

FFIE/742/110

Godkjent  
Kjeller 22 mai 2000



Torleiv Maseng  
Forskningssjef

**YTELSEN AV STANDARD HF-MODEMER PÅ  
NORSKE BREDDEGRADER**

JODALEN Vivianne

FFI/RAPPORT-2000/02687

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

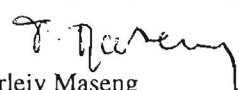


FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)  
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25  
NO-2027 KJELLER, NORWAY  
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE  
(when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2000/02687	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 27
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/742/110	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE YTELSEN AV STANDARD HF-MODEMER PÅ NORSKE BREDDEGRADER  The performance of HF modems on high latitude paths		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JODALEN Vivianne		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:		
a) <u>HF communications</u>		IN NORWEGIAN:
b) <u>Modem performance</u>		a) <u>HF kommunikasjon</u>
c) <u>DAMSON</u>		b) <u>Modemytelse</u>
d) <u>STANAG 4285</u>		c) <u>DAMSON</u>
e) <u>Channel availability</u>		d) <u>STANAG 4285</u>
		e) <u>kanaltilgjengelighet</u>
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT The high latitude HF channel has been measured and characterised in terms of Doppler spread, delay spread and signal-to-noise ratio. The performance of data modems has been determined over a comprehensive range of simulated channel conditions. A comparison is made between the channel measurements and the modem characterisations, and modem availabilities during the measured channel conditions are determined. Two 75 bps modems (compliant with STANAG 4415 and STANAG 4285), a 2400 bps modem (compliant with STANAG 2400 bps), Morse and Voice have been selected for analysis. The two 75 bps modems show 60-75% higher availability than the 2400 bps modem on the measured paths. The 2400 bps modem is degraded in performance during a geomagnetic disturbance whereas the 75 bps modems maintains approximately the same performance level. The paper also addresses the number of frequencies required for a HF circuit to achieve maximum communications availability. For the 75 bps modems, one frequency is required except for geomagnetically disturbed periods where four frequencies are needed. For the 2400 bps modem, 3-4 frequencies are needed on a 200 km path and 4-6 frequencies on a 2000 km path.		
9) DATE 22 May 2000	AUTHORIZED BY This page only  Torleiv Maseng	POSITION Director of Research

UNCLASSIFIED

ISBN 82-464-0425-3

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE  
(when data entered)



**INNHOOLD**

	<b>Side</b>	
1	INTRODUKSJON	7
2	DAMSON MÅLINGER	8
2.1	Målestrekninger og frekvenser	8
2.2	Utstyr og bølgeformer	9
2.3	Målte parametere	9
3	MODEMYTELSE MÅLT OVER KANALSIMULATOR	10
4	METODE FOR Å BEREGNE MODEMTILGJENGELIGHET	10
5	METODE FOR Å BEREGNE ANTALL NØDVENDIG FREKVENSER	11
6	UTVALGTE TIDSPERIODER AV KANALDATA	12
7	RESULTATER - MODEMTILGJENGELIGHET	13
8	RESULTATER - ANTALL NØDVENDIGE FREKVENSER	20
9	VARIGHETEN AV GODE KANALFORHOLD	23
10	KONKLUSJON	23
Litteratur		24
	Fordelingsliste	26



## YTELSEN AV STANDARD HF-MODEMER PÅ NORSKE BREDDEGRADER

### 1 INTRODUKSJON

På våre breddegrader mellom 55° og 70° N opplever brukere av HF-båndet helt andre og dårligere kanalforhold enn brukere i mellom- og sør-Europa. De nordligste deler av Norge beveger seg inn og ut av nordlys-ovalen i løpet av et døgn, og graden av dekning av nordlysovalen over Norge avhenger av geomagnetiske forhold. En sjelden gang kan nordlysovalen dekke hele Norge og nordlys kan observeres også i sør-Norge. Ionosfæren som reflekterer HF signalene, kan være forstyrret av ekstra ladningstetthet og store hastigheter som gir andre, og vanskeligere kanalforhold enn ved en uforstyrret ionosfære.

FFI har på hele 90-tallet deltatt i internasjonalt samarbeid for å kartlegge kanalforholdene på HF på høye breddegrader. I samarbeid med Defence Evaluation and Research Agency (DERA) i England, Communication Research Centre i Canada og Försvarets forskningsanstalt (FOA) i Sverige har kanalmåleprosjektet DAMSON (Doppler and Multipath SOunding Network) pågått siden 1995, og en stor database av kanalmålinger (antagelig den største på høye breddegrader) er etablert. Databasen dekker frekvenser fra 2 til 21 MHz, døgnvariasjoner, sesongvariasjoner og en halv solflekssyklus. En teknisk beskrivelse av DAMSON-utstyret og måleteknikken finnes i *Davies and Cannon, [1993]*. Data-analysen fra prosjektet har resultert i flere publikasjoner, blant andre: *Willink and Landry [1997]* analyserer spesielt kanalparametre m.h.p. tidsvariasjoner. I *Angling and Cannon [1996]*, *Angling et al, [1998]* og *Willink et al [1999]* gis statistiske beskrivelser av HF-kanalen, samt en kort evaluering av hvordan HF modemer vil fungere under de målte kanalforhold. *Bergsvik [1998]* har etablert en grundigere metode for analyse av det sistnevnte, og den herværende rapport er en oppfølging av denne.

Tradisjonelt har prediksjonsprogrammer for HF, f.eks ICEPAC [*Hand, 1997*], blitt brukt for å forutsi framkommeligheten på forskjellige kommunikasjonsavstander og frekvenser. Prediksjonene bygger på ionosfæremodeller, modeller av radiobølgeutbredelsen og målinger [*Jodalen og Bergsvik, 1998*]. Prediksjonsprogrammet kan bl.a. gi som resultat sannsynligheten for å komme fram på en frekvens, gitt at radiomottakeren trenger et visst signal-støyforhold for å kunne demodulere signalet. Programmet inneholder ingen modell for flerbanner og fading, og ingen spesifisering av det aktuelle modemets evne til å håndtere disse gis som input til programmet. Dersom kanalen er befengt med flerbanner og fading og man skal benytte en bølgeform som ikke er robust mot dette, så kan prediksjonen gi et galt bilde av sannsynligheten for å komme fram. Det er også kjent at de mest brukte prediksjonsprogrammer gir en dårligere prediksjon på høye breddegrader enn på lavere breddegrader fordi ionosfæremodellene ikke er gode nok.

I denne rapporten ønsker vi å gi et bedre estimat enn det en prediksjon kan gi, for hvor godt aktuelle standardiserte HF modemer (bølgeformer) fungerer på nordlige breddegrader. De utvalgte modemene er STANAG 4285 (2400 bps), STANAG 4285 (75 bps), STANAG 4415 (75 bps), tale og morse. Vi ønsker også å si noe om hvor mange frekvenser det er nødvendig å

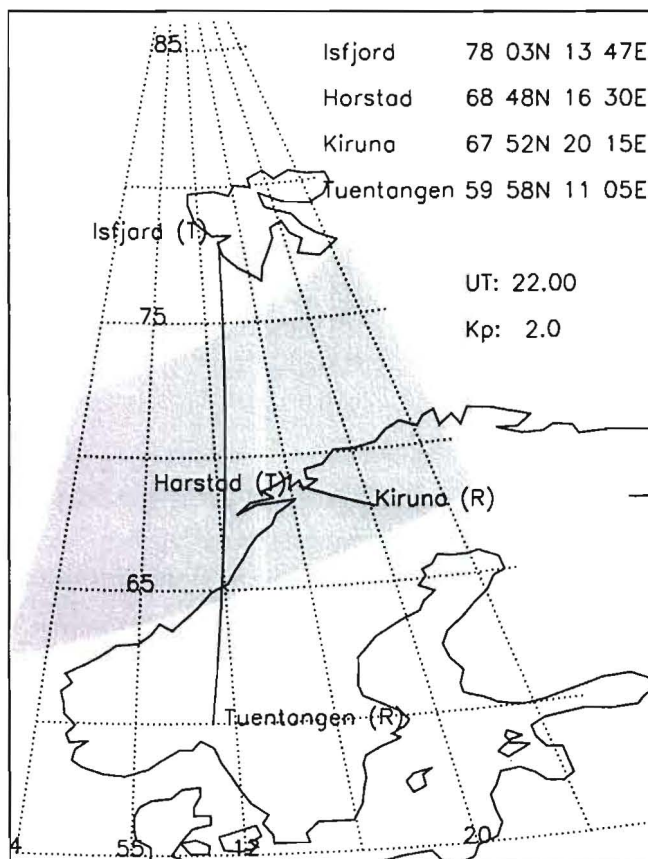
ha tilgjengelig over en gitt strekning for å oppnå maksimal kommunikasjonstid. Metoden brukt i analysen er beskrevet i kapitlene 2-6, og resultater og konklusjon er gitt i kapitlene 7-10.

## 2 DAMSON MÅLINGER

### 2.1 Målestrekninger og frekvenser

Senderne i Harstad og på Isfjord Radio og mottakerne i Kiruna og på Tuentangen er vist i Figur 1. Kartet viser også nordlysovalens utstrekning kl 22 UT og ved en liten geomagnetisk forstyrrelse,  $K_p=2$ . Kun de to strekningene som vi benytter data fra i denne rapporten er vist som rette linjer i figuren. Isfjord-Tuentangen er 2019 km lang i nord-sør retning og er representativ for kommunikasjonsstrekninger i Sjøforsvaret. Harstad-Kiruna er 194 km i øst-vest retning og er en typisk avstand det kommuniseres over i Hæren.

