

FFI RAPPORT

HF NVIS KOMMUNIKASJON - Kanalkarakteristikk på høye breddegrader

JODALEN Vivianne

FFI/RAPPORT-2001/04168

FFIE/742/110

Godkjent
Kjeller 22 august 2001

Torleiv Maseng
Forskningsjef

**HF NVIS KOMMUNIKASJON - Kanalkarakteristikk
på høye breddegrader**

JODALEN Vivianne

FFI/RAPPORT-2001/04168

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

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (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-2001/04168	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 34
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/742/110	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE HF NVIS KOMMUNIKASJON - Kanalkarakteristikk på høye breddegrader HF NVIS Communication - High latitude channel characteristics		
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) HF NVIS		IN NORWEGIAN:
b) channel characteristics		a) HF NVIS
c) radiowave propagation		b) kanalkarakteristikk
d) high latitude		c) radiobølgeutbredelse
e) DAMSON		d) høy breddegrad
		e) DAMSON
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT The HF DAMSON (Doppler And Multipath SOunding Network) was operated on two NVIS (Near Vertical Incidence Skywave) paths in northern Scandinavia during two measurement campaigns in October 1999 and March 2000, respectively. Channel measurements on the two paths Harstad-Abisko (90 km) and Harstad-Kiruna (190 km) have been analyzed in terms of signal-to-noise ratios, signal strength, Doppler and delay spread. These channel parameters can seriously affect the performance of communications. High latitude channel characteristics versus time of day, frequency and geomagnetic conditions are described in the report and the two paths are compared. Also, the variability of one particular frequency is addressed.		
9) DATE 22 August 2001	AUTHORIZED BY This page only Torleiv Maseng	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0538-1

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INTRODUKSJON	7
2	DAMSON MÅLINGER	8
2.1	Målestrekninger og frekvenser	8
2.2	Utstyr og bølgeformer	9
2.3	Målte parametere	10
3	RESULTATER	11
3.1	Karakteristiske kanalvariasjoner over tid på døgnet	11
3.2	Karakteristiske kanalvariasjoner over frekvens	17
3.3	Variasjoner i bølgeutbredelsen fra dag til dag	19
3.4	Sammenligning av målingene på de to banene	24
3.5	Raske tidsvariasjoner på frekvensen 4.5 MHz	26
4	KONKLUSJON	29
	Litteratur	31
	FORDELINGSLISTE	32

HF NVIS KOMMUNIKASJON - Kanalkarakteristikk på høye breddegrader

1 INTRODUKSJON

NVIS (Near Vertical Incidence Skywave) kommunikasjon på HF er, som navnet sier, kommunikasjon der radiobølgene reflekteres nesten vertikalt på ionosfæren, og dekningsområdet for kommunikasjonen blir i ”nærområdet” til senderen. I motsetning til tradisjonelt langdistanse HF-samband er NVIS-kommunikasjon et kortholds HF-samband, muligens uten noen skipsone rundt senderen i det hele tatt. Avhengig av frekvensvalg og innfallende vinkel på ionosfæren, kan HF NVIS likevel få en rekkevidde som er større enn den VHF/UHF-radiosamband har. Derfor kan HF NVIS dekke et behov for samband på strekninger utenfor synsrekkevidde og hvor terrengformasjoner hindrer bruk av andre sambandsbærere (50-200 km). Typiske situasjoner der HF NVIS kan være det eneste sambandsalternativet er: Jegeroperasjoner innenfor Hæravdelinger, Marinejegeroperasjoner, kommunikasjon mellom fartøyer som ligger i forskjellige fjorder og lavtflyvende helikoptere som skjerner seg i terrenget og som kommuniserer med en base på bakken.

Riktig frekvensvalg er vanskeligere for NVIS kommunikasjon enn for langdistanse HF-kommunikasjon. Pga tilnærmet vertikalt innfall for radiobølgene på ionosfæren, blir MUF (Maximum Useable Frequency) lav. Ionosfærisk absorpsjon av radiobølger er størst for de laveste frekvensene ($\sim 1/f^2$), og derfor blir det kun et smalt bånd nederst i HF-båndet som kan brukes til NVIS kommunikasjon. For å lykkes med etablering av NVIS-samband, er det også viktig at man bruker antenner med god effektforsterkning i vertikal retningen (f.eks horisontal dipol eller spesielle NVIS ”loop”- antenner). Vertikalpolariserte antenner vil ikke kunne etablere ionosfæresamband på korte avstander, men derimot gi de beste mulighetene for jordbølge samband.

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. Kanalparametere som har betydning for radiokommunikasjon på HF og som vil endres ved en forstyrret ionosfære, er MUF, absorpsjonsnivå (og dermed signal-styrke), flerbanespredning og Doppler-spredning av signalet.

Både korte og lange strekninger som det skal kommuniseres over på HF i nord-Norge, vil oppleve problemer assosiert med en geomagnetisk forstyrret ionosfære. Men NVIS-samband er spesielt sårbart overfor kanalforstyrrelser fordi båndet av brukbare frekvenser i utgangspunktet er smalt. Sterk nordlysabsorpsjon kan øke LUF (Least Useable Frequency) eller i hvert fall gjøre signal/støy-forholdet på de laveste frekvensene lavt. MUF kan også endres som følge av den

forstyrrede ionosfæren, og flerbane- og Doppler-spredningen vil øke.

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 er etablert. 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 et al, [1998]* og *Willink et al [1999]* gis statistiske beskrivelser av HF-kanalen. *Bergsvik [1998]* og *Jodalen et al.[2001]* evaluerer hvordan HF modemer vil fungere under de målte kanalforhold. Og en oversikt over alle resultater oppnådd med DAMSON gis i *Cannon et al.[2000]*.

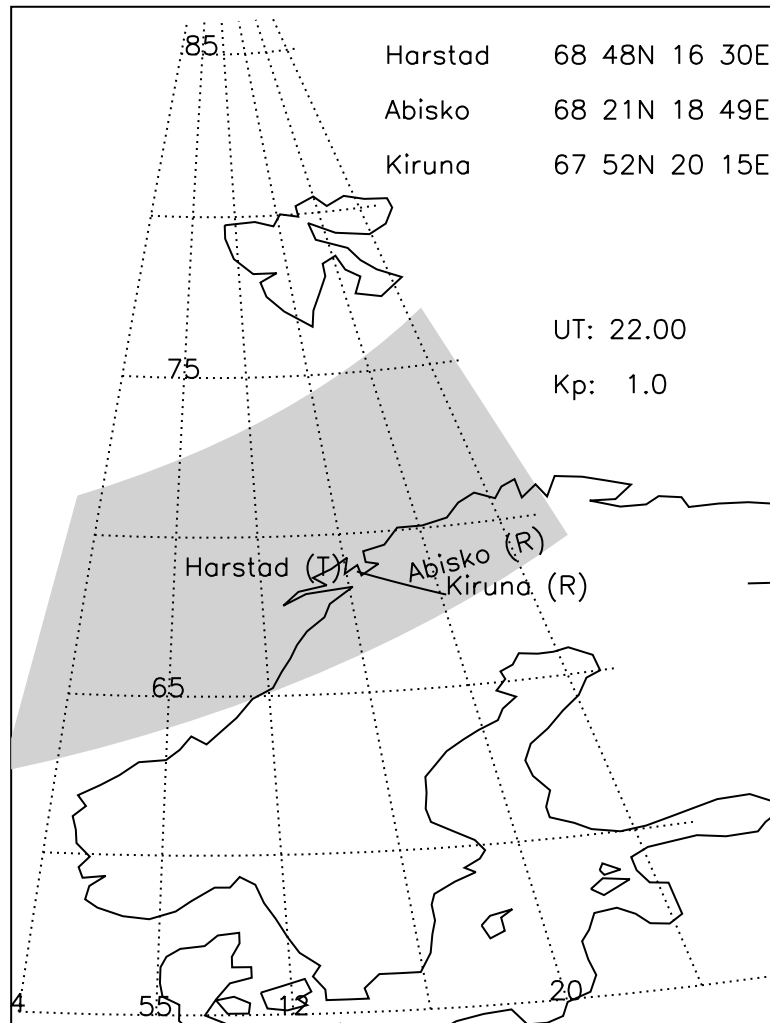
Denne rapporten beskriver HF-kanalen slik den er målt med DAMSON-apparaturen på to NVIS-strekninger i nord-Skandinavia over to fjorten dagers perioder (8.-24. oktober 1999 og 9.-20. mars 2000). Den gir derfor ikke et bredt statistisk bilde av kanalen, men den gir en god indikasjon på hvordan NVIS-kanalen oppfører seg. Et sammendrag av resultatene i denne rapporten er publisert i *Jodalen et al, 2000*.

2 DAMSON MÅLINGER

2.1 Målestrekninger og frekvenser

Senderen i Harstad og mottakerne i Abisko og Kiruna er vist i Figur 2.1. Strekningen Harstad-Abisko er ca 90 km og Harstad-Kiruna er ca 190 km, begge i øst-vest retning (ca 120° azimuth). Bare 1-2° skiller de to strekningene i azimuth-retning. Kartet viser også nordlysovalens utstrekning kl 22 UT og ved en liten geomagnetisk forstyrrelse, $K_p=1$ (K_p -skalaen går fra 0 til 9).

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, 3.2, 4.0, 4.5, 4.7, 5.3, 5.8, 6.8, 9.0, 11.2 MHz). Dette frekvensområdet dekker LUF-MUF båndet til alle døgnetstider. For tidsperiodene av data brukt i denne analysen, lyttet mottakerne i annenhver 10-minutters periode på Harstad-senderen, dvs. at begge mottakerne gjorde tre målinger i løpet av en time på hver frekvens, og målingene var samtidige for de to mottakerne. De andre 10-minutters periodene ble brukt til å lytte på en annen DAMSON-sender på Svalbard, men disse dataene analyseres ikke her.



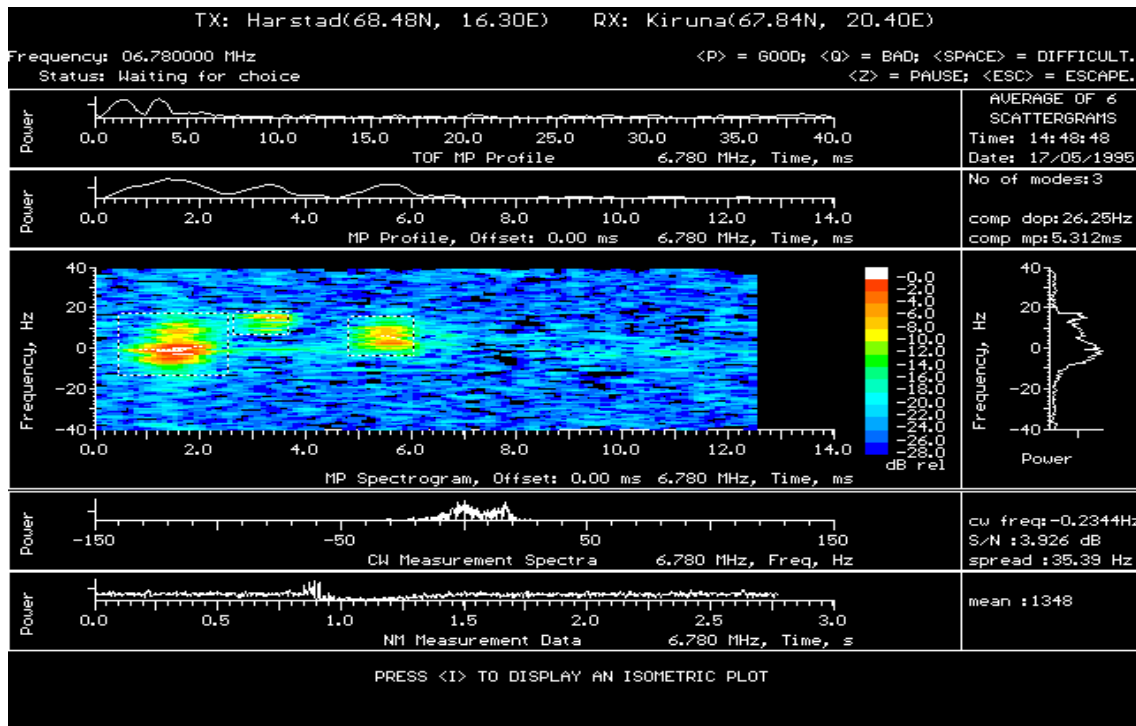
Figur 2.1 Kart over sender og mottakere i DAMSON NVIS-målingene. Nordlysovalens plassering kl 22 UT og ved $K_p=1$ er vist i figuren.

2.2 Utstyr og bølgeformer

Kjernen i DAMSON-senderen og mottakeren er en PC med integrert DSP og GPS. GPS sørger for nøyaktig tidssynkronisering mellom sender og mottaker slik at tidsforsinkelser av signaler kan måles. Frekvensoscillatorene i radioenhetene sjekkes regelmessig for drift. Senderantennen i Harstad er en horisontal, bredbånds dipol rettet 191° øst for nord, mottakerantennene i Abisko og i Kiruna er hellende dipoler rettet henholdsvis i ca 30° øst for nord, og i rett nord retning. Sendereffekten er 250 W.

DAMSON er en skrått innfallende kanalsounder som sender ut flere bølgeformer på en frekvens, de fleste innenfor en båndbredde på 3 kHz. Den viktigste bølgeformen, kalt Doppler-delay bølgeformen og som vi benytter data fra her, ble for NVIS-målingene modifisert til å bruke 12 kHz båndbredde. Doppler-delay bølgeformen er en 25-bits Barker-sekvens som sendes ut 64 ganger og med et repetisjonsintervall på 12.5 ms. Chipraten er 9.6 kbit/s og gir en teoretisk oppløsning av det mottatte signalet på 0.1 ms. Denne bølgeformen gjentas 2 ganger og midles i mottakeren. I mottakeren blir komplekse impulsresponsen målt, Fourier-transformert og en

spreddefunksjon (scattering function) blir beregnet. Fargebildet i Figur 2.2 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 kan måles er 12.5 ms, og maksimum frekvensspredning er 80 Hz. Oppløsningen på frekvensaksen er på 1.3 Hz.



