143	-144		-	-	S DBW
-149	-148	-152	-156	-161	-164	-167	-169	-171	-172		-	-	N DBW
74	74	55	22	24	26	27	27	28	28		-	-	SNR
2	3	22	55	52	51	50	49	49	48		-	-	RPWRG
0.88	0.87	0.59	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	REL
0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	MPROB
0.47	0.46	0.26	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10		-	-	S PRB
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0		-	-	SIG LW
13.4	13.2	24.2	21.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9		-	-	SIG UP
26.6	26.6	26.5	26.5	26.6	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8		-	-	SNR LW
14.7	14.5	24.9	21.8	11.0	11.2	11.3	11.4	11.4	11.4		-	-	SNR UP
5.7	5.7	5.3	5.1	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.7		-	-	TGAIN
5.7	5.7	5.3	5.1	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.7		-	-	RGAIN
48	47	28	-5	-2	-1	0	1	1	2		-	-	SNRxx
-44	-44	-68	-104	-107	-108	-110	-111	-113	-114		-	-	DBM

Figur 4.3 Resultat fra kjøring av Metode 20: Komplet system ytelse for time 01 UT.

Angle. Hvilken elevasjonsvinkel signalet går ut fra senderen med på den mest sannsynlige banen (i grader).

Delay. Tiden (i ms) signalet bruker fra sender til mottaker langs den mest sannsynlige banen.

V Hite. Virtuell høyde beskriver den maksimale høyde signalet når over bakken (i km) dersom signalet hadde gått konstant med lyshastigheten langs den mest sannsynlige banen.

MUF day. Sannsynligheten for at gjeldende frekvens er større enn MUF.

Loss. Gjennomsnittlig tap (i dB) langs den mest sannsynlige banen.

DBu. Forventet gjennomsnittlig feltstyrke ved mottakeren (i dB over 1 $\mu\text{V/m}$).

S dBW. Gjennomsnittlig signaleffekt ved mottakeren (i dB over 1 W).

N dBW. Gjennomsnittlig støyeffekt ved mottakeren (i dB over 1 W).

SNR. Gjennomsnittlig signal-støy-forhold (i dB), alle moder iberegnet.

RPWRG. Påkrevd kombinasjon av sendereffekt og antenneforsterkning (både Tx og Rx) i dB for å oppnå påkrevd tilgjengelighet (required reliability).

Rel. Reliability (som angitt for Metode 24).

Mprob. Sannsynligheten for at det eksisterer to moder innenfor flerbantetoleransegrensen gitt som input.

S prb. Service probability angir sannsynligheten for at påkrevd tilgjengelighet (required reliability) vil oppnås.

Sig lw. Denne parameteren (og neste) sier noe om hvor bred fordelingen er rundt gjennomsnittlig signaleffekt ved mottaker. Dette antallet dB *under* gjennomsnittsverdien angir den signaleffekten som kun 10 % av tilfellene vil befinne seg under.

Sig up. Dette antallet dB *over* gjennomsnittsverdien angir den signaleffekten som kun 10 % av tilfellene vil befinne seg over.

SNR lw. Dette antallet dB *under* gjennomsnittsverdien angir det signal/støyforholdet som kun 10 % av tilfellene vil befinne seg under.

SNR up. Dette antallet dB *over* gjennomsnittsverdien angir det signal/støyforholdet som kun 10 % av tilfellene vil befinne seg over.

Tgain. Antenneforsterkning (i dB) for senderantennen.

Rgain. Antenneforsterkning (i dB) for mottakerantennen.

SNRxx. SNR ved påkrevd pålitelighet.

DBm. Gjennomsnittlig signalstyrke ved mottaker (i dB over 1 mW)

Med disse få eksemplene vil en bruker være istand til å forstå de mest brukte resultater som ICEPAC kan gi.

5 HF MODEMERS YTELSE SAMMENLIGNET MED TALE OG TELEGRAFI

I dette kapitlet sammenlignes ytelsen til to HF modemer med en antatt ytelse for tale og telegrafi. Ved en slik sammenligning vil vi vise at moderne teknikker oppnår svært gode resultater i forhold til både tale og telegrafi.