DAMSON-målingene foregikk automatisk 24 timer i døgnet. I løpet av en 10 minutters syklus ble kanal-informasjon lagret på 10 forskjellige frekvenser (2.8, 3.9, 4.7, 6.8, 9.0, 11.2, 14.4, 17.4, 19.9, 21.9 MHz). For tidsperiodene av data brukt i denne analysen, lyttet mottakerne i annenhver 10-minutters periode på samme sender, dvs. at for hver frekvens og strekning ble det i løpet av en time lagret tre kanalmålinger.



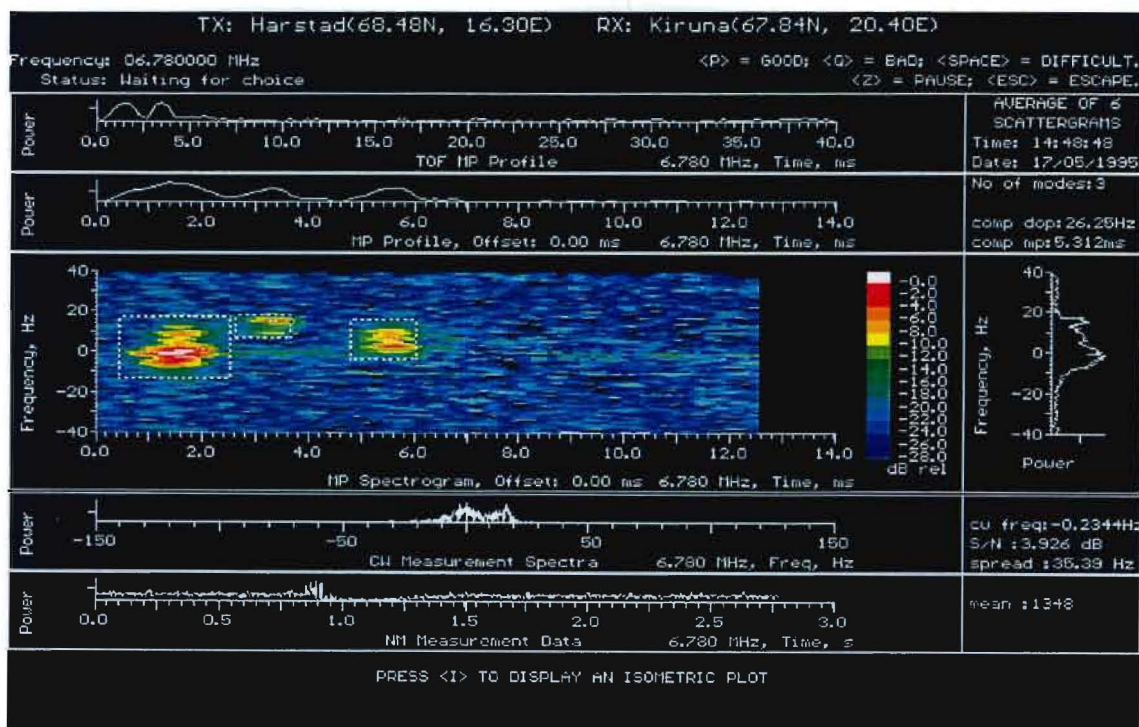
Figur 1. Kart over sendere og mottakere i DAMSON. Nordlysovalens plassering kl 22 UT og ved  $K_p=2$  er også vist i figuren.



## 2.2 Utstyr og bølgeformer

Kjernen i DAMSON senderen og mottakeren er en PC med integrert DSP-kort og GPS-kort. GPS sørger for nøyaktig tidssynkronisering mellom sender og mottaker slik at tidsforsinkelser av signaler kan måles. Frekvensoscillatorene i radioenhetene ble sjekket regelmessig for drift. Senderantennen på Isfjord er en horisontal rhombe rettet sørover, senderantennen i Harstad er en horisontal, bredbånds dipol rettet 191° øst for nord, mottakerantennen på Tuentangen er en hellende V rettet nordover og mottakerantennen i Kiruna er en hellende dipol i nord-sør retning. Sendereffekten er 250 W.

DAMSON er en skrått innfallende kanalsounder som sender ut flere bølgeformer på en frekvens, alle innenfor en båndbredde på 3 kHz. Den viktigste bølgeformen, kalt Doppler-delay bølgeformen og som vi benytter data fra her, er en 13-bits Barker-sekvens som sendes ut 128 ganger og med et repetisjonsintervall på 12.5 ms. Chipraten er 2.4 kbit/s. Denne bølgeformen gjentas 6 ganger og midles i mottakeren. I mottakeren blir komplekse impulsresponser målt, Fourier transformert og en spreddefunksjon (scattering function) blir beregnet. Fargebildet i Figur 2 er et eksempel på en spreddefunksjon. Den viser hvordan signaleffekten er redistribuert i tid og frekvens som funksjon av kanalen. Maksimum tidsspredning av signalet som kunne måles var 12.5 ms, og maksimum frekvensspredning var 80 Hz.



Figur 2. DAMSON signal ved mottaker. Spreddefunksjonen (scattering function) som er fargebildet i midten, viser tre moder med forskjellig tidsforsinkelse, frekvens (Doppler)spredning på vertikal akse og tidsspredning på horisontal akse.

## 2.3 Målte parametere

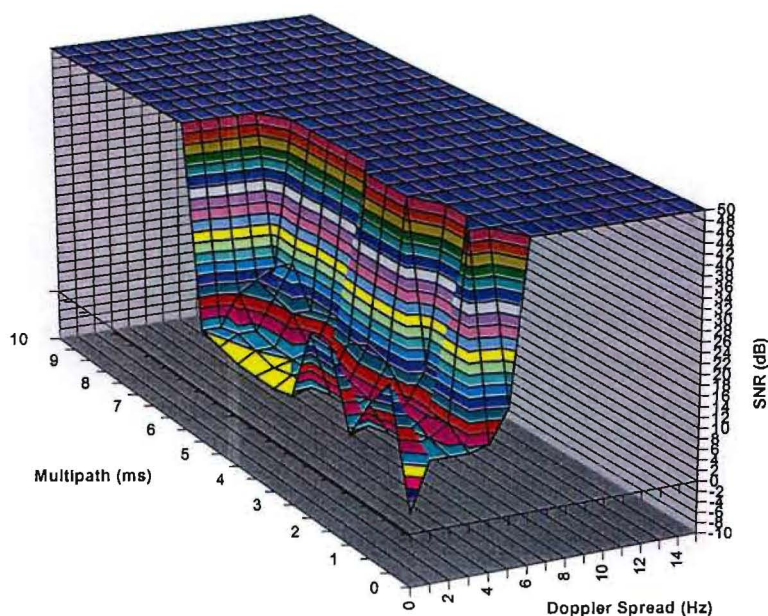
Ut fra spreddefunksjonen blir de tre kanalparameterne Doppler spredning (DS), flerbanespredning (MS) og signal-støy-forhold (SNR) beregnet. Doppler spredning (samme som

frekvensspredning og fading) er et uttrykk for hvor raskt kanalen beveger seg, og den beregnes ved å summere alle signal-modene på frekvensaksen, anta et Gaussisk frekvensspekter og beregne  $2\sigma$ . Flerbanespredning er et uttrykk for at signalbanene ankommer mottaker til forskjellig tid, og den blir beregnet som forskjellen i tid mellom først ankommende mode og sist ankommende mode. Signal-støyforholdet er den målte signal-effekten til alle modene relativt til bakgrunnsstøyen i en 3 kHz kanal.

Vi betrakter her en DAMSON kanal-måling som et punkt i et 3-dimensjonalt rom der de tre koordinatene er signal-støy forhold, Doppler spredning og flerbanespredning (SNR, DS, MS). Punktet beskriver kanaltilstanden på det aktuelle måletidspunktet.