Figur 2.2 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

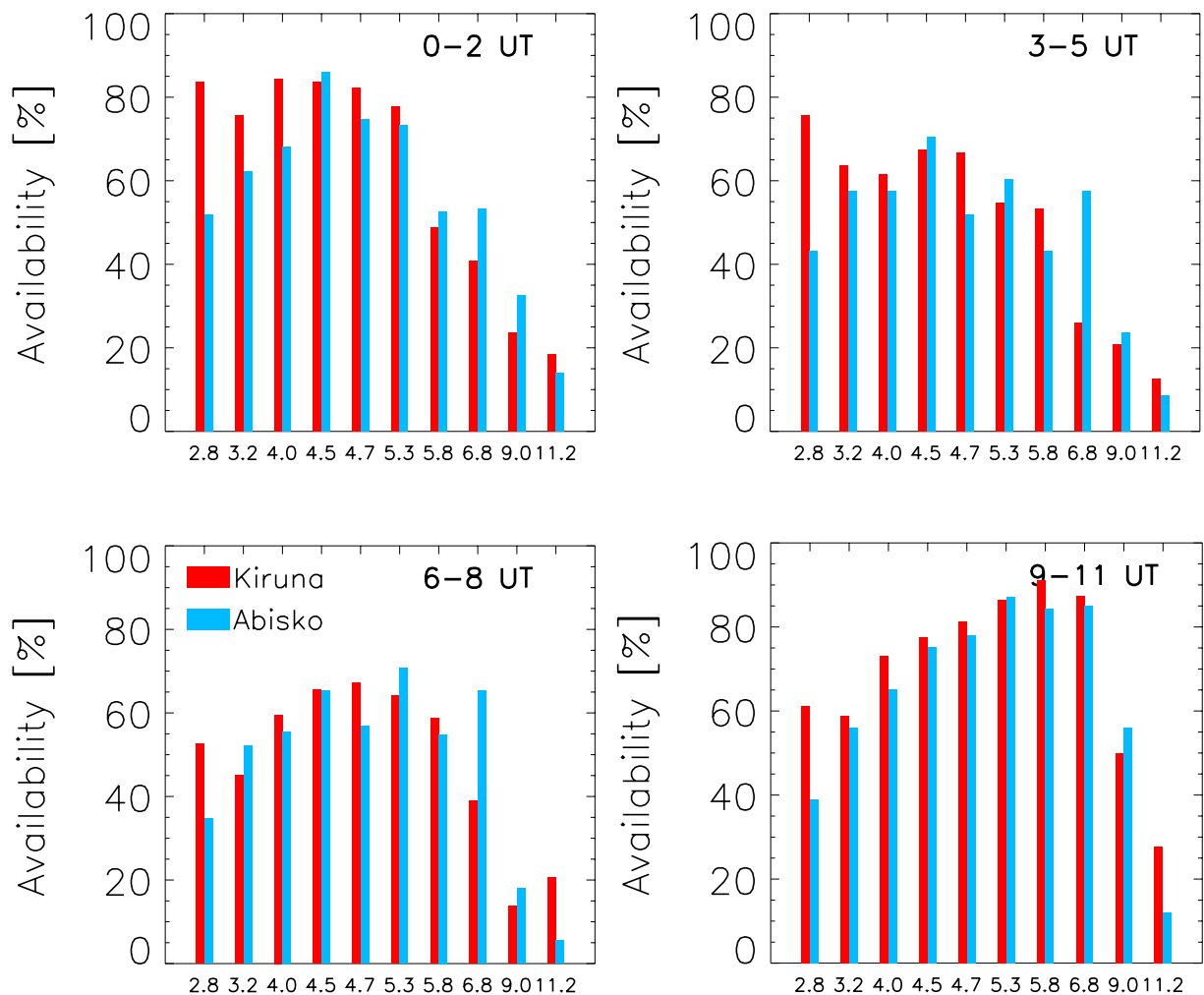
Ut fra spreddefunksjonen blir de tre kanalparameterne Doppler-spredning (DS), flerbanespredning (MS) og signal-støy-forhold (SNR) beregnet. Doppler-spredning (samme som frekvensspredning og fading) er et uttrykk for hvor raskt kanalen beveger seg, og den beregnes ved å summere alle signal-modene på frekvensaksen, anta et Gaussisk frekvensspekter og beregne bredden av dette spekteret definert som 2σ . 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 12 kHz kanal.

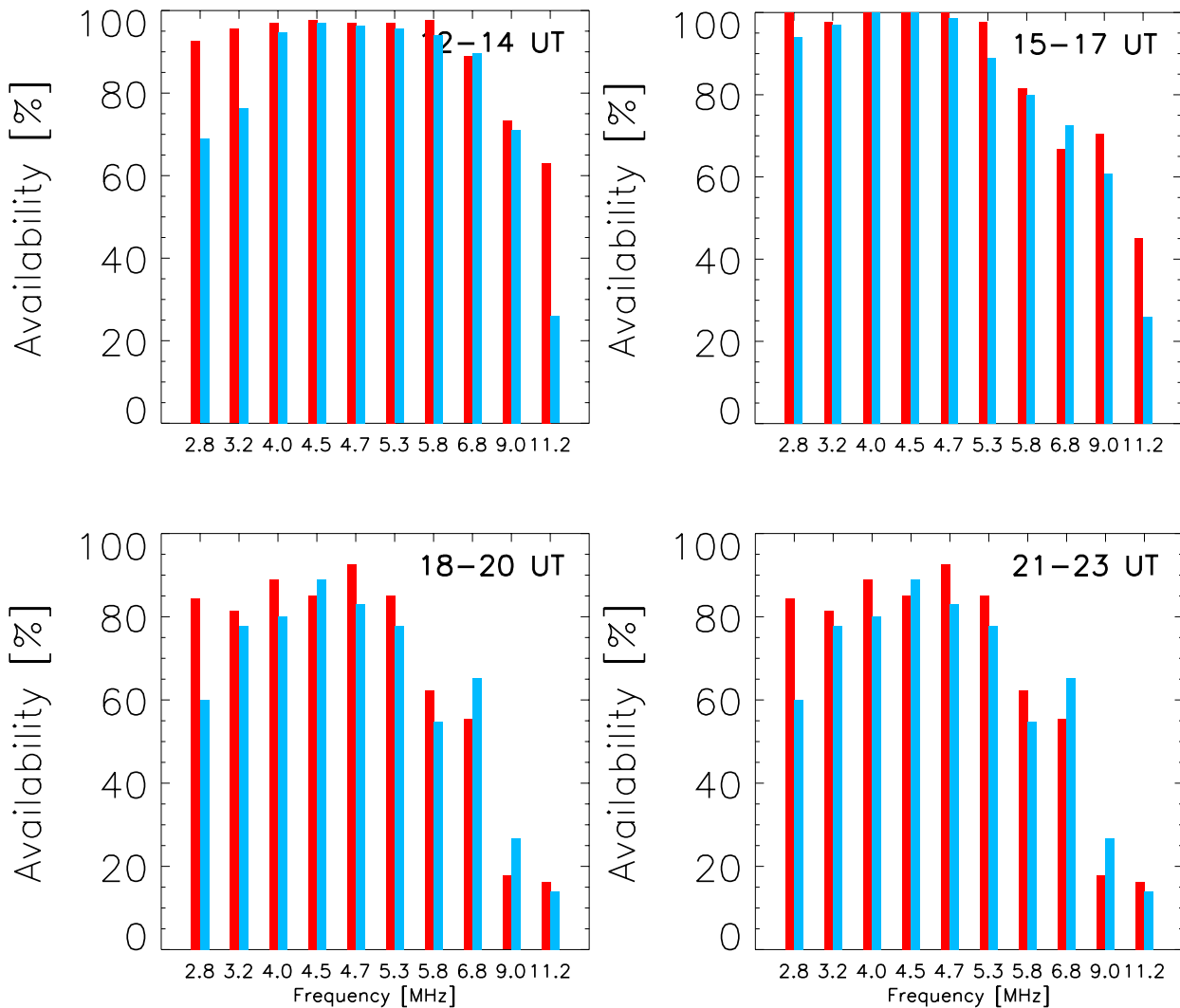
3 RESULTATER

På HF er kanalforholdene avhengig av en rekke parametere som tid på døgnet, sesong, solflekk tall, geomagnetisk aktivitet og frekvens. Målingene referert her er kun fra to fjorten dagers perioder, så sesong og solflekk tallvariasjonen er ikke dekket. Vi har delt inn resultatene i en døgnvariasjonsbeskrivelse, frekvensvariasjonsbeskrivelse og en analyse av bølgeutbredelsen dag for dag relatert til de geofysiske forholdene. Målingene på de to forskjellige strekningene blir så sammenlignet, og tilslutt gir vi noen resultater fra målinger kun på én frekvens som gir en beskrivelse av hurtige variasjoner av kanalparameterne.

3.1 Karakteristiske kanalvariasjoner over tid på døgnet

Framkommeligheten på HF varierer som kjent over tid på døgnet. Faktorer som forårsaker denne variasjonen er solbelysningen (innstrålingsvinkelen), sambandsstrekningens plassering i forhold til nordlysovalen og støyforhold. Framkommeligheten eller tilgjengeligheten (Availability) har vi definert som det prosentvise antall mottatte meldinger av det totalt antall sendte. Figur 3.1 viser tilgjengeligheten ved åtte forskjellige tidsintervaller som dekker hele døgnet: 0-2 UT, 3-5 UT og opp til 21-23 UT.





Figur 3.1 Prosentvis antall mottatte meldinger (Availability) på forskjellige frekvenser og ved forskjellige tider på dagen. Harstad-Kiruna (rødt) og Harstad-Abisko (blått).

DAMSON-sunderen er et følsomt instrument som kan motta signaler med negative signal/støy forhold. Tilgjengeligheten med DAMSON er derfor noe større enn det som kan forventes av et ordinært radiosamband.

Den elektromagnetiske strålingen fra sola er størst ved lokal middag (11 UT) og de beste refleksjonsforholdene (tetteste ionosfærelagene) skulle da være tilstede. Isteden ser vi en asymmetrisk fordeling av tilgjengelighet rundt kl 11 UT, med maksimum framkommelighet mellom kl 11 og 17 UT. Mellom kl 18 og 2 UT er tilgjengeligheten noe redusert i forhold til tidligere, og i perioden 3 til 10 er tilgjengeligheten minimum. Denne asymmetrien skyldes at målestrekningene stort sett er dekket av nordlysovalen om natten, og at nordlysabsorpsjon av radiosignaler er sterkest tidlig om morgenen når målestrekningene er iferd med å gli ut av nordlysovalen. Om kvelden, rundt geomagnetisk midnatt som er kl 22 UT, er banestrekningene vanligvis dekket av nordlysovalen, men nordlysabsorpsjonen ved dette tidspunktet er ikke så sterk som tidlig om morgenen.

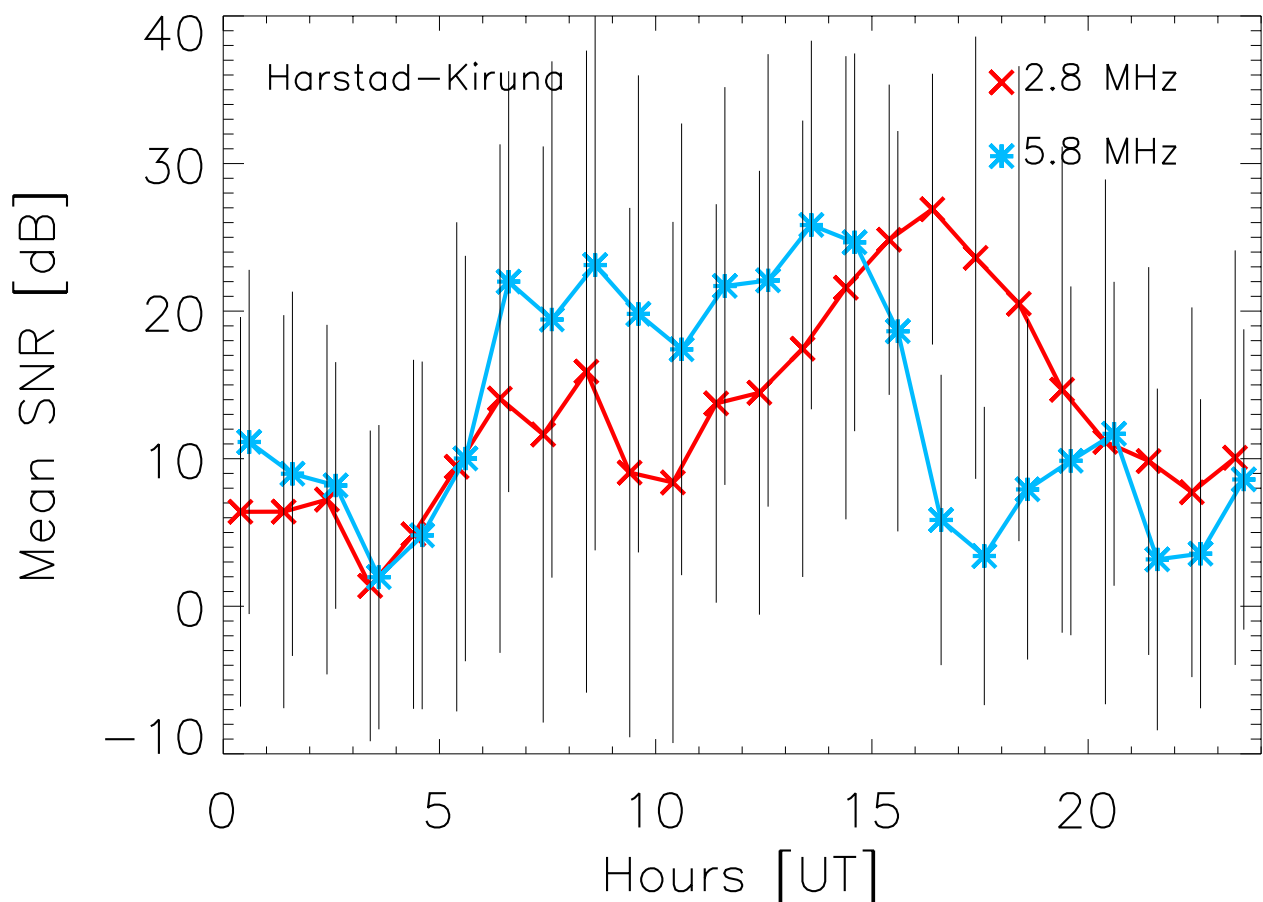
For de laveste frekvensene er tilgjengeligheten av signaler i Kiruna bedre enn i Abisko. Det