I HF båndet blir alle frekvenser tildelt med 3 kHz båndbredde. Det vil si at det er en svært begrenset dataoverføringshastighet som kan benyttes, vanligvis ikke høyere enn 2.4 kbit/s. Ved å bruke mere avanserte, men også mindre robuste modulasjonsmetoder, kan denne hastigheten økes noe, men det er likevel et stort sprang til dataoverføringshastigheter man kan oppnå i høyere frekvensbånd.

Dersom radiokanalen degraderes ved at signal-støyforholdet (SNR) blir lavt eller at stor flerbane- og frekvens (Doppler) -spredning opptrer, er det nødvendig å redusere informasjonsmengden som overføres (dataoverføringshastigheten går ned) og istedet bruke den tildelte båndbredde på ekstra koding og beskyttelse av informasjonen. Dette gir en mer robust bølgeform til bedre å kunne takle de vanskelige kanalforholdene. I dag eksisterer det robuste bølgeformer med hastigheter ned til 75 bit/s som kan operere under forhold hvor hverken telegrafi eller tale vil kunne etablere samband.

Kanalmålinger som er gjort i nord-Norge, viser at forholdene der ofte er svært vanskelige med lav SNR og stor flerbane- og frekvensspredning. Dette skyldes partikkelnedbør og magnetiske forstyrrelser. Forskjellige bølgeformer (modemer) påvirkes forskjellig av slike forstyrrelser, noen vil kunne gi bra kommunikasjon helt ned til negative signal-støyforhold. Hverken tale eller telegrafi vil fungere ved negative signal-støyforhold. Andre igjen må ha over 10 dB SNR for å fungere tilfredsstillende, dette er da godt over støyterskelen.

Moderne, digitale HF sendere og mottakere som kjøpes idag, har ganske sikkert mulighet for valg av flere forskjellige bølgeformer med forskjellige dataoverføringshastigheter og robusthet. Vi ønsker i dette kapitlet å vise ved noen eksempler hvordan tilgjengeligheten (framkommeligheten) på et gitt sambandsstrekk under forstyrrede forhold kan øke ved å velge en annen mer robust bølgeform til å overføre data.

I analysene som blir utført senere har vi valgt å se på to modemer. Dette er STANAG 4285 (2400 bit/s) som er et mye benyttet modem i HF samband i NATO. Vi definerer dette modemmet som et ikke-robust modem siden det krever svært gode kanalforhold for å kunne overføre informasjon med en rate på 2400 bit/s. Det andre modemmet er STANAG 4415 (75 bit/s) som nylig er blitt standardisert i NATO som et robust modem. STANAG 4415 kan operere ved store flerbane- og frekvensspredninger og ved SNR godt under støyterskelen (0 dB).

Måten vi har gjort dette på, er at først er modemenes toleransegrenser for lavt SNR, stor frekvensspredning (DS) og stor flerbanespredning (MS) bestemt ved omfattende tester i laboratoriet der radiokanalen er simulert. For eksempel er toleransegrensen for flerbane-

spredning bestemt ved at denne er økt jevnt inntil bitfeilraten for det mottatte signalet stiger over en viss terskelverdi som i vårt tilfelle var ca 10^{-3} (en feil per tusen). Vi har så brukt virkelige kanalmålinger av SNR, DS og MS på et strekk i Norge og sett om disse har overskredet toleransegrensene for bølgeformene. Dersom de målte kanalverdiene har overskredet toleransegrensene, sier vi at bølgeformen (modemet) *ikke* var istand til å gi kommunikasjon på det tidspunktet målingen ble foretatt, modemmet var ikke *tilgjengelig*. Vi har tilslutt talt opp alle gangene modemmet *var* tilgjengelig i løpet av hele måleperioden, og beregnet en tilgjengelighet for modemmet. Beregningene er gjort for hver frekvens hvor det er samlet inn kanaldata.