### 3 MODEMYTELSENER MÅLT OVER KANALSIMULATOR

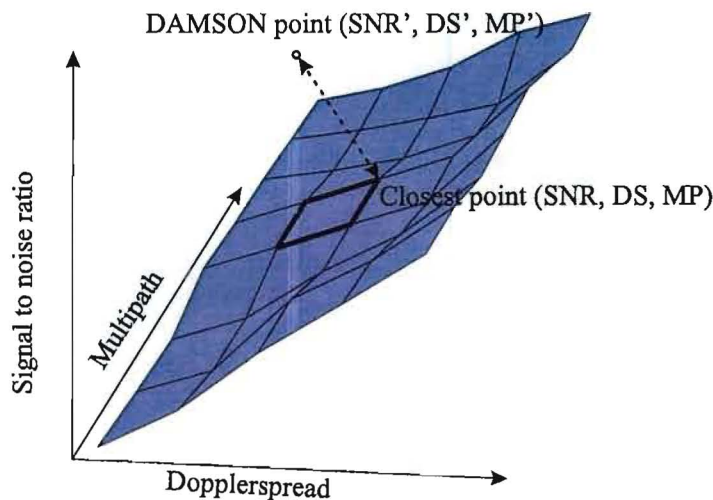
En kanalsimulator blir ofte benyttet til å teste modemer under variable kanalforhold. Man finner da hvilket signal-støyforhold (SNR) som kreves for å gi en viss akseptabel bitfeilrate (BER), f.eks  $10^{-3}$ . *Arthur and Maundrell [1997]* har gjennomført en rekke tester av forskjellige modemer med et fast, automatisk oppsett av en kanalsimulator, slik at alle modemene har blitt testet under de samme kanalforhold. Flerbanespredningen (MS) ble satt fast til verdier mellom 0 og 40 ms, Dopplerspredningen (DS) til verdier mellom 0 og 40 Hz, og SNR ble økt for hver kombinasjon av DS og MS inntil BER lå i området  $5 \cdot 10^{-3}$  til  $2 \cdot 10^{-4}$ . Hvis denne BER aldri ble oppnådd uansett økning i SNR, så betyr det at modemet ikke fungerer ved denne kanalsituasjonen, og SNR ble satt til 60 dB. Et slikt sett med simuleringer for et modem resulterte i et sett med punkter i et 3-dimensjonalt rom, der koordinatene er SNR, DS og MS. En slik "ytelsesflate" for en gitt BER er gitt i Figur 3.



Figur 3. "Ytelsesflate" for STANAG 4285, 2400 bps. BER =  $5 \cdot 10^{-3}$  til  $2 \cdot 10^{-4}$ .

#### 4 METODE FOR Å BEREGNE MODEMTILGJENGELIGHET

Modemytelsen i kapittel 3 beskriver modemmet, men ikke hvor tilgjengelig kommunikasjonen med modemmet vil være over en virkelig banestrekning. For å si noe om det, må man kjenne statistikken av kanalparameterne over den gitte banestrekningen. Vi har her sammenlignet kanalparameterne målt med DAMSON (SNR', DS', MS') med modemytelsesflaten (SNR, DS, MS) og talt opp antall ganger målepunktet ligger over ytelsesflaten. Hvis målepunktet ligger over ytelsesflaten så betyr det at modemmet vil fungere under de målte kanalforhold. Det prosentvise antallet av målepunkter som ligger over flaten for en gitt tidsperiode, kaller vi for tilgjengeligheten (availability) av modemmet. Metoden er illustrert i Figur 4. Vi har kun brukt målepunkter der DAMSON har klart å registrere et signal, så de tilfeller der ionosfæren ikke har reflektert signalet eller at interferens eller absorpsjon har ødelagt signalet, er ikke med i statistikken for tilgjengelighet. Tilgjengeligheten uttrykker dermed bare modemets evne til å takle den eksisterende Doppler/flerbanespredning og SNR på kanalen, ikke hvor stor prosentdel av tiden modemmet vil fungere.

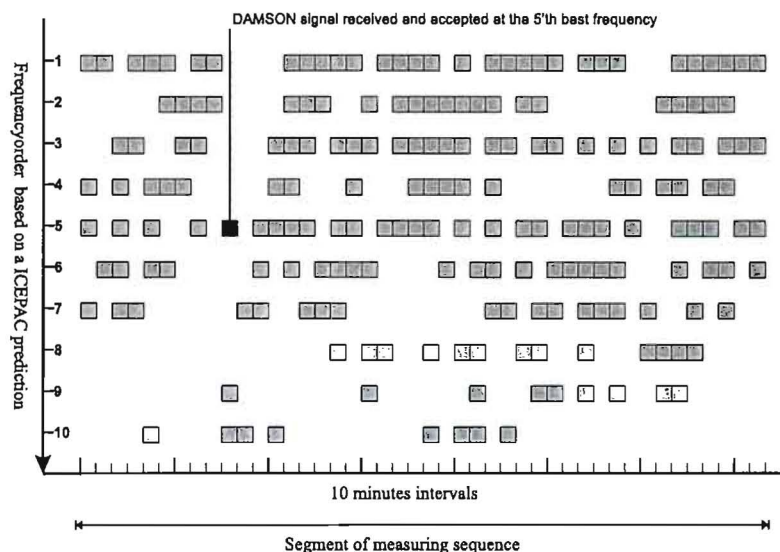


Figur 4. Metode for å sammenligne en kanalmåling (SNR', DS', MS') med simulert ytelse til et modem (SNR, DS, MS).

#### 5 METODE FOR Å BEREGNE ANTALL NØDVENDIG FREKVENSER

HF-brukere får tildelt et visst antall frekvenser som de kan bruke, ofte kanskje bare en dagfrekvens og en nattfrekvens. Det er klart at hvis antall tildelte frekvenser hadde økt og man aktivt skiftet mellom disse, så vil tiden man oppnår kommunikasjon øke. Men kommunikasjonstiden vil neppe øke proporsjonalt med antall frekvenser, og det er grunn til å tro at utover et visst antall frekvenser, vil det være lite å vinne på å ha enda flere frekvenser tilgjengelig. Vi ønsket å finne dette optimale antallet frekvenser ved å se på tilgjengeligheten av de 10 DAMSON frekvensene innafor samme 10 minutters intervall. Først laget vi en rangering av de 10 frekvensene basert på en ICEPAC prediksjon. Så antok vi at vi hadde én frekvens tilgjengelig; den beste frekvensen i henhold til prediksjonen. Vi talte så antall ganger i tidsperioden at denne frekvensen var registrert som mottatt signal i DAMSON og på samme tid

at målepunktet lå over ytelsesflaten beskrevet i kapittel 3. Den beregnede sanne tilgjengeligheten (overall availability) i prosent inkluderer altså måletidspunkter der DAMSON ikke har klart å registrere noe signal. Den uttrykker dermed prosentdelen av tiden som modemmet vil fungere. Vi valgte så de to beste frekvensene basert på ICEPAC prediksjonen og talte opp antall ganger én av dem eller begge hadde gitt kommunikasjon. Den samme prosedyren gjentok vi for tre, fire og opp til alle ti frekvensene. Metoden er illustrert i Figur 5. Det antallet frekvenser som gjør at kurven flater ut, er det optimale antall frekvenser som en bruker trenger for det gitte modemmet, strekningen og tidsperioden.



Figur 5. Metode for å finne det nødvendige antall frekvenser.

## 6 UTVALGTE TIDSPERIODER AV KANALDATA

Vi har valgt ut tre tidsperioder med samtidige måledata på strekningen Harstad-Kiruna og Isfjord-Tuentangen; en sommerperiode, en vinterperiode og en geomagnetisk forstyrret periode i august/september. Periodene rundt sommer og vintersolverv vil vise ytterpunktene i årstidsvariasjonen. Detaljene for de valgte periodene er gitt i Tabell 1. Lokal K-indeks målt i Kiruna gir et uttrykk for nivået av geomagnetisk forstyrrelse på en skala fra 0-9. Solflekketallet (SSN) er et uttrykk for aktiviteten på sola, og for de valgte periodene er tallet stigende, men under halvparten av maksimum.

I hver tidsperiode har vi valgt ut en dagperiode rundt lokal middag (9-13 UT) og en nattperiode rundt geomagnetisk lokal midnatt (19-01 UT). Siden ionosfæren og dermed kanalforholdene viser en døgnlig variasjon, så forventer vi at de valgte tidsperiodene viser ytterpunktene i denne. Maksimum antall mulige målinger per døgn er 12 for dagperioden og 18 for nattperioden.

Season	Dates (some days are missing within each period)	Number of days		average K-index (in Kiruna)	smoothed SSN
		I - T	H - K		
Winter	2/12/97 - 17/1, 1998	25	24	0-1 *	39-44
Summer	11/6 - 8/7, 1998	26	28	2-3	60-65
Disturbed	26/8 - 3/9, 1998	9	9	5	65-70

Tabell 1. Tidsperioder analysert. (\*Fem moderat forstyrrede dager med K lik 3-4.)

## 7 RESULTATER - MODEM TILGJENGELIGHET

De fem utvalgte bølgeformene (modemene) har forskjellige datarater og forskjellig robusthet mot Doppler og tidsspredning på kanalen. Jo høyere datarate, jo mindre er robustheten mot en dårlig kanal. Figurene 6-8 viser modemtilgjengelighet i prosent for de fem modemene på strekningen Isfjord-Tuentangen for henholdsvis vinter, sommer og en geomagnetisk forstyrret periode. Figurene 9-11 viser det samme for strekningen Harstad-Kiruna. Det totale antallet kanalmålinger (100%) på hver frekvens er gitt over søylene for dag og natt i ett av plottene for hver figur. Resultatene må vurderes på grunnlag av dette, for eksempel så finnes det tilfeller der bare én kanalmåling er registrert og en modemtilgjengelighet på 100% er beregnet.