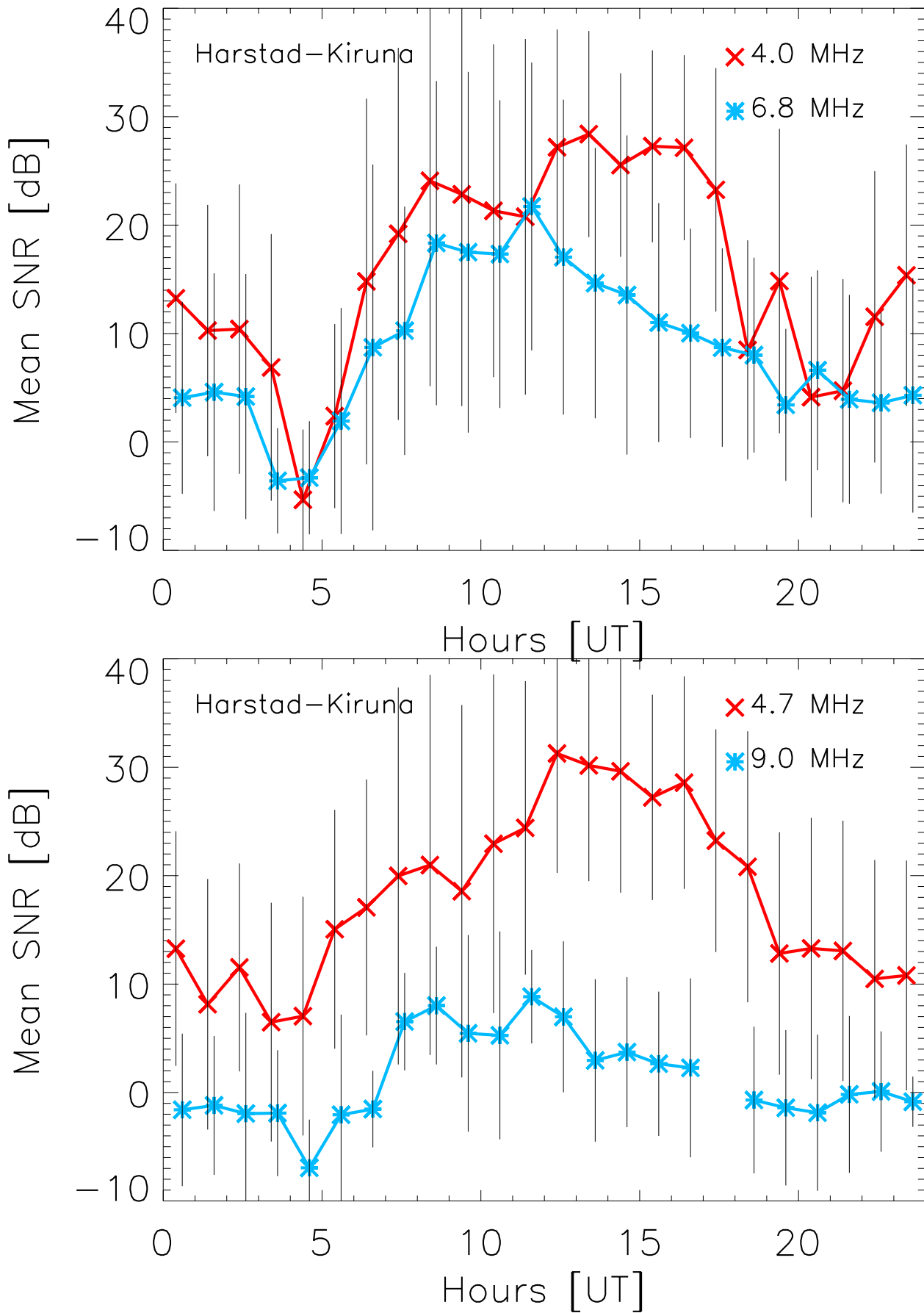
skyldes at antennen i Kiruna er mer optimalt plassert i terrenget og at retningen på de to mottakerantennene er 30° forskjellig.

Hvordan varierer så gjennomsnittlig signal/støyforhold over tid på dagen? Figur 3.2 viser gjennomsnittlig SNR for forskjellige frekvenser, to frekvenser i hver figur.

Alle frekvenser viser klart at SNR er størst midt på dagen. Dette er forskjellig fra observasjoner på midlere breddegrader der SNR er størst på natten [Tooby et al, 2000]. De høye SNR-verdiene midt på dagen som vi har observert på våre målestrekninger, skyldes nok at absorpsjonen aldri blir særlig stor på dagtid fordi sola aldri kommer veldig høyt på himmelen.

For datasettet analysert her observerer vi i tillegg: For de laveste frekvensene (2.8- 5.3 MHz) er gjennomsnittlig SNR størst i timene etter lokal middag fra ca kl 11 til 17-18 UT. I disse timene kan SNR i 12 kHz båndbredde være 20-30 dB. Gjennomsnittlig SNR er minst i timene 3-6 UT med SNR < 10 dB. Denne døgnvariasjonen er lik den vi observerte for tilgjengeligheten av kanalen, og forårsaket av den daglige variasjonen av nordlysabsorpsjon. For de høyeste frekvensene (5.8-11.2 MHz) er gjennomsnittlig SNR forholdsvis symmetrisk rundt maksimum som er ved lokal middag (11 UT). Maksimum er ca 20 dB bortsett ifra på 9.0 og 11.2 MHz der antenneforsterkningen er svært liten. De høyeste frekvensene er sterkere og taper ikke mye av sin energi når de går igjennom det absorberende D-laget og reflekteres fra F2-laget. F2-lagets eksistens er symmetrisk rundt lokal middag (se Seksjon 3.3). Denne asymmetrien i SNR observert her kan ikke sees på frekvensen 4.5 MHz i datasettet analysert i Seksjon 3.5.