Kanalmålingene er gjort med målesystemet DAMSON (Doppler And Multipath Sounding Network (5)), og flere resultater av denne tilgjengelighetsanalysen er gitt i (6) og (7).

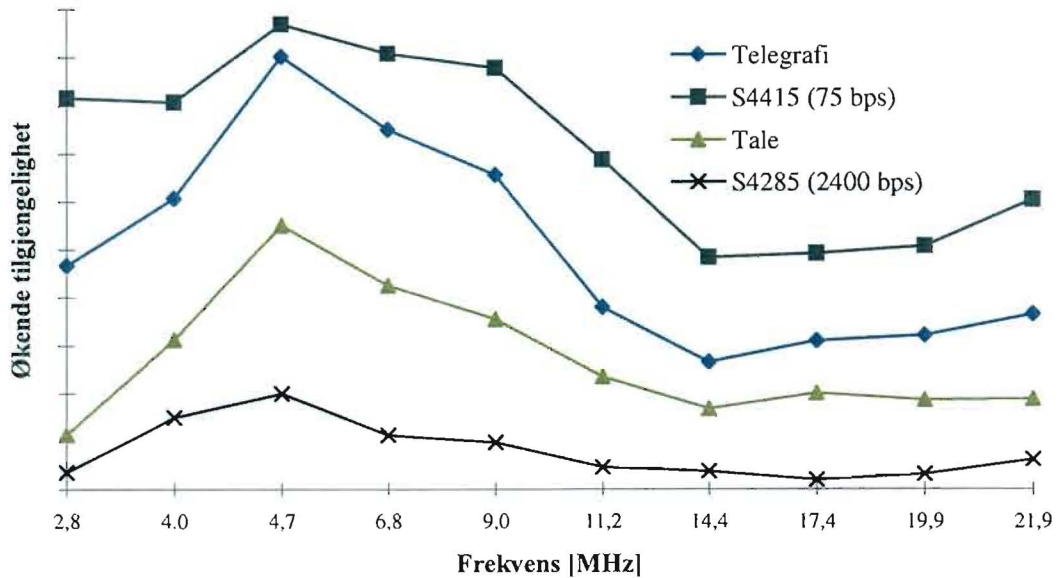
Det er ikke mulig å bestemme en bestemt bitfeilrate ved tale og telegrafi. I stedet blir forholdene tolket ved at signalet er forståelig eller ikke forståelig. Ved en slik tilnærming kan ytelsen til både tale og telegrafi sammenlignes med HF modemers beregnede ytelse.

5.1 Sambandsstrekket Harstad-Tuentangen

Dette er en nord-sør bane som vanligvis ligger syd for det forstyrrende nordlysområdet, men kan ligge delvis innenfor i perioder med kraftig nordlys. Data som er brukt for å utføre sammenligningen av modem, tale og telegrafi er tatt fra en lite forstyrret periode i desember 1995. Prediktert MUF på denne 981 km lange banen var i denne perioden 10 til 12 MHz om dagen og 4 til 6 MHz om natten.

5.2 Hva viser sammenligningene av tale, telegrafi og modemer

Kanalmålingene på denne banen er utført med stasjonært HF utstyr med en gitt sendeeffekt og en gitt antenntype. Analyseresultatene vil dermed være avhengig av disse parameterne. Det er derfor ikke lagt frem noen resultater som viser de enkelte metodenes tilgjengelighet i løpet av denne perioden, siden andre typer sendeutstyr vil resultere i forskjellig type tilgjengelighet for hver metode. Vi har i stedet valgt å vise en generell sammenligning av de tre hovedmetodene. Denne sammenligningen vil da være uavhengig av hvilket utstyr som blir benyttet.