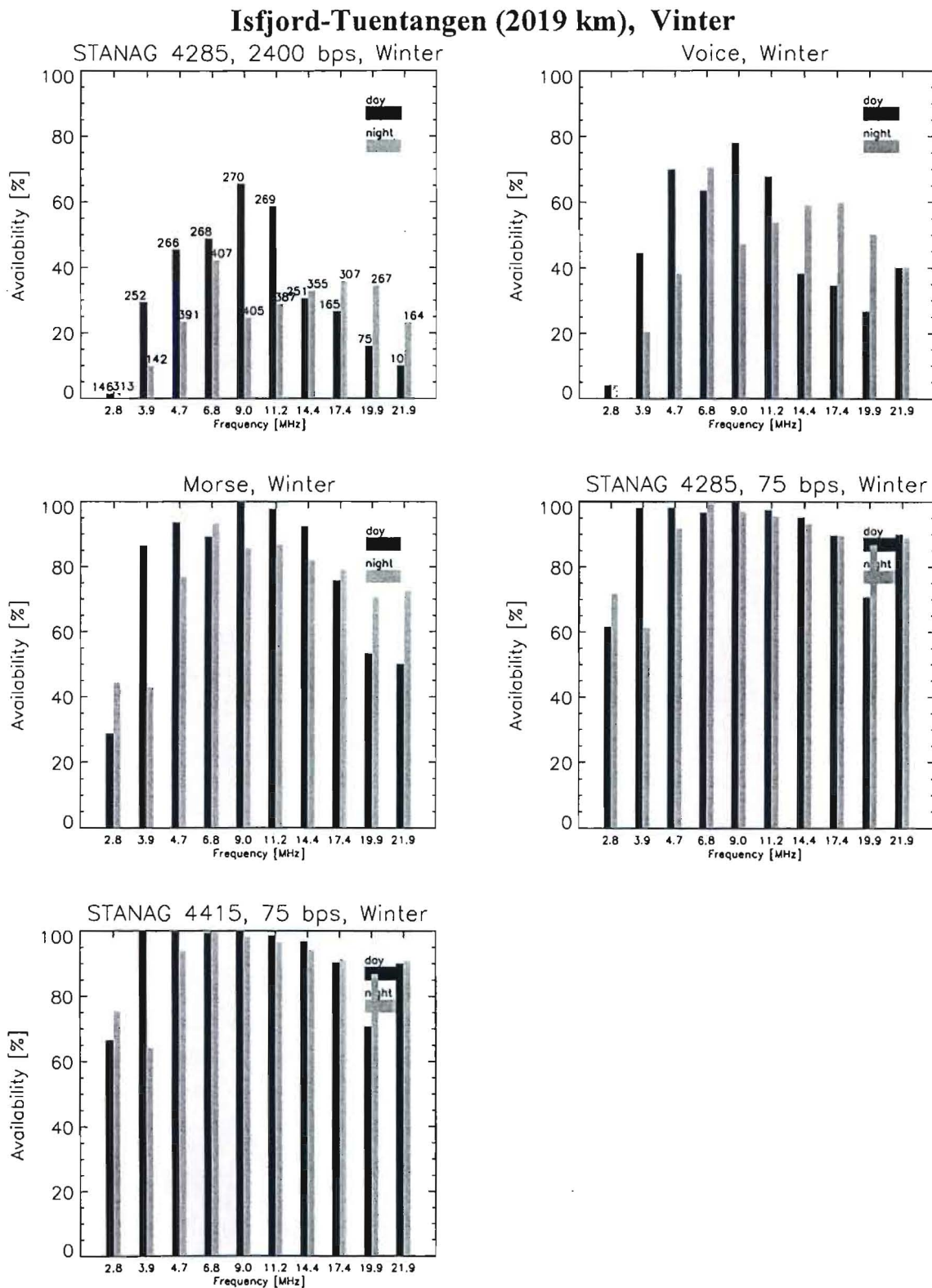
På strekningen Isfjord-Tuentangen (2019 km) kan det observeres følgende:

- STANAG 4285, 2400 bps, har den laveste tilgjengeligheten av de utvalgte modemene mens STANAG 4285, 75 bps, og STANAG 4415, 75 bps, har den høyeste tilgjengeligheten. Forskjellen i tilgjengelighet mellom høyhastighetsmodemet og lavhastighetsmodemene er på 60-70% for de fleste frekvenser.
- Det er ingen forskjell i tilgjengelighet for STANAG 4285 og STANAG 4415 (begge 75 bps) for denne banen, selv ikke for den geomagnetisk forstyrrede perioden.
- De to andre modemene, morse og tale, ligger mellom de ovenfornevnte modemene i tilgjengelighet, med morse som den mest robuste av de to.
- De tre utvalgte periodene er ganske like bortsett ifra:
  - om sommeren er det sterk absorpsjon av frekvenser under 6.8 MHz, spesielt om dagen. Resultatet er liten framkommelighet på disse frekvenser, selv med et robust modem.
  - De robuste modemene har like god tilgjengelighet under den forstyrrede perioden som i de andre to periodene, men STANAG 4285, 2400 bps, viser degradasjon i den forstyrrede perioden.

På strekningen Harstad-Kiruna (194 km) ser vi følgende:

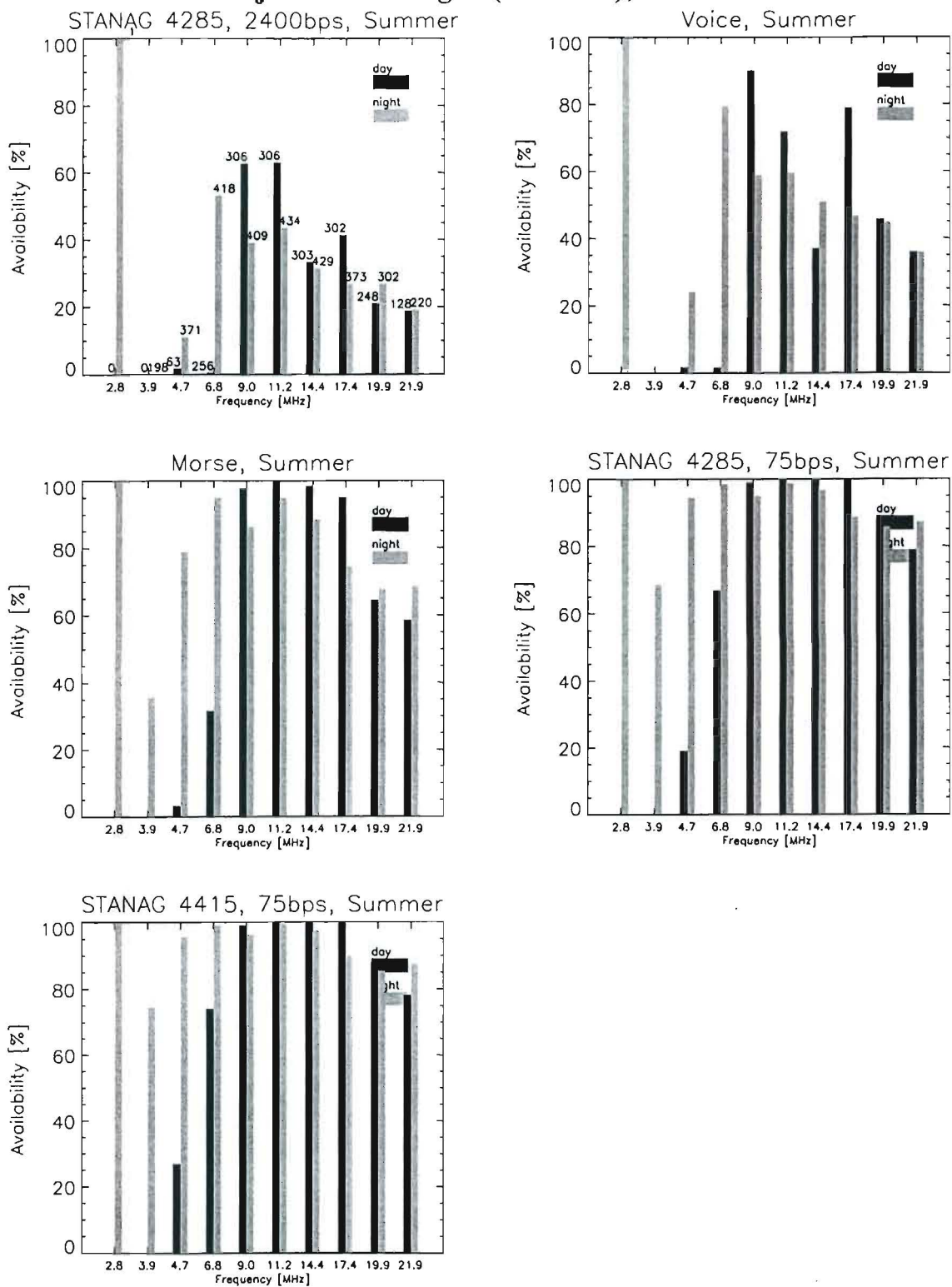
- For frekvenser under MUF har STANAG 4285 (75 bps) og STANAG 4415 (75 bps) rundt 75% større tilgjengelighet enn STANAG 4285 (2400 bps).
- De to robuste 75 bps modemene muliggjør kommunikasjon på frekvenser langt over den predikerte MUF som er 4-6 MHz for nattperioden og 8-10 MHz for dagperioden.
- Tilgjengeligheten på frekvenser over 6.8 MHz er dårligere for sommerperioden og den forstyrrede perioden enn den er for vinterperioden. Dette gjelder spesielt på dagtid.

- På frekvenser over 6.8 MHz er tilgjengeligheten litt større for det mest robuste modemet, STANAG 4415, enn den er for STANAG 4285, 75 bps. Dette gjelder spesielt for sommerperioden og den forstyrrede perioden.