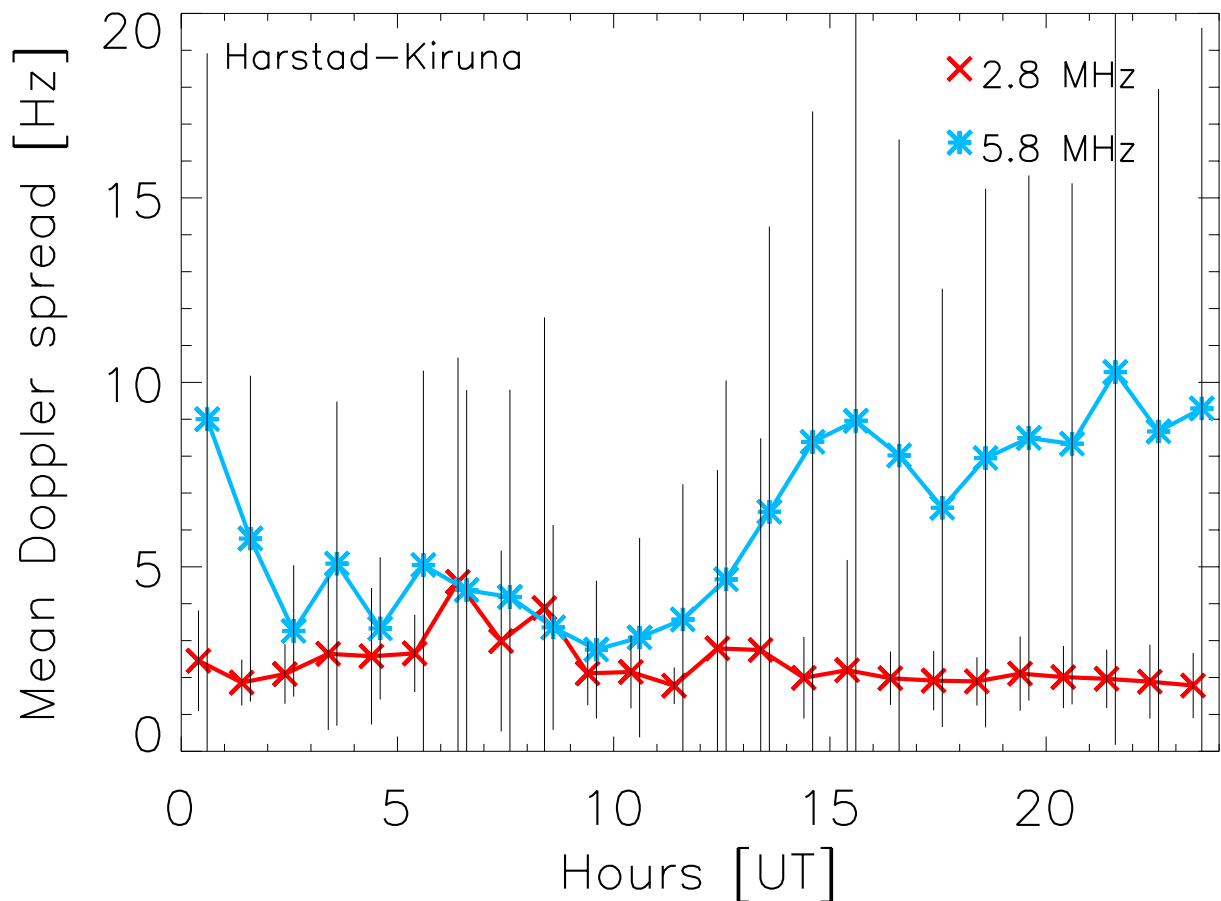


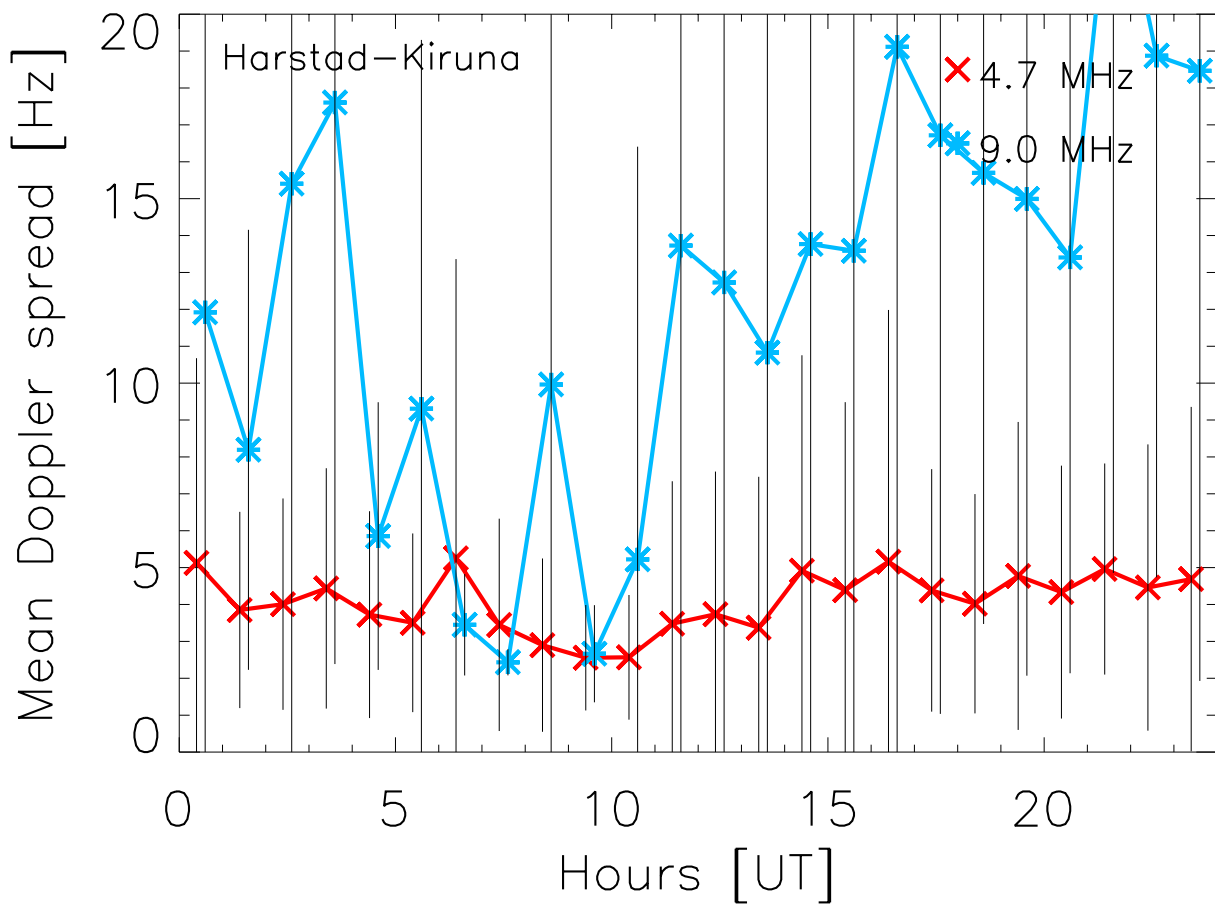
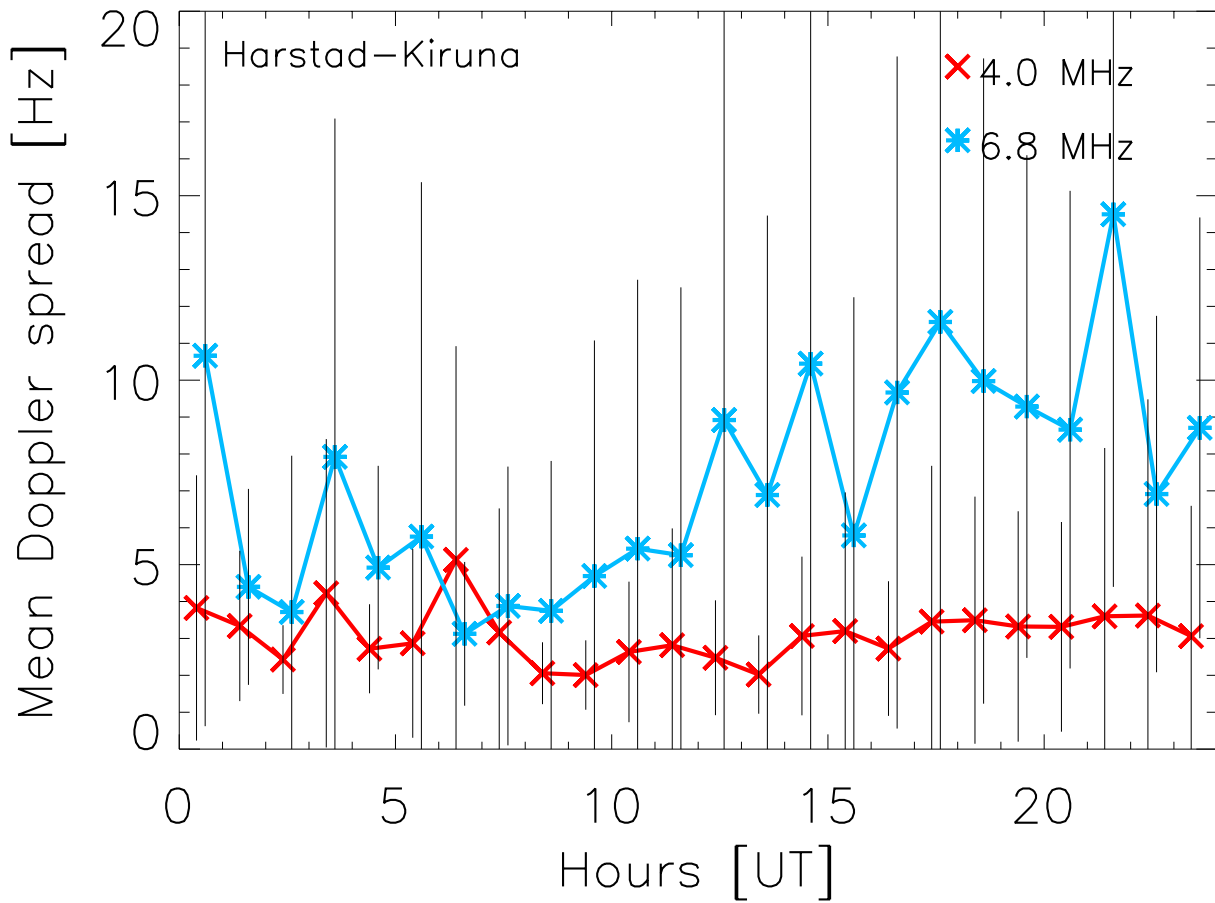
Figur 3.2 Gjennomsnittlig SNR med standardavvik (vertikal strek) for hver time på Harstad-Kiruna strekningen. Seks forskjellige frekvenser er vist.

Gjennomsnittlig Doppler-spredning som funksjon av tid på dagen for de samme frekvenser som i Figur 3.2 er vist i Figur 3.3.

For de laveste frekvensene (< 5 MHz, røde kurver) er Doppler-spredningen lav (< 5 Hz) og ikke særlig varierende over tid på døgnet. Spredningen av alle målepunktene er også lav, typisk noen få Hertz. Doppler-spredningen stiger med økende frekvens, og for de høyere frekvensene (blå kurver) ligger gjennomsnittlig Doppler-spredning mellom 5 og 25 Hz. For disse frekvensene er Doppler-spredningen størst på kvelden, rundt geomagnetisk midnatt (22 UT). Spredningen av målepunktene for de høyeste frekvensene er stor, typisk ti-talls Hz.

Tilsvarende kurver som i Figur 3.2 og 3.3 er ikke laget for flerbanespredningen, da den økte tidsoppløsningen ved 12 kHz båndbredde har gitt en viss usikkerhet om alle moder som er identifisert i den automatiske/manuelle "tagge"-prosedyren virkelig er reelle moder og ikke produkter av signalprosesseringen.





Figur 3.3 Gjennomsnittlig Doppler-spredning med standardavvik (vertikal strek) for hver time på Harstad-Kiruna strekningen. Seks forskjellige frekvenser er vist.

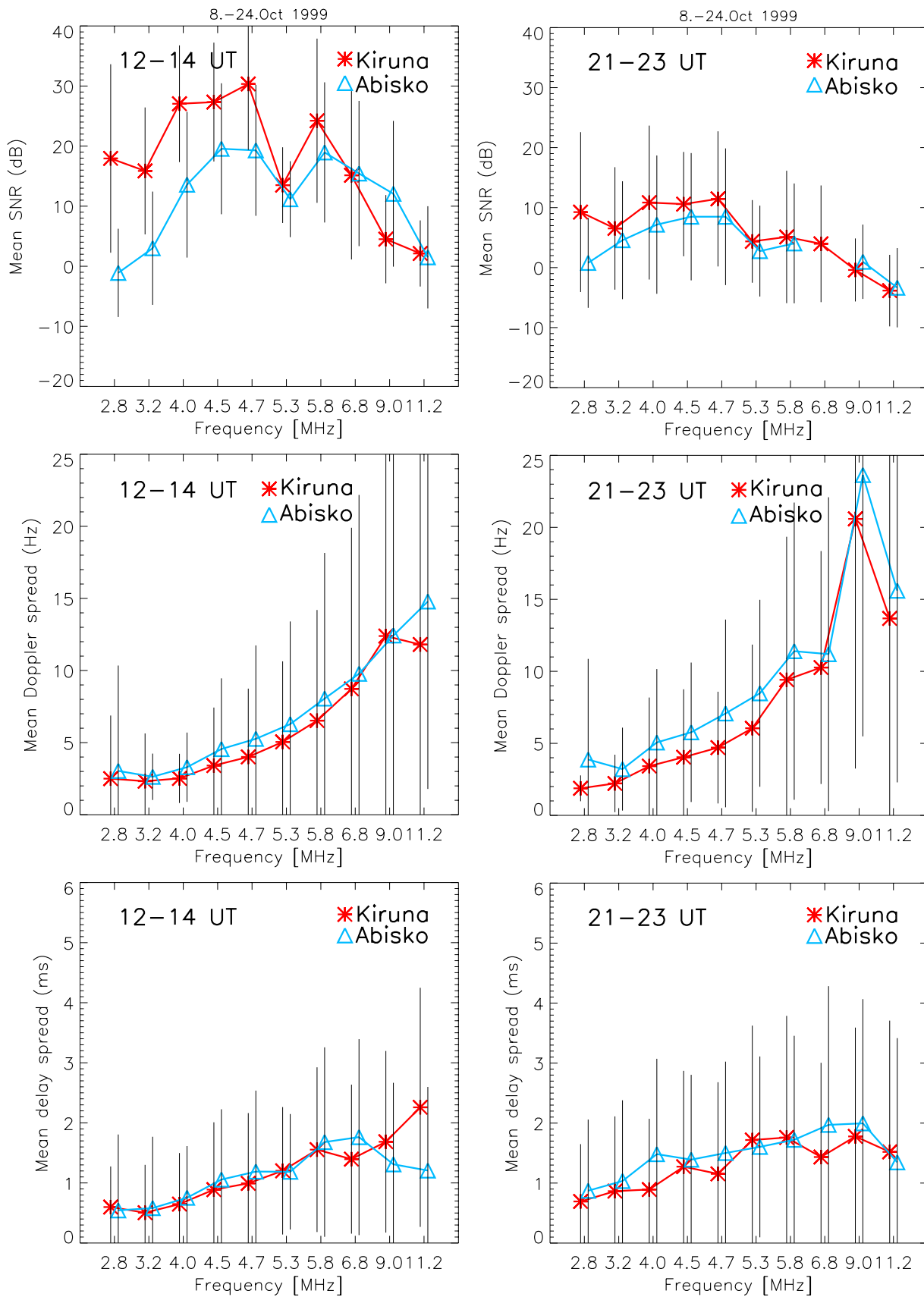
3.2 Karakteristiske kanalvariasjoner over frekvens

Figurene i forrige seksjon viste også frekvensvariasjoner, selv om fokus var på døgnlige variasjoner. I denne seksjonen summerer vi opp hvilke kanalvariasjoner som eksisterer over det målte frekvensbåndet. Gjennomsnittsverdier for SNR, Doppler og flerbanespredning som funksjon av frekvens er vist for to tidsperioder i Figur 3.4. Alle målinger i den aktuelle tidsperioden er midlet. Vi har sett på alle tidsperiodene, og generelt kan vi si følgende:

Gjennomsnittlig SNR er størst for frekvenser i båndet mellom 4.0 og 5.8 MHz for alle tidsperioder. Frekvensene 9.0 og 11.2 MHz ligger over eller rundt MUF, så lave SNR verdier er registrert på de få målepunktene som eksisterer her. Også for de to laveste frekvensene, 2.8 og 3.2 MHz, er SNR sterkt redusert pga absorpsjon. Målinger av SNR er sterkt påvirket av utsendt effekt og vinningen til antennene som er brukt. Antenneretningen og nærmiljøet til mottakerantennene i Kiruna og Abisko er svært forskjellig, noe som gir seg utslag i lavere mottatt SNR i Abisko for de laveste frekvensene. Antennen i Abisko bedrer seg på høyere frekvenser. I nærheten av frekvensen 5.3 MHz ligger det en kringkaster som forstyrrer sterkt vårt signal. Derfor er SNR lav på denne frekvensen.

Gjennomsnittlig Doppler-spredning øker med frekvensen. Dette er i tråd med ligningen for Doppler-skift. For de to største frekvensene som ligger over eller rundt MUF, øker Doppler-spredningen betraktelig, mens økningen er mindre for frekvenser opp til 6.8 MHz. Minst økning for frekvenser opp til 6.8 MHz (kun 2-3 Hz) sees for timene 3-11 UT. Doppler-spredningen er 1-2 Hz større på den kortere Harstad-Abisko strekningen enn på Harstad-Kiruna. En mulig forklaring på dette er de to mottakerantennenes forskjellige retning; antennen i Abisko kan ha en tendens til å motta signaler fra et nordligere refleksjonsområde med raskere bevegelser enn antennen i Kiruna.

Gjennomsnittlig flerbanespredning øker også med frekvensen, fra litt under 1 ms på 2.8 MHz til ca 2 ms på 6.8 MHz. Den gjennomsnittlige flerbanespredningen er betraktelig lavere enn den som kan måles til visse tider på disse NVIS-banene, se *Warrington et al. [2000]*. Gjennomsnittsverdiene for flerbanespredning er ganske like for alle tidsperioder av døgnet.



Figur 3.4 Gjennomsnittlig SNR, Doppler og flerbanespredning som funksjon av frekvens for to tidsperioder: 12-14 UT (venstre kolonne) og 21-23 UT (høyre kolonne). Standardavviket er også vist som en vertikal strek.