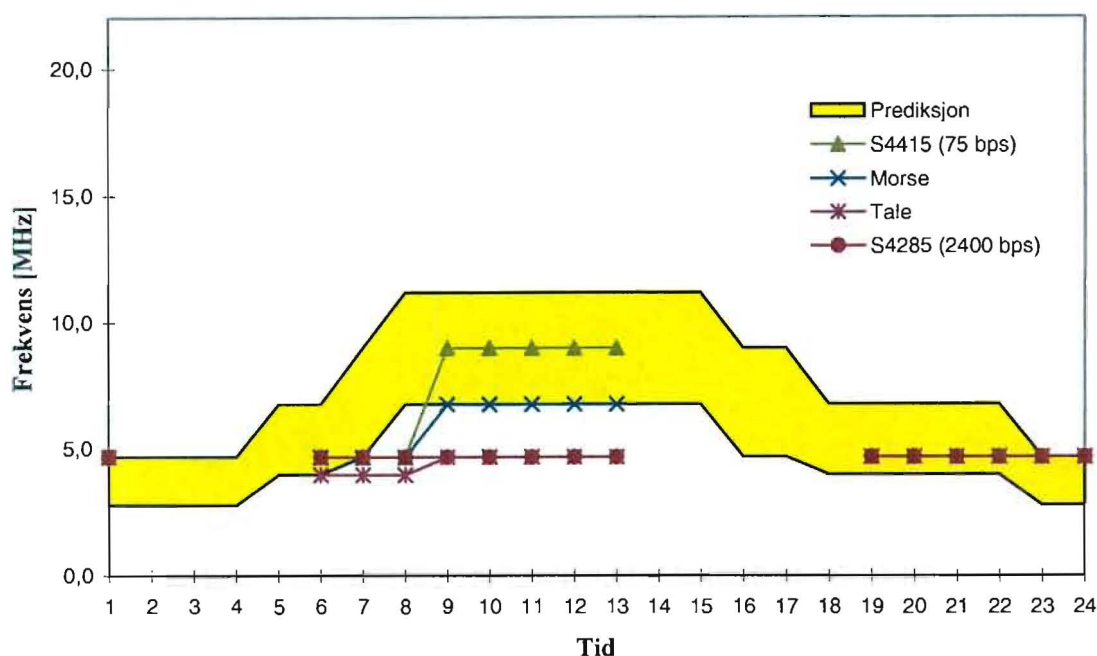


Figur 5.1 Sambandstilgjengelighet for tale, telegrafi og modemene S4285 og S4415.

Figur 5.1 viser den generelle sammenligningen mellom to modemer, tale og telegrafi. Figuren viser tydelig at det robuste modem (S4415) er den metoden som oppnår best tilgjengelighet på alle frekvenser. Telegrafi oppnår en noe dårligere tilgjengelighet, mens tale og det ikke-robuste modem ligger enda noe lavere. Det sentrale med denne figuren er rangeringen av de forskjellige metodene. Generelt vil det robuste modem være best, for å bli fulgt av telegrafi, tale og til slutt det ikke-robuste modem. I akkurat dette tilfellet er det ikke noen stor forskjell mellom det robuste modem og telegrafi. Hvis forholdene hadde vært så dårlige at telegrafi ikke førte frem, ville det robuste modem fortsatt fungere, men med en dårligere tilgjengelighet. Legg også merke til at det oppnås en god tilgjengelighet også på frekvensene som ligger over MUF predikert av ICEPAC.

5.3 Sammenligning av prediksjon og analyse

Vi vet at ICEPAC modellen gir en god beskrivelse av ionosfærens oppførsel på høyere breddegrader, men vi ønsket å se på hvordan analysene var i overensstemmelse med dette. ICEPAC predikterer frekvenspålidelighet med tallverdier, og den antatt beste frekvens gis den beste tallverdi. Analysearbeidet ble utført på alle frekvenser og gir hver frekvens en verdi som viser hvor ofte samband ble opprettet med en bestemt bitfeilrate. Dette kan sees på som pålidelighet. I figur 5.2 er prediksjoner og analyser sammenlignet. X-aksen viser timene fra midnatt, mens y-aksen representerer frekvensområdet. ICEPAC prediksjonen viser at de antatt beste frekvensene for samband på dette strekket ligger i det gule området. De markerte linjene i samme figur viser den beste frekvensen for henholdsvis, tale, morse og modemene STANAG4415 (75 bit/s) og STANAG4285 (2400 bit/s) for den gitte analyseperiode.