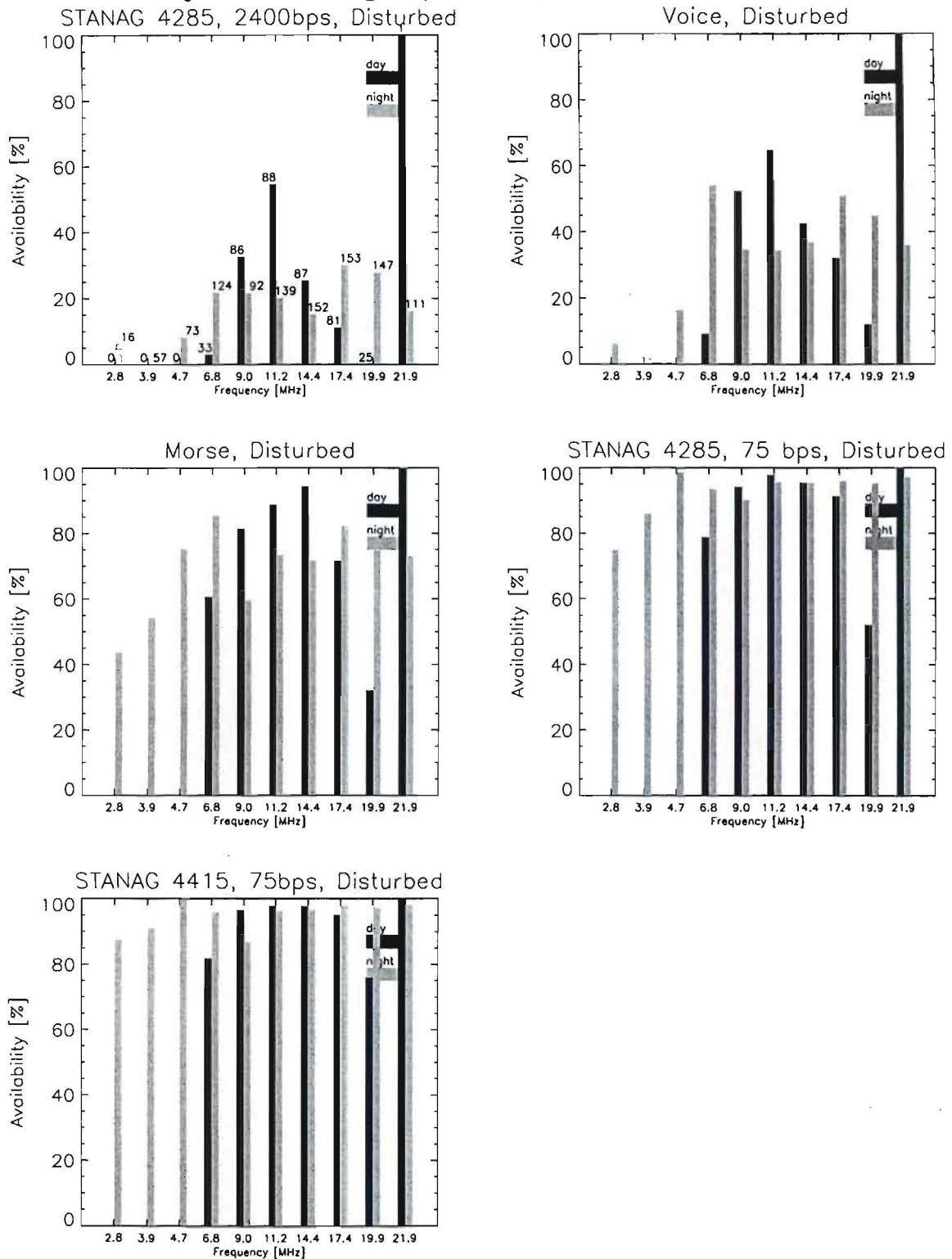
Figur 6. Modemtilgjengelighet på Isfjord-Tuentangen, vinter.

## Isfjord-Tuentangen (2019 km), Sommer



Figur 7. Modemtilgjengelighet på Isfjord-Tuentangen, sommer.

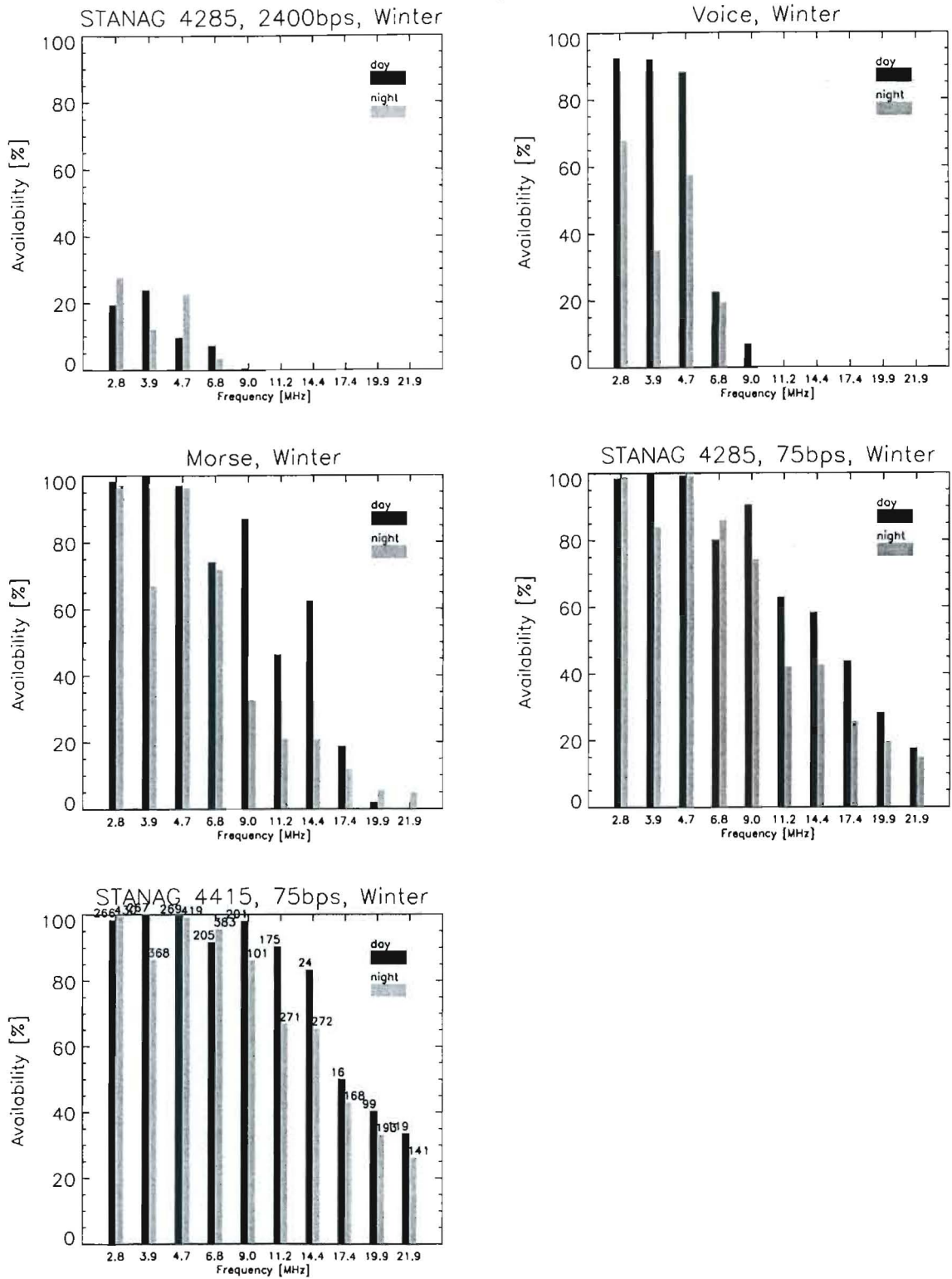
## Isfjord-Tuentangen (2019 km), Forstyrret periode



Figur 8. Modemtilgjengelighet på Isfjord-Tuentangen, geomagnetisk forstyrret periode.