3.3 Variasjoner i bølgeutbredelsen fra dag til dag

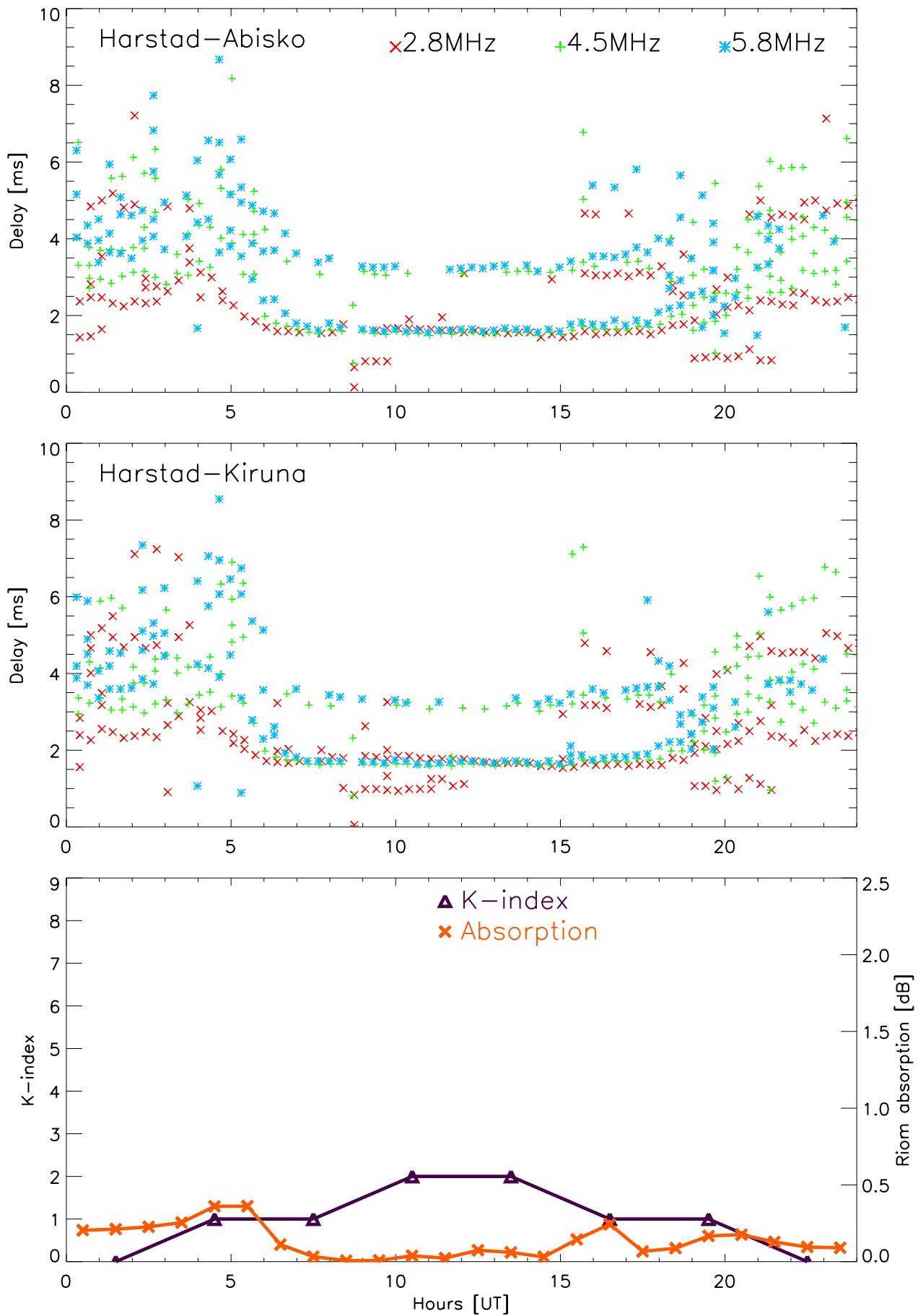
I Seksjonene 3.1 og 3.2 har vi vist gjennomsnittsverdiene for hele 17-dagers perioden av kanalparameterne SNR, Doppler og flerbanespredning. Denne type informasjon er interessant for modemdesignere og frekvensmyndigheter. Gjennomsnittsverdiene skjuler ganske store kanalvariasjoner fra dag til dag, og for en HF operatør som skal etablere kommunikasjon i øyeblikket, er det kjekt å vite om disse store variasjonene og også hvilke type avvik som kan forventes til hvilke tidspunkter. De store variasjonene fra dag til dag skyldes endringer i ”romværet”, og dette gir seg blant annet utslag i forskjellig utbredelse av nordlysovalen. På den siden av ovalen som har sin sydligste utbredelse (geomagnetisk midnatt, som i Norge er kl 22 UT) kan ovalen noen ganger dekke hele Norge og HF kommunikasjon oppleve forstyrrelser også i syd-Norge, mens mere vanlig er at nord-Norge er dekket av ovalen i timene rundt 22 UT.

”Romvær”-parametere som har betydning for HF-kommunikasjon, er solflekketall, geomagnetisk aktivitet og absorpsjon. Vi har sammenlignet våre måledata på HF-kanalen med samtidig målt geomagnetisk aktivitet (K-indeks) og absorpsjon (dB). K-indeksen er en beregnet parameter utifra målt variasjon av magnetfeltet over en tre-timers periode (stor variasjon = stor K), og indeksen vi har benyttet her er målt i Kiruna og gjort tilgjengelig av Institutt för Rymdfysik, Kiruna. Absorpsjonen kan måles av et riometer som dempningen i dB av innkommende kosmisk radiostøy på en bestemt frekvens, her 30 MHz. Den målte riometerabsorpsjonen på 30 MHz kan skales til en annen frekvens, f.eks så tilsvarer en målt absorpsjon på 1 dB på 30 MHz en absorpsjon på 52 dB på 3 MHz. Vi har benyttet riometermålinger gjort i Abisko av Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä. Stedene for målinger av de geofysiske parameterne samstemmer således svært bra med våre HF-målinger.

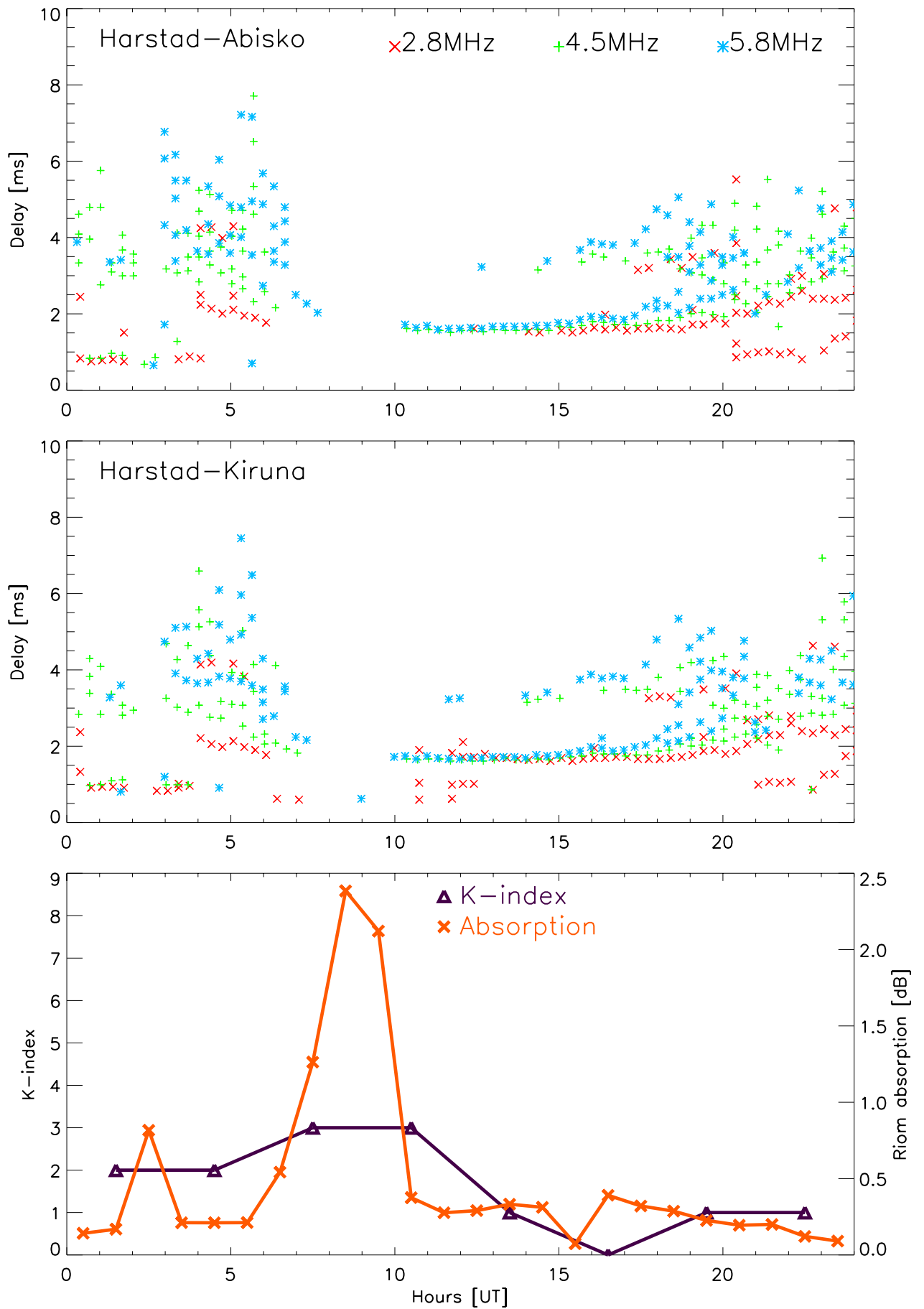
I tillegg til kanalparameterne SNR, Doppler spredning og flerbanespredning har vi også sett på tidsforsinkelse av signalene dag for dag for å se på hvilke høyder signalene blir reflektert fra. Figurene 3.5, 3.6 og 3.8 viser tidsforsinkelsen av utsendte signaler (og dermed høyden av refleksjon) som funksjon av tid på døgnet. Tre forskjellige dager er vist, som hver representerer forskjellige refleksjonsforhold som kan eksistere på nordlige breddegrader.

Figur 3.5 viser en rolig, uforstyrret dag der K-indeksen er maksimalt 2 og riometerabsorpsjonen er maksimalt 0.3 dB (nederste panel). Tre forskjellige frekvenser er vist. Vi ser et tydelig F2-lag (ved 1.5 ms) som reflekterer signalene fra ca kl 5 UT og til kl 19 UT. To-hopps baner kan sees ved den dobbelte avstanden. Den laveste frekvensen 2.8 MHz trenger minst inn i F2-laget, mens den høyeste frekvensen trenger lengst inn. På natten skjer refleksjonene fra et diffust område (spredt-F refleksjon). Dopplerspredningen er svært lav for alle timene denne dagen. SNR for den laveste frekvensen er lav midt på dagen (pga sol-absorpsjon), mens for den høyeste frekvensen er SNR lav på natten (pga at frekvensen nærmer seg MUF). Refleksjonsmønsteret er svært likt for Kiruna og Abisko.

Figur 3.6 viser en dag der det er sterk nordlysabsorpsjon mellom kl 7 og 10 UT. Riometerabsorpsjon på 2.4 dB på 30 MHz tilsvarer 10.5 dB på 5.8 MHz, og høyere på de enda lavere frekvensene. K-indeksen er forholdsvis lav denne dagen. I de timene absorpsjonen varer, ser vi ingen registrerte DAMSON-signaler i Kiruna og Abisko. Når signalene kommer tilbake, er SNR umiddelbart ganske høy. En viss økning i Doppler spredning kan sees for timene 0-7 UT

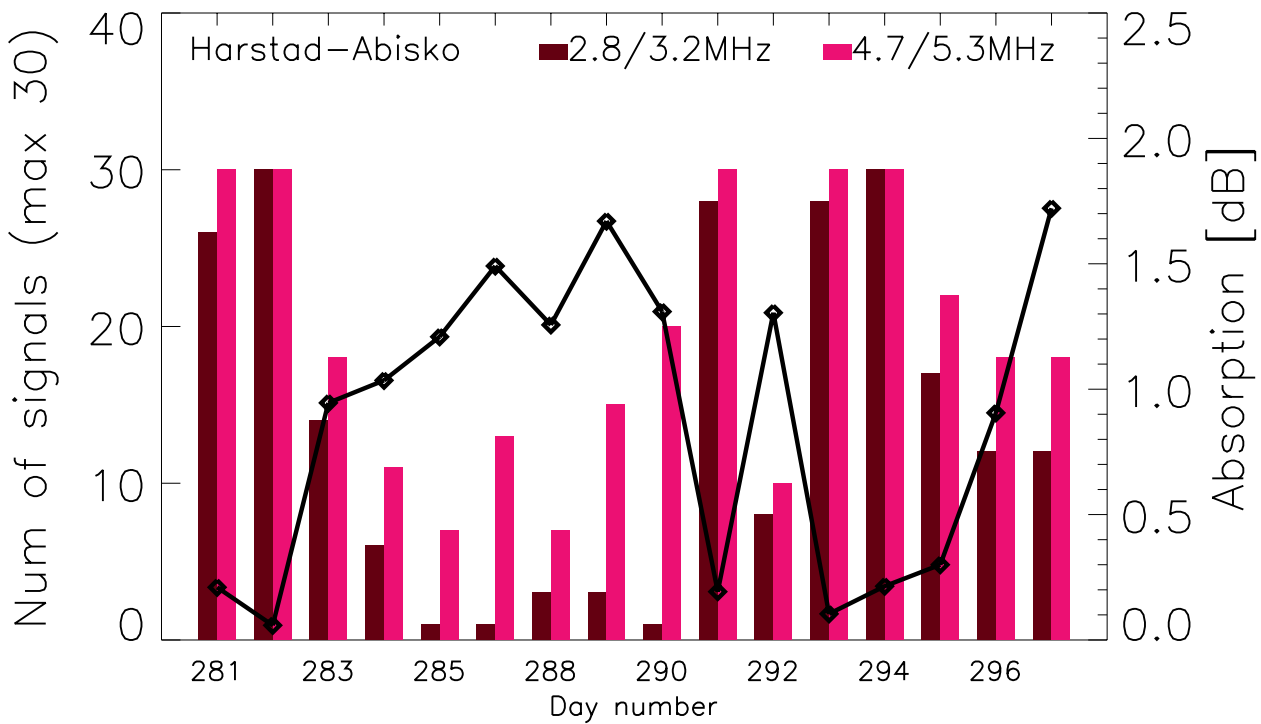


Figur 3.5 Tidsforsinkelse av signalene for dag 293 (1999). Tre forskjellige frekvenser vist: 2.8 MHz (røde kryss), 4.5 MHz (grønne pluss) og 5.8 MHz (blå stjerner).