Figur 5.2 Predikert frekvensområde og beste frekvens for hver metode.

Figur 5.2 viser at prediksjoner og analyser er i god overenstemmelse. Det må likevel tas hensyn til at prediksjonsmetodene er generaliserte for årstider og geografiske områder, samt at dataene som ligger til grunn for analysearbeidet er fra en kort, lite forstyrret periode.

5.4 Oppsummering

Modemanalyser er utført på flere baner på høye breddegrader (6). Dette er baner mellom Isfjord radio på Svalbard, Harstad, Lillestrøm og Kiruna som varierer mellom lange (2000km) og korte (180km) sambandsstrek. Resultatene fra disse analysene viser at spesielt det robuste modemmet oppnår svært gode resultater. I de tilfellene hvor modemene ikke oppnår samband er den viktigste årsaken dårlig signal-støyforhold. Frekvens- og flerbane-spredning innvirker lite på det robuste modemmet, mens det ikke-robuste er adskillig mer følsom for denne type signaldegradasjon.

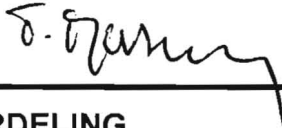
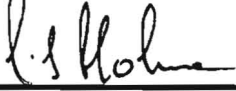
Rapporten så også på en situasjon hvor modemene fritt kunne disponere 10 frekvenser i hele HF båndet for å forsøke å oppnå en forbedring i sambandstilgjengeligheten. Dette ble gjennomført ved at ICEPAC rangerte frekvensene etter pålitelighet, og så ble denne rangeringen benyttet i analysearbeidet. Resultatene viste at ICEPAC ga en svært god rangering av frekvenser samt at modemene oppnådde en klar forbedring i sambandstilgjengelighet ved å veksle mellom de tilgjengelige frekvensene. Automatiske HF systemer benytter i dag et slikt prinsipp for å oppnå forbedret sambandstilgjengelighet.

Litteratur

- (1) CCIR (1986d): CCIR recommendation 368-5: Groundwave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz, *Recommendations and reports of the CCIR, 1986; Volume VI: Propagation in ionized media*, ITU, Geneva.
- (2) Brøms M (1992): Results from measurements of occupancy in Sweden, *Nordic Shortwave Conference, Conference Proceedings*, Fårø, Sverige, s. 311-316.
- (3) Teters L R, J L Lloyd, G W Haydon, D L Lucas (1983): Estimating the performance of telecommunication systems using the ionospheric transmission channel, *NTIA Rep., 83-127*, National Telecommunications and Information Administration, Boulder, Colorado.
- (4) Thingvold K E, E V Thrane (1984): Frekvensvarsling for radiosamband i høyfrekvensbåndet. En orientering for brukerne, *FFI/Rapport-84/7032*.
- (5) Angling M J, P S Cannon, N C Davies, T J Willink, V Jodalen, B Lundborg (1998): Measurements of Doppler and multipath spread on oblique high-latitude HF paths and their use in characterizing data modem performance, *Radio Science*, Volume 33, Number 1, s. 97-107.
- (6) Bergsvik T (1998): Evaluering av HF-modemer og flerfrekvenssystemer basert på kanalmålinger på høye breddegrader, *FFI/Rapport-98/04983*
- (7) Jodalen V, T Bergsvik (1998): The high latitude performance and availabilities of robust and non-robust modems using multiple frequencies, *Nordic Shortwave Conference, Conference Proceedings*, Fårø, Sverige.