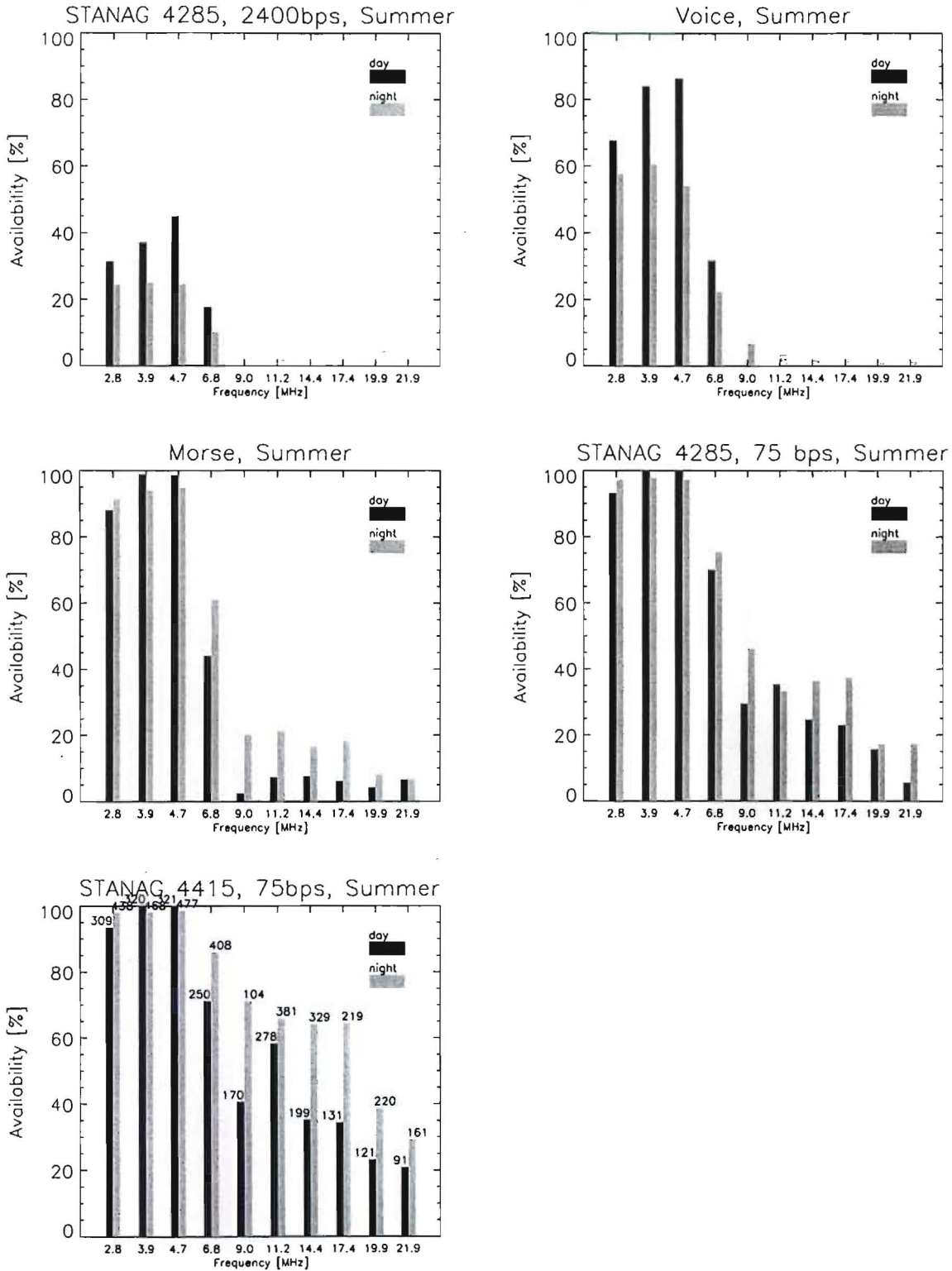


## Harstad-Kiruna (194 km), Vinter

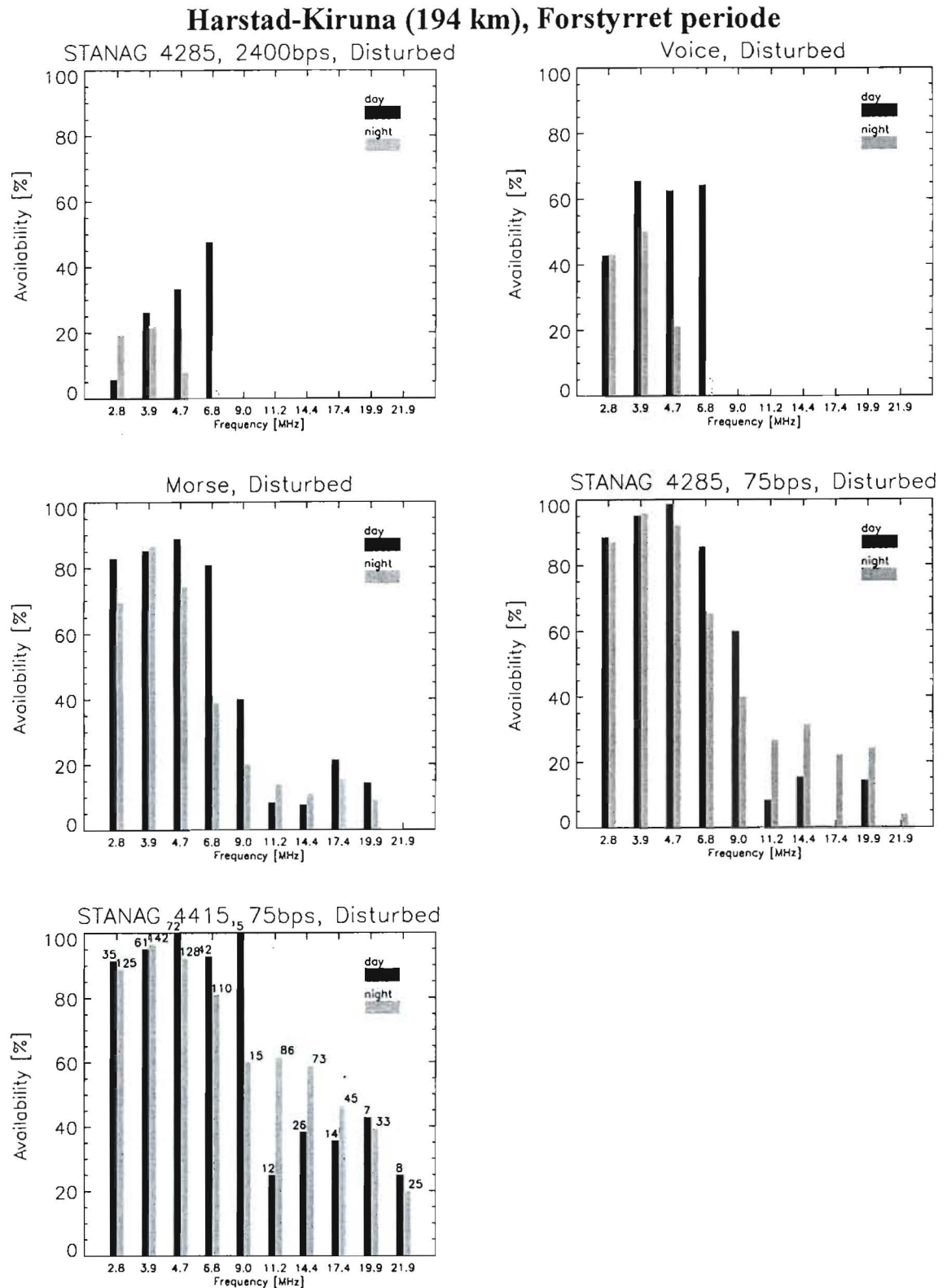


Figur 9. Modemtilgjengelighet på Harstad-Kiruna, vinter.

### Harstad-Kiruna (194 km), Sommer



Figur 10. Modemtilgjengelighet på Harstad-Kiruna, sommer.



Figur 11. Modemtilgjengelighet på Harstad-Kiruna, geomagnetisk forstyrret periode.

## 8 RESULTATER – ANTALL NØDVENDIGE FREKVENSER

Figur 12 viser resultatene på strekningen Isfjord-Tuentangen og figur 13 på strekningen Harstad-Kiruna. Siden båndet av brukbare frekvenser skifter mellom dag og natt, har vi valgt å plote dag og natt data hver for seg. I figurene er vist fra to til fire av de fem utvalgte modemene. Kurvene for STANAG 4285, 75 bps, skiller seg fra kurvene for STANAG 4415 med maksimum 2%, så de har vi utelatt å plote. Kurvene for STANAG 4285, 2400 bps, og STANAG 4415, 75 bps, er vist i alle plott fordi de danner yttergrenser for alle de fem testede modemene. Kurvene for tale og morse ligger begge mellom disse to yttergrensene, med morse som den mest robuste (høyest sann tilgjengelighet) av de to.