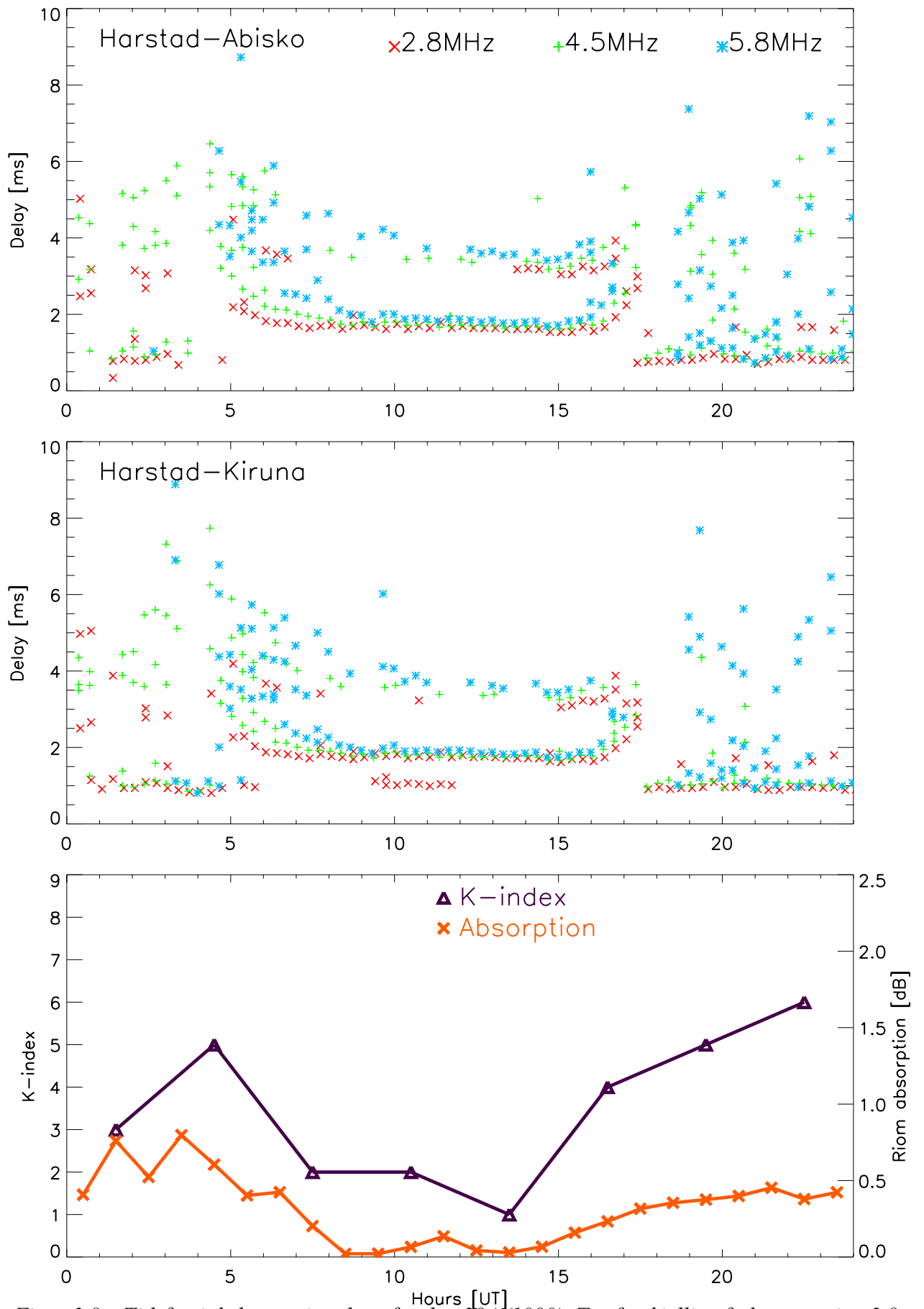
Figur 3.6 Tidsforsinkelse av signalene for dag 292 (1999). Tre forskjellige frekvenser vist: 2.8 MHz (røde kryss), 4.5 MHz (grønne pluss) og 5.8 MHz (blå stjerner).

da K-indeksen har en verdi på 2-3. Sterk nordlysabsorpsjon som kan gi total ”black-out” på HF-signaler forekommer oftest i tidlige morgentimer [Holt et al., 1961]. For å vise hvor avhengig framkommeligheten på HF er av absorpsjonsnivået i ionosfæren, har vi plottet antall mottatte meldinger (av totalt 30 utsendte meldinger) i timene 5-9 UT som funksjon av dag, og i det samme diagrammet også plottet gjennomsnittlig absorpsjonsnivå for de samme timene. Figur 3.7 viser en sterk anti-korrelasjon mellom antall mottatte meldinger og den målte absorpsjonen, og også at de høyere frekvensene (4.7/5.3 MHz) ”står imot” absorpsjonen lengere enn de to lavere frekvensene 2.8/3.2 MHz.

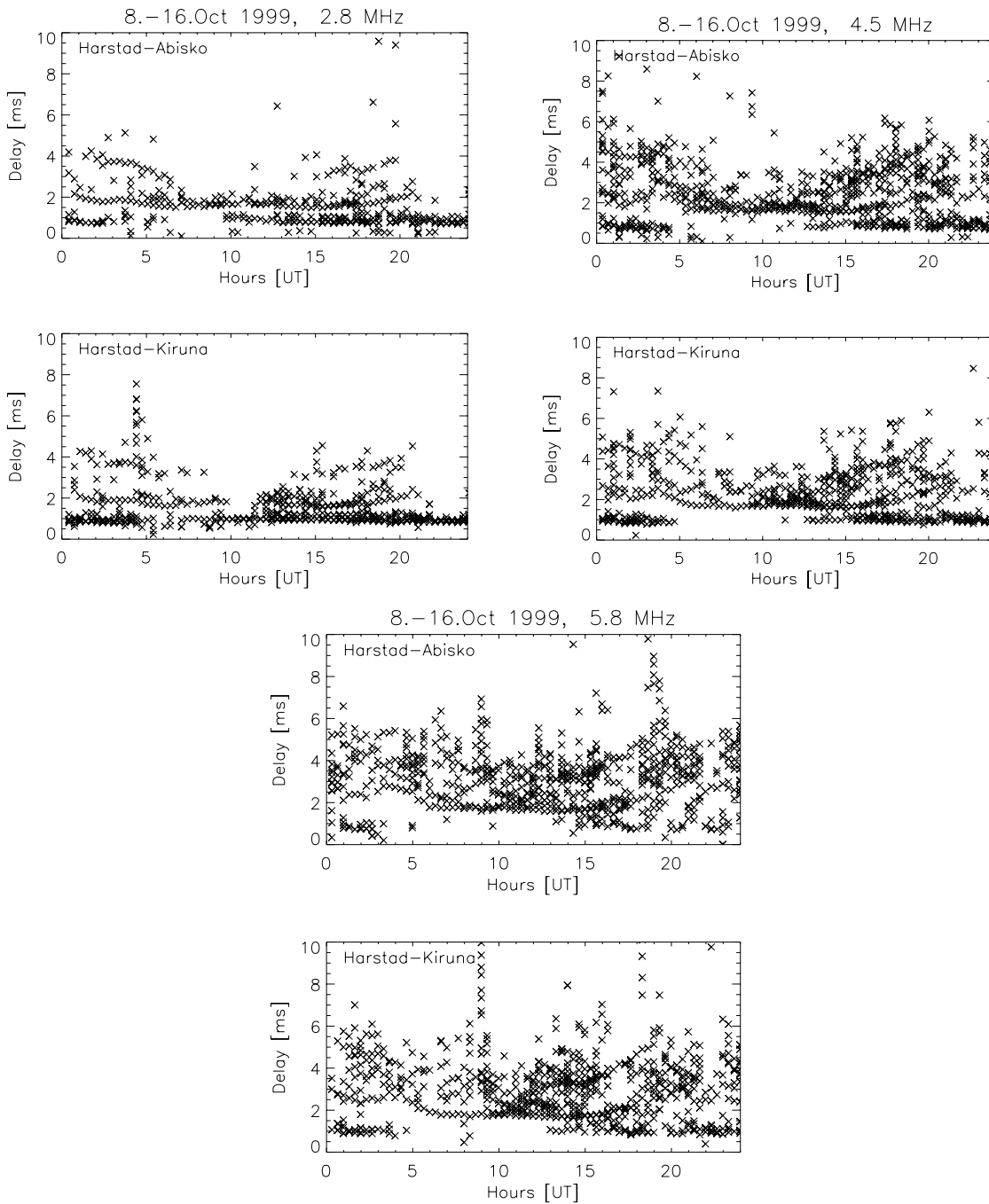


Figur 3.7 Antall mottatte meldinger i timene 5-9 UT som funksjon av dag. To frekvenser er slått sammen slik at maksimalt antall utsendte meldinger er 30. Gjennomsnittlig absorpsjonsnivå for de samme timene er også vist

Figur 3.8 viser et annet karakteristisk trekk ved ionosfæren ved høye breddegrader. Denne dagen er K-indeksen generelt stor, og spesielt stor om kvelden når nord-Skandinavia beveger seg inn under nordlysovalen. I Figur 3.8 vises at det regulære F2-laget brytes opp ved starten av den geomagnetiske forstyrrelsen (økning av K). Når K-indeksen er stor, ser vi i dataene våre at et nordlys E-lag er tilstede. Signalene på kveldstid reflekteres fra dette E-laget (ca 150 km) og Doppler-spredningen er økt. SNR for disse refleksjonene er avhengig av om absorpsjonen også er stor på det gitte tidspunktet. I Figur 3.8 er absorpsjonen ikke spesielt stor, så da kan E-laget som sees, være en god kommunikasjonsbærer. Det er en sterk reflektor for de laveste frekvensene mens frekvenser over 5 MHz på Harstad-Abisko og over 6.5 MHz på Harstad-Kiruna for det meste trenger igjennom E-laget, se Figur 3.9. Nordlys E-laget på kveldstid som vises i figurene, kan observeres svært ofte i nord-Norge (nesten daglig, i større eller mindre grad). Også ved andre tidspunkt på dagen har vi observert E-lag i dataene dersom K-indeksen er høy. Høy Doppler spredning og variabel SNR kjennetegner også disse refleksjonene.



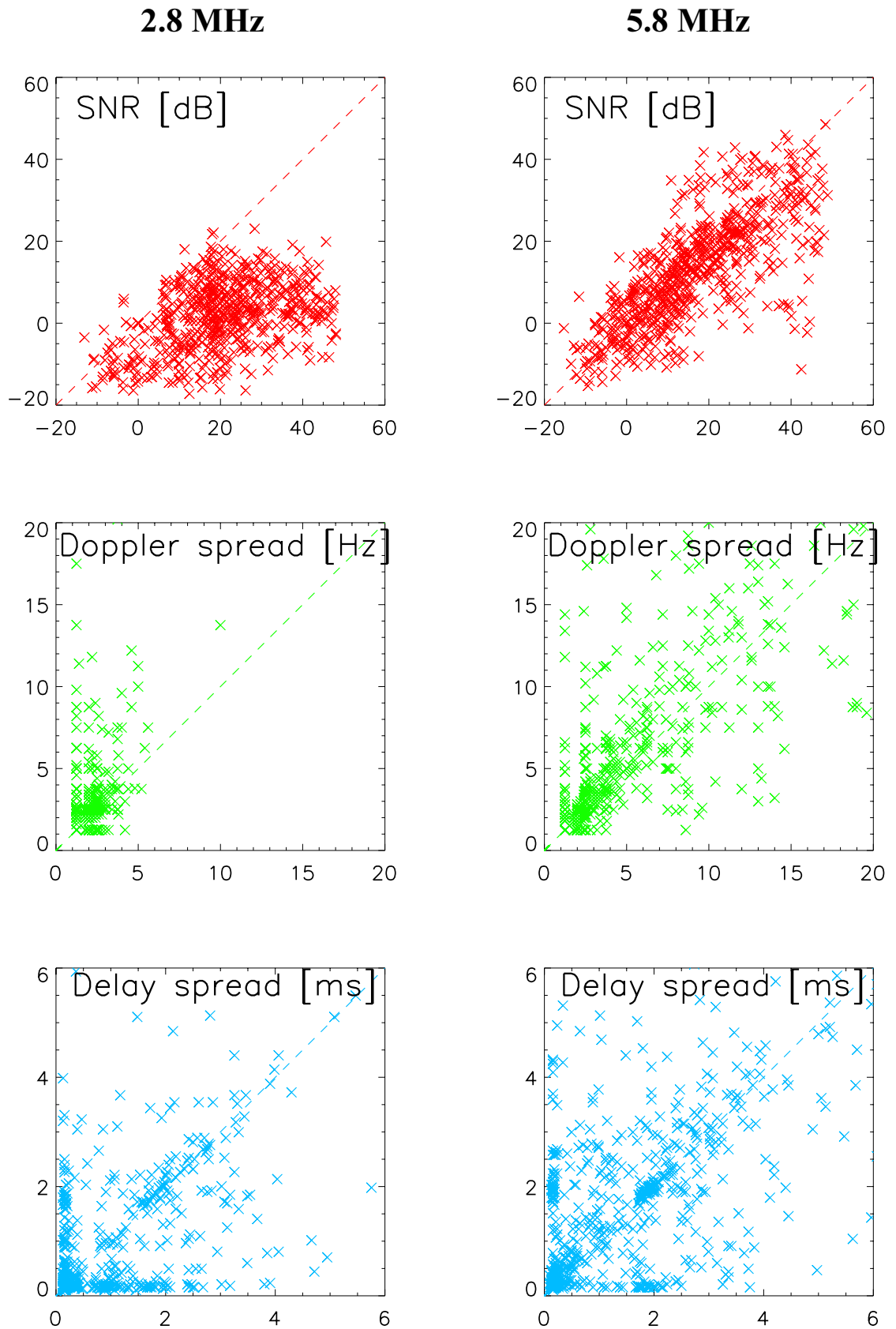
Figur 3.8 Tidsforsinkelse av signalene for dag 294 (1999). Tre forskjellige frekvenser vist: 2.8 MHz (røde kryss), 4.5 MHz (grønne pluss) og 5.8 MHz (blå stjerner).