FORDELINGSLISTE

FFIE Dato: 11 desember 1998

RAPPORT TYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR	REFERANSE	RAPPORTENS DATO
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	RR	98/05322	FFIE/742/110	11 desember 1998
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD			ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER
UGRADERT			90	40
RAPPORTENS TITTEL			FORFATTER(E)	
HF BØLGEUTBREDELSE BASISKUNNSKAP, SAMT KORT BRUKERVEILEDNING TIL PREDIKSJONSPROGRAMMET ICEPAC			JODALEN Vivianne, BERGSVIK Torgeir	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:			FORDELING GODKJENT AV ADM DIREKTØR:	
				

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Forsvarets overkommando/ Hærstaben	14		FFI-Bibl
			1		Adm direktør/stabssjef
			1		FFIE
1		Forsvarets overkommando/ Sjøforsvarsstaben	1		FFISYS
			1		FFITOX
			1		FFIU
1		Forsvarets overkommando/ Luftforsvarsstaben	1		FFIVM
			1		Torleiv Maseng, FFIE
			1		Anton B Leere, FFIE
1		Forsvarets overkommando/ Heimevernsstaben	1		Bjørn Skeie, FFIE
			1		Bodil Hvesser Farsund, FFIE
			1		Frode Lillevold, FFIE
1		Forsvarets overkommando/ Etterretningsstaben	1		Geir Hallingstad, FFIE
			1		Jostein Sander, FFIE
			1		Ove K Grønnerud, FFIE
1		Forsvarets overkommando/ Informatikkstaben	1		Snorre Prytz, FFIE
			1		Svein Haavik, FFIE
			1		Vegard Arneson, FFIE
1		Forsvarets overkommando/ Sikkerhetsstaben	1		Bjørn Jacobsen, FFIE
			1		Vivianne Jodalen, FFIE
			1		Torgeir Bergsvik, FFIE
1		Forsvarskommando Nord-Norge/ Sambandsstaben	1		Eivind Thrane, FFIE
			1		Tom A Blix, FFIE
			1		Ulf-P Hoppe, FFIE
1		Sjøforsvarets forsyningskommando	1		Torkild Eriksen, FFIE
			1		Nils A Sæthermoen, FFIE
1		Hærens forsyningskommando	1		Oddbjørn Grøtta, FFIS
			5		Arkiv, FFIE
1		Luftforsvarets forsyningskommando			

FFI-K1 Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Forsvarets stabsskole/Hæravdelingen			
1		Sambandsinspektøren			
1		Infanteriinspektøren			
1		Artilleriinspektøren			
1		Stedfortredende artilleriinspektør/ Luftvern			
1		Kavaleriinspektøren			
1		Ingeniørinspektøren			
1		Treninspektøren			
1		Assisterende treninspektør/HVK			
1		Sanitetsinspektøren			
1		Heimevernsskolen Dombås			
1		SBTR/STKP/TMBN Postboks 55 3645 Heistadmoen			
1		Luftfartsverket Bodø ATCC/HF Postboks 814 8001 Bodø			
1		Roland Åstrand Marka 8650 Mosjøen			
1		NRRL Postboks 20 Haugenstua 0915 Oslo			
1		Sambandstroppen Kp2 HMKG Postboks 7, Røa 0701 Oslo			
1		FO/SST			
1		v/OK Lars Ellingsen			

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Sambandsavd DKN			
1		v/radiooffiser Postboks 60 9401 Harstad			
1		Distriktskommando Østlandet/ sambandsavdelingen			
1		v/radiooffiser Postboks 4024 Postterminalen 2301 Hamar			
1		Forsvarets Tele- og Datatjeneste			
1		Sør Trøndelag HV-12			
1		v/Dag Inge Hagerup Trondheim Mil 7004 Trondheim			
1		Hærens jegerkommando			
1		v/sambandsoffiser 2451 Rena			
1		Marinejegerkommando ROS 9442 Ramsund			
1		EST tropp/EKKP Postboks 232 9250 Bardu			
1		KNM Tordenskjold			
1		v/Finn Norstad			
1		Våpenskolen for Hærens samband			
1		v/Oblt Geir Høiland			
1		Sambandsoffiseren Oppklesk/N Postboks 16 9250 Bardu			