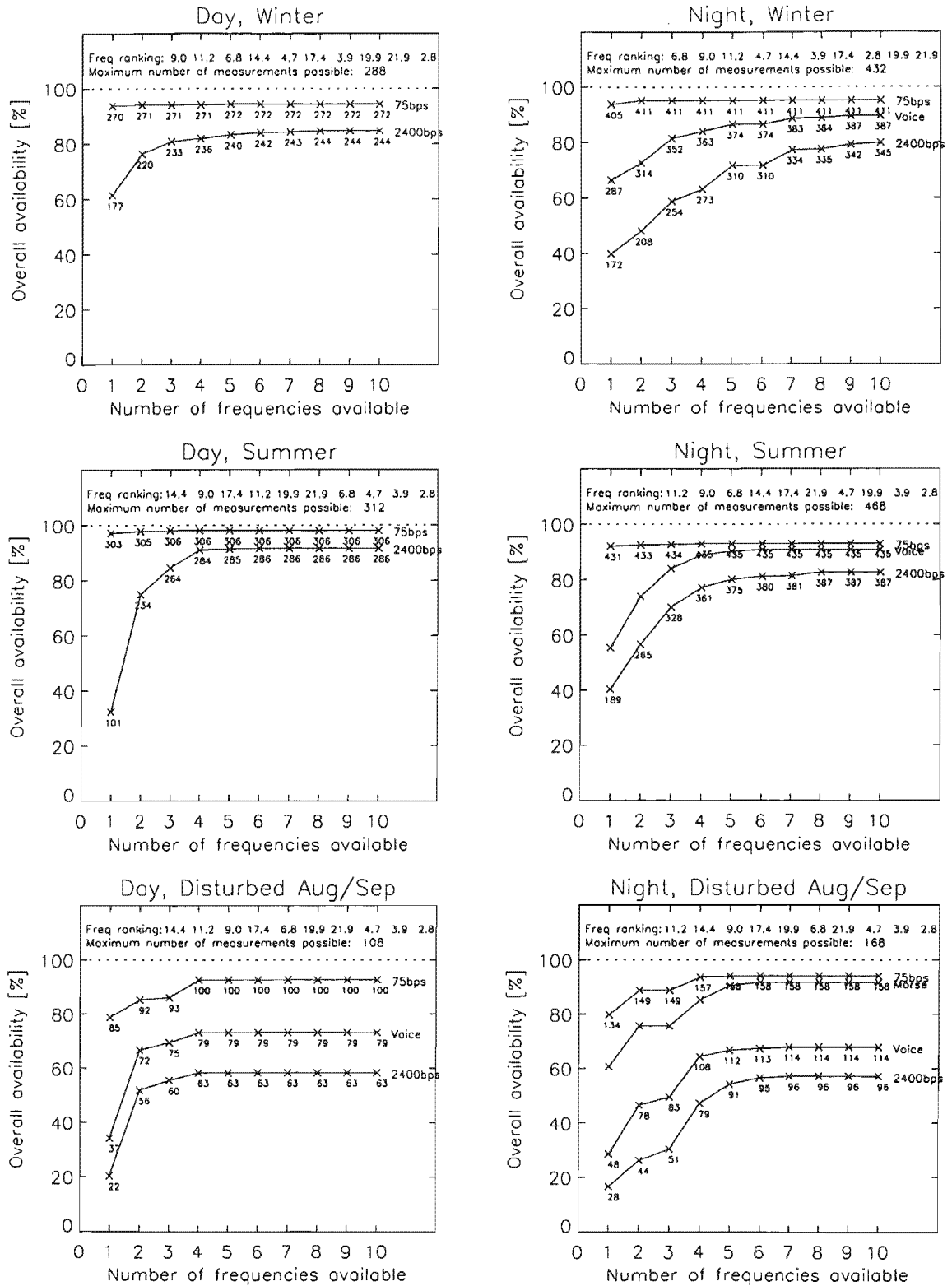
Om strekningen Isfjord-Tuentangen (2019 km) kan vi si følgende:

- De to 75 bps modemene oppnår en maksimum sann tilgjengelighet på 90-100% uavhengig av tid på dagen og sesong. Denne sanne tilgjengeligheten oppnås med den første frekvensen, bortsett fra i den forstyrrede perioden der fire frekvenser er nødvendig.
- STANAG 4285, 2400 bps, oppnår en maksimum sann tilgjengelighet på 80-90% for sommer og vinterperioden, men bare 60% for den forstyrrede perioden. Fire frekvenser er nødvendig om dagen og fem til seks om natten.

Harstad-Kiruna (194 km) gir følgende resultater:

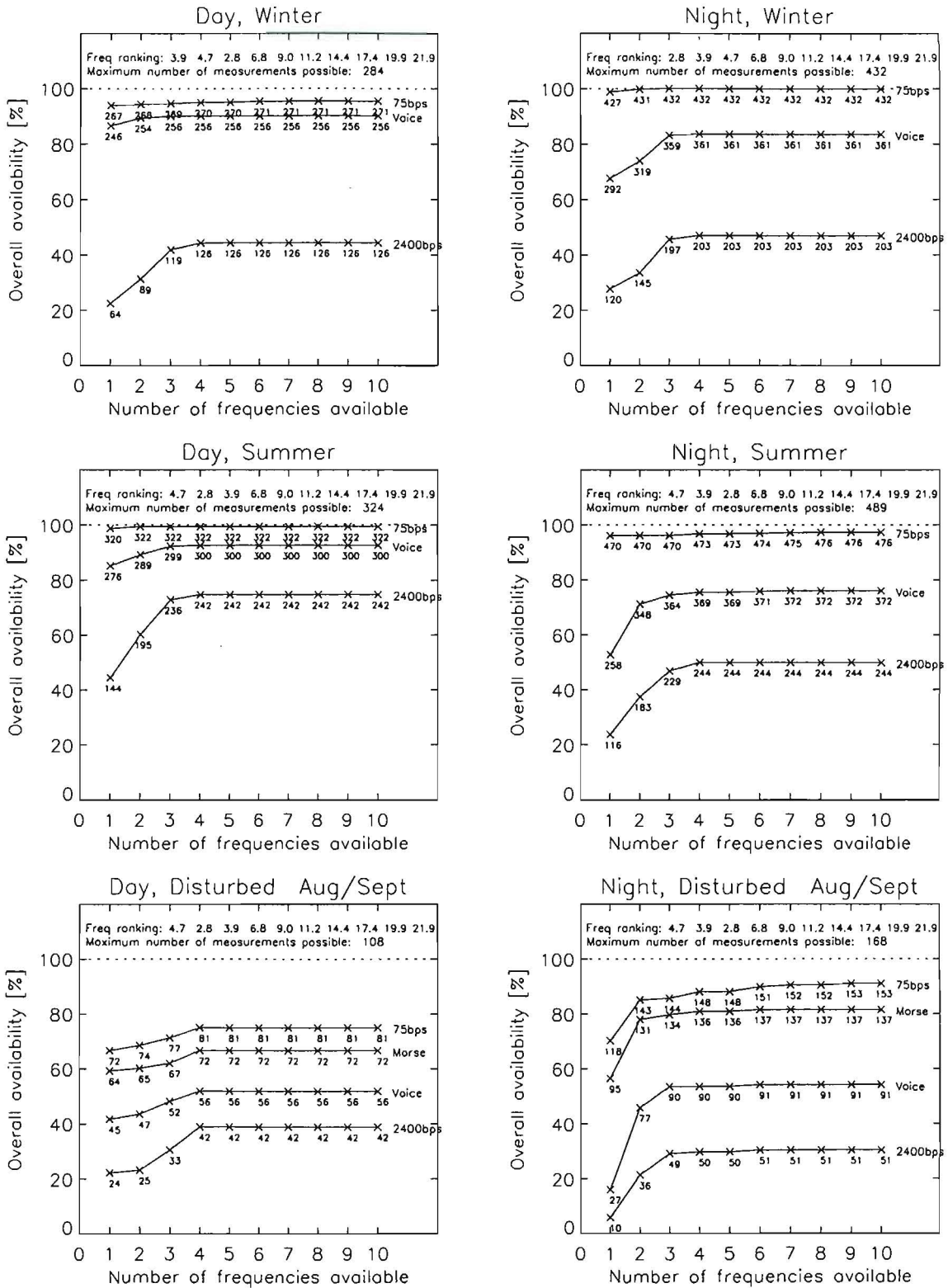
- De to 75 bps modemene oppnår her en maksimum sann tilgjengelighet opp imot 100% for sommer og vinterperioden og 75-90% for den forstyrrede perioden. Én frekvens er nok for sommer og vinterperioden mens fire frekvenser trengs i den forstyrrede perioden. I den forstyrrede perioden oppnås det for nattperioden en høyere maksimum sann tilgjengelighet med færre frekvenser enn for dagperioden.
- Ytelsen til STANAG 4285 på denne banen er generelt dårlig med maksimum 30-50% sann tilgjengelighet. Et unntak er sommerperioden der maksimum sann tilgjengelighet er 75%. Tre til fire frekvenser er nødvendig for alle periodene. For sommerperioden og den forstyrrede perioden har dagperioden noe bedre forhold enn nattperioden.

### Isfjord-Tuentangen (2019 km)



Figur 12. Sann tilgjengelighet for modemene når frekvenssettet består av 1, 2, ..., 10 frekvenser.

### Harstad-Kiruna (194 km)



Figur 13. Sann tilgjengelighet for modemene når frekvenssettet består av 1, 2, ... 10 frekvenser

## 9 VARIGHETEN AV GODE KANALFORHOLD

Hvis man bruker en 75 bps bølgeform til å sende en 100 bytes melding, så vil det ta ca 10 sekunder å få over meldingen. Den samme meldingen kan sendes på under ett sekund dersom man bruker et 2400 bps modem. For noen anvendelser så er en transmisjonstid på ti sekunder uakseptabel, både pga informasjonens innhold og fordi senderen lettere kan bli peilet av en fiende. Hvis ikke informasjonen må overbringes i sann tid, kan senderen velge å vente til gode nok kanalforhold inntrår og så sende informasjonen med en 2400 bps bølgeform. At kanalforholdene blir "gode nok" kan bare detekteres ved at senderen har informasjon fra en kanalsounder tilgjengelig, eller at man stadig prøver kanalen. Stadig prøving av kanalen kan igjen føre til større fare for fiendtlig peiling.

Når kanalforholdene er gode, hvor lenge varer de? *Willink and Landry [1997]* fastslår at variasjonen av SNR og Doppler spredning er ganske stor fra ett 10-minutters interval til det neste. I dataene analysert her er avstanden mellom hver måling 20 min, så de er ikke særlig godt egnet til å studere tidsvariasjoner. Likevel har vi beregnet det prosentvise antallet målinger på hver frekvens som hører til en sammenhengende serie av målinger av en viss lengde. De utvalgte tidslengdene er: Mindre enn 40 minutter, 40-80 minutter, 80-320 minutter og større enn 320 minutter. De talte kanalmålingene er de målingene der modemet vil fungere.