Figur 3.9 Tidsforsinkelse av signalene i perioden 8.-16. okt på tre forskjellige frekvenser: 2.8, 4.5 og 5.8 MHz.

3.4 Sammenligning av målingene på de to banene

Siden mottakerne i Abisko og Kiruna lytter på de samme utsendte signalene fra Harstad, har vi sammenlignet de målte kanalparametrene på de to strekningene. Foruten at de to signalveiene kan gi forskjellig kanalkarakteristikk, kan antenneplassering og retning på de to mottakerstedene også bidra til dette. I Figur 3.10 har vi plottet datapunkter gjennom hele måleperioden som er registrert samtidig i Abisko og Kiruna. Horizontalaksen viser verdien av den aktuelle kanalparameteren målt i Kiruna og vertikalaksen viser verdien målt i Abisko.



Figur 3.10 Samtidig målte kanalparametere i Abisko og Kiruna (signalet er utsendt fra Harstad). Verdiene målt i Kiruna på horisontalaksen og verdiene målt i Abisko på vertikalaksen. 2.8 MHz i venstre kolonne og 5.8 MHz i høyre kolonne.

Målt SNR i Abisko er betydelig lavere enn i Kiruna, i gjennomsnitt 19 dB lavere på frekvensen 2.8 MHz og 3 dB lavere på 5.8 MHz. Dette skyldes vesentlig 30° forskjell i azimutretning for de to mottakerantennene, samt at antenna i Abisko er mindre optimalt plassert enn antenna i Kiruna i forhold til omgivelsene. Siden utsendt effekt og antenner har så mye å si for mottatt SNR, kan vi ikke trekke noen konklusjon om forskjell i bølgeutbredelsen på de to målestrekningene.

Doppler spredningen er gjennomsnittlig 1-2 Hz større på alle frekvenser på strekningen Harstad-Abisko enn på den 100 km lengere strekningen Harstad-Kiruna. Årsaken til dette kan være refleksjon fra et høyere ionosfærelag som er "uroligere" på den korte målestrekningen, eller at forskjellen i azimut-retning (30°) på de to antennene gjør at antennen i Abisko favoriserer signaler som kommer fra en mer nordlig retning der ionosfæremidiet er mer turbulent.

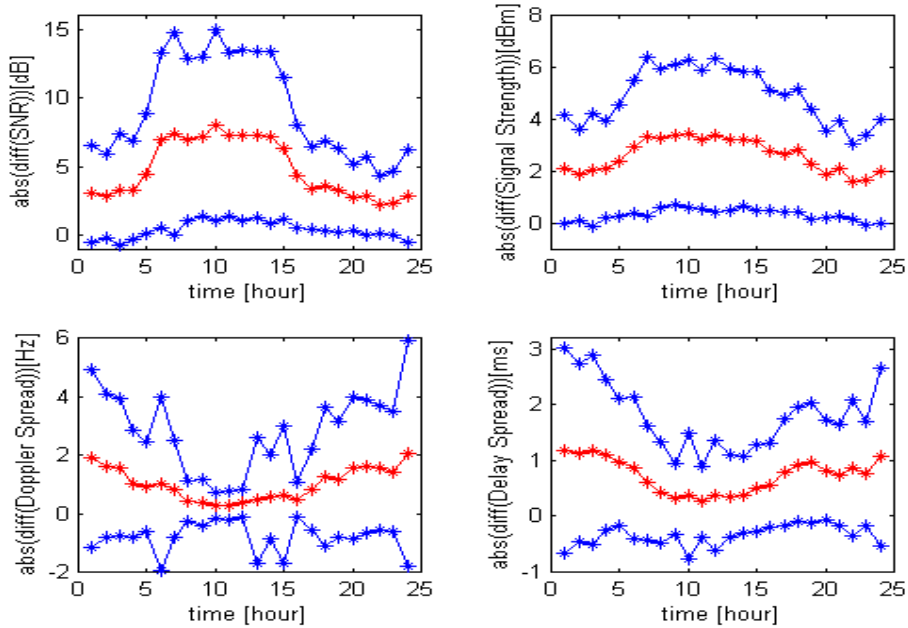
Flerbanespredningen målt samtidig på de to strekningene følger et bestemt mønster som gjenspeiler at ionosfæren er lagdelt: Enten så er kun én enkelt refleksjon registrert på begge målestrekningene med tilnærmet ingen spredning i tid, eller så er det samme antallet refleksjoner med samme tidsforsinkelse registrert på begge banene (ansamling av datapunkter på et visst sted langs diagonalen), eller så er kun én refleksjon registrert på den ene banen og flere refleksjoner på den andre. Målepunktene ligger konsentrert ved visse tidsforsinkelser som viser refleksjoner fra E og F2-lag respektivt.

Vi har også sammenlignet samtidig registrerte datapunkter på de to banene dag for dag og funnet at bølgeutbredelsen på de to banene er svært lik. Den er så lik at man neppe vil vinne noen fordel i tilgjengelighet av samband ved å bruke den ene strekningen framfor den andre.

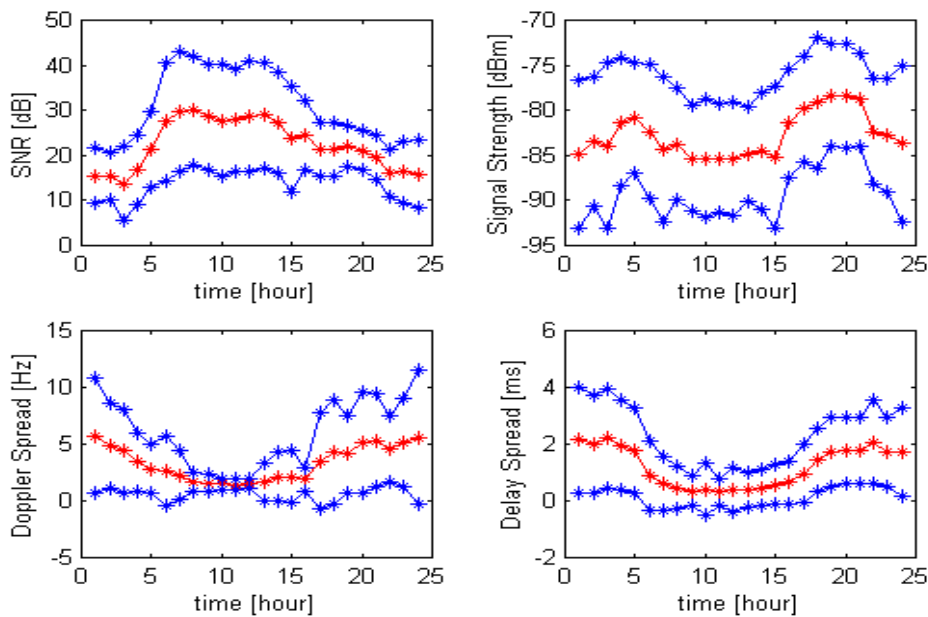
3.5 Raske tidsvariasjoner på frekvensen 4.5 MHz

En annen målekampanje ble gjennomført på de samme to banestrekningene fra 9. til 20. mars 2000. Nøyaktig de samme signalene ble sendt ut, men kun på én frekvens gjennom hele døgnet, frekvensen 4.5 MHz. Denne frekvensen har stor sannsynlighet for å komme fram både dag og natt, ifølge prediksjoner. Ved å ligge fast på én frekvens, fikk vi en kanalmåling per minutt og dermed mye bedre oppløsning i tid enn i den foregående målekampanjen der ti frekvenser ble brukt sekvensielt. Måleapparatene under denne målekampanjen ga også mulighet for å måle absolutt signalstyrke.

Ett av spørsmålene som denne målekampanjen søkte å gi svar på, er hvor raskt kanalparameterne SNR, absolutt signalstyrke, Doppler-spredning og flerbanespredning varierer. Resultatene fra denne analysen er publisert i *Jodalen og Farsund, 2001*, og gjengis i grove trekk her. Figur 3.11 viser absoluttverdien av differansen mellom to påfølgende målinger (1 minutt mellomrom) midlet over hele måleperioden på strekningen Harstad-Abisko. Figur 3.12 viser de virkelige verdiene av de samme kanalparameterne.



Figur 3.11 Gjennomsnittlig variasjon fra minutt til minutt av hhv SNR, signalstyrke, Doppler spredning og flerbanespredning (rød kurve). Standardavvik (blå kurver).



Figur 3.12 Gjennomsnittlige verdier for hhv SNR, signalstyrke, Doppler spredning og flerbanespredning (rød kurve). Standardavvik (blå kurver).

Signalstyrkeverdiene er minst i timene rundt middag (Figur 3.12), mens SNR er størst i disse timene. Det betyr at absorpsjonen forårsaket av solstrålingen rundt middag demper signalet, men at den demper støy og interferens forholdsvis mer. Signalstyrken er maksimum i noen timer rundt kl 5 og 19 UT. I disse timene er absorpsjonen forårsaket av solbestrålingen blitt svakere, samtidig som at F2-laget eksisterer som en god reflektor. Rundt midnatt øker absorpsjonen igjen, denne gangen forårsaket av partikkelnedbør.

Figur 3.11 viser at i ca ti timer rundt lokal middag så varierer i gjennomsnitt SNR med 7 dB fra minutt til minutt. Rundt geomagnetisk midnatt så er variasjonen mindre, ca 3 dB. Variasjonen (Figur 3.11) er størst når SNR-verdiene er størst (Figur 3.12). Dette skyldes delvis at signalstyrken varierer mer rundt middag, men også at interferens og støy varierer mest i disse timene.

De store variasjonene i SNR fra minutt til minutt som vi ser her, viser at for å få til kontinuerlig kommunikasjon, så må man velge et modem med en nedre toleransegrense for SNR en god del dB under det midlere SNR-nivået man forventer. Heldigvis opptrer den største variasjonen på 7 dB fra minutt til minutt når gjennomsnittlig SNR er størst (25-30 dB i 12 kHz båndbredde), så det skulle ikke da by på problemer å finne en bølgeform med god datarate som har en toleransegrense for SNR minst 7 dB lavere.

For Doppler- og flerbanespredning gjelder at variasjonen fra minutt til minutt er størst når selve verdiene er størst. Verdiene og variasjonen er høyest rundt geomagnetisk midnatt og lavest rundt middag. Doppler-spredningen varierer fra minutt til minutt med 1 Hz rundt middag og 2 Hz rundt midnatt. Flerbanespredningen varierer med 0.3 ms rundt middag og 1.2 ms rundt midnatt.

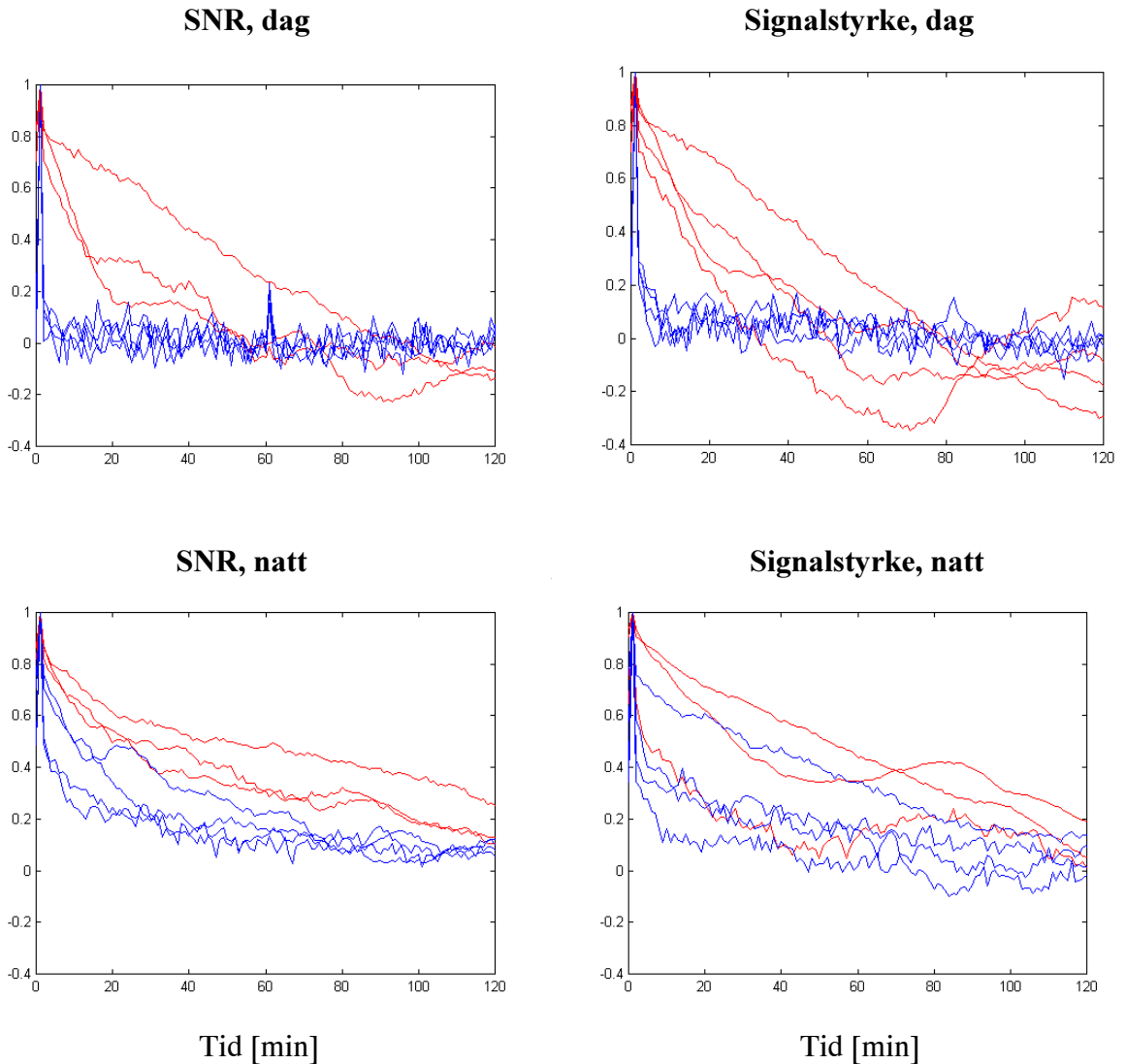
De gjennomsnittlige verdiene for Doppler og flerbanespredning for denne perioden er ikke spesielt store, men standardavviket er på hhv 5 Hz og 2 ms rundt geomagnetisk midnatt, så på denne tiden kan nok mange bølgeformer med høy datarate få problemer.

På Harstad-Kiruna banen er resultatene like de som er vist her, med noe lavere Doppler spredningsverdier og variasjon i verdiene (1-2 Hz).

Ved å se på ett geomagnetisk forstyrret døgn og ett rolig døgn og sammenligne variasjoner i kanalparameterne finner vi at variasjonen i Doppler spredning er størst for den geomagnetisk forstyrrede natten med 3 Hz fra minutt til minutt. Variasjonen i signalstyrke og SNR er litt mindre for den forstyrrede dagen enn for den rolige dagen.

Et annet spørsmål som målekampanjen skulle besvare, er hvor lenge visse kanaltilstander "vedvarer". Dette kan studeres ved å se på autokorrelasjonsfunksjonen av kanalmålingene. Vi fant at for Doppler- og flerbanespredning så endrer kanalen seg raskt; i løpet av 15 min så er autokorrelasjonsfunksjonen mindre enn 0.2. For SNR og signalstyrkeverdier så fant vi at kanalen endrer seg minst over tid når vi har en geomagnetisk forstyrrelse, dvs kanalen "vedvarer" i sin nåværende form lengst. Signalstyrke og SNR kan da "vedvare" i rundt en time om dagen og opp til to timer om natten. Når kanalen er uforstyrret, er det nesten ingen korrelasjon mellom 1-minutts målepunkter på dagtid, men en viss korrelasjon som varer opp til en halv time kan sees i nattmålingene. Figur 3.13 viser autokorrelasjonsfunksjonen av SNR og signalstyrkeverdier for et visst utvalg av forstyrrede og uforstyrrede dager.

Vi tror grunnen til at autokorrelasjonen er størst for de forstyrrede dagene, er at *når* absorpsjon opptrer (under en geomagnetisk forstyrrelse), så er det en "langsom" prosess som vedvarer over noen timer.



Figur 3.13 Autokorrelasjonsfunksjonen av SNR og signalstyrkeverdier for et visst utvalg av forstyrrede og uforstyrrede dager. Forstyrrede dager er tegnet med *rodt* og uforstyrrede dager med *blått*. Korrelasjonsfaktor på vertikal akse.

4 KONKLUSJON

Denne analysen av to HF NVIS kanaler på høy breddegrad (Harstad-Abisko 90 km, og Harstad-Kiruna 190 km) har gitt et godt inntrykk av hvilke kanalforhold man kan forvente når man prøver å etablere samband på avstander 90-200 km. Kanalparametere som er målt, er signal-støy forhold (SNR), signalstyrke, Doppler spredning og flerbanespredning. Størrelsen av disse parameterne har avgjørende betydning for framkommeligheten av en viss bølgeform (modem), gitt at bølgeformen bare kan håndtere en viss størrelse av dem. De viktigste konklusjonene fra analysen er:

Tilgjengeligheten av kommunikasjon er størst mellom kl 11 og 17 UT, og minst mellom kl 3 og 10 UT. SNR er også størst midt på dagen. For de laveste frekvensene (<5 MHz) er SNR størst

fra 11 til 17 UT og for de høyere frekvensene er SNR størst i timene som ligger symmetrisk rundt lokal middag (11 UT).

Doppler spredningen er lav ($<5\text{Hz}$) for de laveste frekvensene og ikke særlig varierende over tid på døgnet. Doppler spredningen øker med frekvens, og for de høyere frekvensene er Doppler spredningen størst om kvelden (5-25 Hz). Doppler spredningen målt i Abisko (kort bane) ligger 1-2 Hz høyere enn i Kiruna, men dette kan muligens skyldes forskjellig antenne-montering på de to mottakerstedene.

Gjennomsnittlig SNR er størst for frekvenser i båndet mellom 4.0 og 5.8 MHz for alle tidsperioder på begge de to strekningene målt her.

På høye breddegrader er kanalforholdene svært variable fra dag til dag og spesielt to karakteristiske trekk har vi observert her: Et nordlys E-lag forekommer ofte (nesten daglig) assosiert med økt geomagnetisk aktivitet (økt K-indeks), og det tjener som en god reflektor for HF-signaler. Forekomsten av E-laget er størst på sen kveldstid, og refleksjonene gir ofte middels bra SNR og en viss økt Doppler-spredning. Det andre karakteristiske trekket ved ionosfæren på høy breddegrad som har stor innflytelse på HF, er at stor absorpsjon kan forekomme om morgenen (5-10 UT) og gi lav eller ingen tilgjengelighet i disse timene.

Bølgeutbredelsen på de to strekningene (90 og 190 km) er så lik at man ikke oppnår noen tilgjengelighetsgevinst ved å kommunisere på den ene framfor den andre.

For frekvensen 4.5 MHz som ble målt med god tidsoppløsning av måleprobene, varierer SNR mest når SNR-verdiene er høyest, i gjennomsnitt 7 dB fra minutt til minutt midt på dagen og 3 dB om natten. Doppler- og flerbanespredningen varierer mest når verdiene av dem er høyest, og det skjer om kvelden (i gjennomsnitt 2 Hz og 1.2 ms fra minutt til minutt). Kanalparameterne "vedvarer" lengst (størst korrelasjon mellom nærliggende måleprober) under en geomagnetisk forstyrrelse.

En mer spesifikk analyse av signal og støynivåer målt under den samme NVIS-målekampanjen er gjort i *Prytz, 2000*. De viktigste konklusjoner fra den rapporten er:

På en rolig, uforstyrret dag gir prediksjonsprogrammet ICEPAC [*Stewart og Hand, 1990*] et godt estimat av aktuelle signalnivåer. På en geomagnetisk forstyrret dag ligger prediktert signalnivå ca 10-20 dB over det vi har målt på disse to NVIS-banene. Signalnivåene er svakest midt på dagen og variasjonen i signalnivå er størst midt på dagen (som referert tidligere i denne rapporten). Den menneskeskapte støyen dominerer støybildet, men målt støynivå ligger ofte under det dynamiske området til vår mottaker slik at store konklusjoner ikke kan trekkes om støynivået.

Litteratur

- (1) Davies N C, Cannon P S, "DAMSON – A system to measure multipath dispersion, Doppler spread and Doppler shift on multi-mechanism communications channel", *CP-543, AGARD Symp. on Multiple Mechanism Propagation Paths (MMPPs): Their Characterisation and Influence on System Design*, paper 36, Rotterdam, 1993
- (2) Willink T J, Landry E, "Analysis of time-varying HF propagation characteristics", *IEE Conference Proceedings 441*, s 70-74, IEE Nottingham, 1997
- (3) Angling M J, Cannon P S, Davies N C, Willink T J, Jodalen V, Lundborg B, "Measurements of Doppler and multipath spread on oblique high latitude paths and their use in characterizing data modem performance", *Radio Science 33*, s 97-107, 1998
- (4) Willink T J, Davies N C, Angling M J, Jodalen V, Lundborg B, "Robust HF data communications at high latitudes", *IEE Proc. Microwave Antennas and Propagation 146*, s 263-268, 1999
- (5) Bergsvik T, "Evaluering av HF-modemer og flerfrekvenssystemer basert på kanalmålinger på høye breddegrader", *Hovedfagsoppgave*, IFI, UiO, 1998
- (6) Jodalen V, Bergsvik T, Cannon P S, Arthur P C, "The performance of HF modems on high latitude paths using multiple frequencies", *accepted to Radio Science*, 2001.
- (7) Cannon P S, Angling M J, Davies N C, Willink T J, Jodalen V, Jacobsen B, Lundborg B, Bröms M, "DAMSON HF channel characteristics – a review", *IEEE MILCOM 2000*, Los Angeles, 2000
- (8) Jodalen V, Lundborg B, Jacobsen B, "Characteristics of the high latitude NVIS channel", *IEE Conference Proceedings 474*, s 269-273, IEE, Guildford, 2000
- (9) Tooby M H, Arthur P C, Cotterill P L, "An assessment of the propagation characteristics of the HF NVIS channel", *IEE Conference Proceedings 474*, pp263-267, IEE, Guildford, 2000
- (10) Warrington E M, Jackson C A, Stocker A J, Jones T B, "Observations of the directional characteristics of obliquely propagating HF radio signals and simultaneous HF radar measurements", *IEE Conference Proceedings no 474*, s 243-248, Guildford, UK, 2000
- (11) Holt O, Landmark B, Lied F, "Analysis of riometer observations obtained during polar radio blackouts", *JATP 23*, s 229, 1961
- (12) Jodalen V, Farsund B H, "Time variability of a high latitude NVIS channel", *Nordic Shortwave Conference, Conference Proceedings*, Fårö, Gotland, 2001-08-01
- (13) Prytz S, "Evaluering av prediksjonsprogrammet ICEPAC's presisjon i nordlyssektoren ved hjelp av signalstyrkemålinger", *FFI-Rapport 2000/05495*, FFI, 2000
- (14) Stewart F, Hand G, Institute of Telecommunications Sciences, Boulder, Colorado, USA – private communication 1991-1994

FORDELINGSLISTE

FFIE
Dato: 22 august 2001

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR			RAPPORT NR. 2001/04168	REFERANSE FFIE/742/110	RAPPORTENS DATO 22 august 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD UGRADERT			ANTALL EKS UTSTEDT 95	ANTALL SIDER 34	
RAPPORTENS TITTEL HF NVIS KOMMUNIKASJON - Kanalkarakteristikk på høye breddegrader			FORFATTER(E) JODALEN Vivianne		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:			FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:		

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		Bodil Hvesser Farsund, FFIE
1		HFK	1		Jostein Sander, FFIE
1		LFK	1		Ove K Grønnerud, FFIE
1		Forsvarets stabsskole/Hærvadlingen	1		Snorre Prytz, FFIE
1		Sambandsinspektøren	1		Svein Haavik, FFIE
1		Infanteriinspektøren	1		Vegard Arneson, FFIE
1		Artilleriinspektøren	1		Bjørn Jacobsen, FFIE
1		Stedfortredende artilleriinspektør/ Luftvern	3		Vivianne Jodalen, FFIE
1		Kavaleriinspektøren	1		Eivind Thrane, FFIE
1		Ingeniørinspektøren	1		Tom A Blix, FFIE
1		Treninspektøren	1		Ulf P Hoppe, FFIE
1		Assisterende treninspektør/HVK	1		Nils A Sætermoen, FFIE
1		Sanitetsinspektøren	1		Bjørn Solberg, FFIE
1		Heimevernsskolen/Dombås	1		Roald Otnes, FFIE
1		SBTR/STKP/TMBN	1		Kjetil Mosesen, FFIE
		Postboks 55	1		Oddbjørn Grøtta, FFIS
		3645 Heistadmoen	1		Karsten Bråthen, FFIE
1		FTD	1		Terje Johnsen, FFIE
1		Luftfartsverket	5		Arkiv, FFIE
		Bodø ATCC/HF			FFI-veven
		Postboks 814			
		8001 Bodø			
1		NRRL			
		Postboks 20, Haugenstua			
		0915 Oslo			

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		Sambandsavdelingen DKN v/ Radiooffiser Postboks 60 9401 Harstad			
1		Distriktskommando Østlandet/Sambandsavdelingen v/Radiooffiser Postboks 4024, Postterminalen 2301 Hamar			
1		Sør-Trøndelag HV-12 v/Dag Inge Hagerup Trondheim Mil 7004 Trondheim			
1		Hærens Jegerkommando V/Sambandsoffiser 2451 Rena			
1		Marinejegerkommando ROS 9442 Ramsund			
1		EST/tropp/EKKP Postboks 232 9250 Bardu			
1		KNM Tordenskjold v/Finn Norstad			
1		Våpenskolen for Hærens samband			
1		Sambandsoffiseren Oppklesk/N Postboks 16 9250 Bardu			
1		Thales Communication v/Halvor Liland Postboks 22, Økern 0508 Oslo			
1		SFK v/Frode Merkesvik			
1		QinetiQ attn: Paul Cannon Tactical Communications Division D709 Malvern, Worcs., WR143PS, UK			
1		FOI Attn: Bengt Lundborg P.O.Box 1165 S-58111 Linköping, Sverige			
1		CRC, Attn: Tricia Willink P.O.Box 11490, Station H 3701 Carling Avenue Ottawa, Ontario, Canada K2H8S2			
1		FO/E v/Yngve Pedersen			
1		FO/I v/Alf J. Thun			
1		FO/HST v/Maj Jan-Tore Eidsvåg			
1		HFK v/Sen.ing Terje Bergman			
1		LFK v/Sj.ing Jon Teigland			
1		SFK v/Haldor Halvorsen			
1		SBINSP v/Maj Knut I. Rønning			
1		FTD v/Sen.ing Bjørn P. Torgersen			

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.