For det robuste modemet STANAG 4415 (75 bps) dominerer gode kanalforhold varende lenggere enn 320 minutter. Dette gjelder begge strekningene. Et unntak er den forstyrrede perioden der resultatene varierer noe mer med frekvens, og varigheten av gode kanalforhold er noe kortere, typisk 80-320 minutter.

Varigheten av gode kanalforhold er kortere for STANAG 4285 (2400 bps), og for denne bølgeformen er varigheten lengre på Isfjord-Tuentangen enn på Harstad-Kiruna. På den førstnevnte banen så er varigheten typisk 40-80 minutter og 80-320 minutter, men for den forstyrrede perioden synker varigheten til mindre enn 40 minutter og 40-80 minutter. På Harstad-Kiruna strekningen er varigheten mindre enn 40 minutter, et tall som er begrenset av måleprosedyrene våre.

## 10 KONKLUSJON

Denne analysen har kvantifisert ytelsen (i form av tilgjengelighet av samband) på høye breddegrader til kjente standardiserte modemer. Analysen viser klart at dataraten må reduseres dersom høy tilgjengelighet på sambandet er nødvendig. På strekningen Isfjord-Tuentangen (2019 km) ga et robust modem (75 bps) en 60-70% større sambandstilgjengelighet enn STANAG 4285 (2400 bps). På strekningen Harstad-Kiruna (194 km) ga det robuste modemet ca 75% større tilgjengelighet.

Vi har definert sann tilgjengelighet av samband som den tilgjengeligheten som kan oppnås dersom man har et minimum antall frekvenser til disposisjon. På Isfjord-Tuentangen er sann tilgjengelighet for de robuste modemene svært bra (>90%) og akseptabelt bra for 2400 bps modemet (~80%) under uforstyrrede forhold. Ytelsen til det siste degraderer under en

geomagnetisk forstyrrelse til ~60%. På denne strekningen så vi ingen forskjell på ytelsen til STANAG 4285 (75 bps) og STANAG 4415 (75 bps). På Harstad-Kiruna så er sann tilgjengelighet for de robuste modemene svært bra (>95%) for uforstyrrede perioder, men også disse modemene degraderer noe (til 85-95%) under en forstyrrelse. STANAG 4285 (2400 bps) har en dårlig sann tilgjengelighet (30-50%) for alle perioder. På denne banen så vi en viss forbedret tilgjengelighet ved STANAG 4415 (75 bps) i forhold til STANAG 4285 (75 bps), dette gjaldt særlig på frekvenser som lå over predikert MUF.

Det nødvendige antall frekvenser for de robuste (75 bps) modemene er én for sommer og vinter perioden og fire for den forstyrrede perioden. Dette gjelder begge strekninger. For STANAG 4285 (2400 bps) trengs 3-4 frekvenser på den korte strekningen og 4-6 frekvenser på den lange strekningen. Dette gjelder for alle perioder.

Dersom man bruker et 75 bps modem, kan man forvente sammenhengende kommunikasjon i mange timer. Dette reduseres litt til typisk 2-5 timer under en geomagnetisk forstyrrelse. Et 2400 bps modem vil gi sammenhengende kommunikasjon på 1-5 timer på Isfjord-Tuentangen strekningen, dette tallet synker noe under en forstyrrelse. Det samme modem vil gi under 40 minutters sammenhengende kommunikasjon på Harstad-Kiruna, dette tallet er nedre grense for målenøyaktigheten vår.

## Litteratur

Angling M J, P S Cannon, Analysis of DAMSON data applicable to the design of the robust waveform (U), *Tech. Rep. DRA/CIS/(CISI)/TP96006/1.0*, Defence Research Agency, Malvern, Worcestershire, England, 1996.

Angling M J, P S Cannon, N C Davies, T J Willink, V Jodalen, B Lundborg, Measurements of Doppler and multipath spread on oblique high-latitude HF paths and their use in characterizing data modem performance, *Radio Science, Vol 33, no 1*, pp 97-107, 1998.

Arthur P C, M J Maundrell, Multi-dimensional HF modem performance characterization, *Conference Publication 441*, IEE, 7<sup>th</sup> Int Conf on HF Radio Systems and Techniques, Nottingham, UK, 1997.

Bergsvik T, Evaluering av HF-modemer og flerfrekvens systemer basert på kanalmålinger på høye breddegrader, *FFI/Rapport-98/04983*, 1998.

Davies N C, P S Cannon, DAMSON-A system to measure multipath dispersion, Doppler spread and Doppler shift on multi-mechanism communications channels, *CP-543*, AGARD Symposium on communication channels, Rotterdam, Nederland, 1993.

Hand G, Ionospheric communications enhanced profile analysis and circuit prediction program, ICEPAC, Institute of Telecommunications Sciences, Boulder, CO, USA, 1997.

Jodalen V, T Bergsvik, HF bølgeutbredelse basiskunnskap, samt kort brukerveiledning til prediksjonsprogrammet ICEPAC, *FFI/Rapport-98/05322*, 1998.



Willink T J, E C Landry, Analysis of time-varying HF propagation characteristics, *IEE Conference Publication Number 441*, HF Radio Systems and Techniques, Nottingham, UK, 1997.

Willink T J, N C Davies, M J Angling, V Jodalen, B Lundborg, Robust HF data communications at high latitudes, *IEE Proceedings, Microwave, Antennas and Propagation*, Vol. 146, No. 4, 1999.



# FORDELINGSLISTE

**FFIE**
**Dato: 22 mai 2000**

RAPPORTTYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR.	REFERANSE	RAPPORTENS DATO	
<input checked="" type="checkbox"/> RAPP	<input type="checkbox"/> NOTAT	<input type="checkbox"/> RR	2000/02687	FFIE/742/110	22 mai 2000
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD			ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER	
UGRADERT			95	27	
RAPPORTENS TITTEL			FORFATTER(E)		
YTELSEN AV STANDARD HF-MODEMER PÅ NORSKE BREDDER			JODALEN Vivianne		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:			FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:		
<i>T. Tuxen</i>			<i>Roald Narvesen</i>		

**EKSTERN FORDELING**
**INTERN FORDELING**

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		FO/HST	14		FFI-Bibl
1		FO/SST	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/LST	1		FFIE
1		FO/HVST	1		FFISYS
1		FO/E	1		FFIBM
1		FO/I	1		FFIN
1		FO/S	1		Torleiv Maseng, FFIE
1		FKN/Sambandsstaben	1		Anton B Leere, FFIE
1		SFK	1		Bjørn Skeie, FFIE
1		HFK	1		Bodil Hvesser Farsund, FFIE
1		LFK	1		Frode Lillevold, FFIE
1		Forsvarets stabsskole/Hærvadlingen	1		Jostein Sander, FFIE
1		Sambandsinspektøren	1		Ove K Grønnerud, FFEI
1		Infanteriinspektøren	1		Snorre Prytz, FFIE
1		Artilleriinspektøren	1		Svein Haavik, FFIE
1		Stedfortredende artilleriinspektør/ Luftvern	1		Vegard Arneson, FFIE
1		Kavaleriinspektøren	1		Bjørn Jacobsen, FFIE
1		Ingeniørinspektøren	1		Vivianne Jodalen, FFIE
1		Treninspektøren	1		Eivind Thrane, FFIE
1		Assisterende treninspektør/HVK	1		Tom A Blix, FFIE
1		Sanitetsinspektøren	1		Ulf-P Hoppe, FFIE
1		Heimevernsskolen/ Dombås	1		Torkild Eriksen, FFIE
1		SBTR/STKP/TMBN	1		Nils A Sætermoen, FFIE
		Postboks 55	1		Bjørn Solberg, FFIE
		3645 HEISTADMOEN	1		Tore Jørgen Berg, FFIE
1		Luftfartsverket	1		Roald Otnes, FFIE
		Bodø ATCC/HF	1		Kjetil Mosesen, FFIE
		Postboks 814	1		Erik Granseth, FFIE
		8001 BODØ	1		Oddbjørn Grøtta, FFIS
1		NRRL	1		Karsten Bråthen, FFIE
		Postboks 20, Haugenstua	1		Kurt A Veum, FFIE
		0915 OSLO	7		Arkiv, FFIE

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		Sambandstroppen Kp2 HMKG Postboks 7, Røa 0701 OSLO			
1		FO/SST V/ OK Lars Ellingsen			
1		Sambandsavd DKN V/ radiooffiser Postboks 60 9401 HARSTAD			
1		Distriktskommando Østlandet/ Sambandsavdelingen			
1		v/ radiooffiser Postboks 4024, Postterminalen 2301 HAMAR			
1		FTD			
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 T			
1		v/ Finn Norstad			
1		Våpenskolen for Hærens samband			
1		v/ oblt Geir Høiland			
1		Sambandsoffiseren Oppklesk/N Postboks 16 9250 BARDU			
1		Thomson-CFS Norcom AS V/ Halvor Liland Postboks 22, Økern 0508 OSLO			
1		FTD v/ Per Brandsø			

