

HF kommunikasjon i nordområdene, - fra Forsvarets ståsted

Norsk Hammeeting

14. april 2018

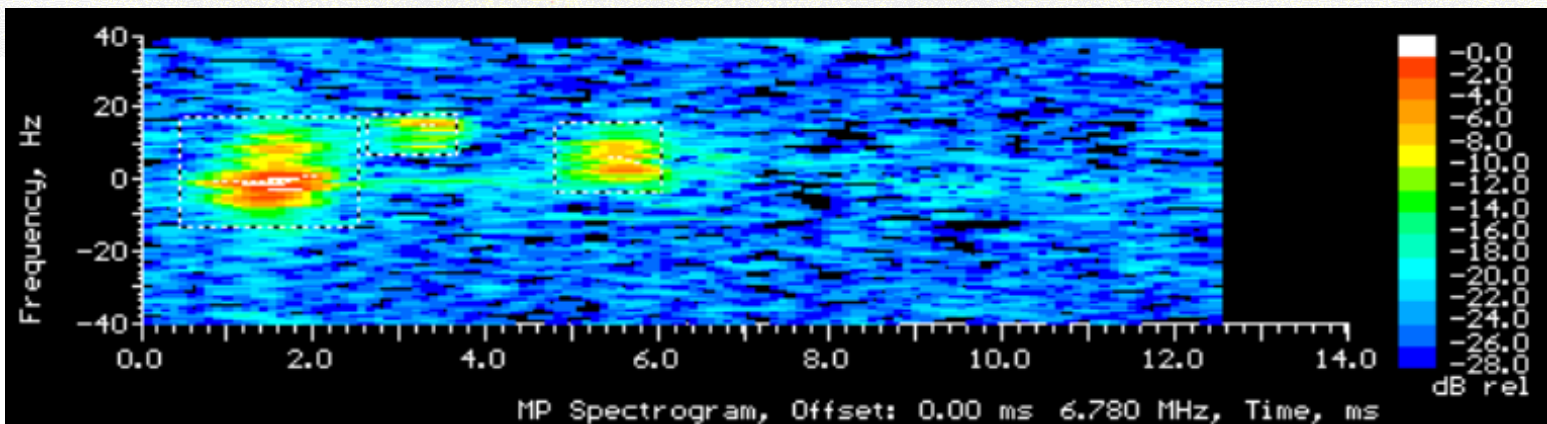
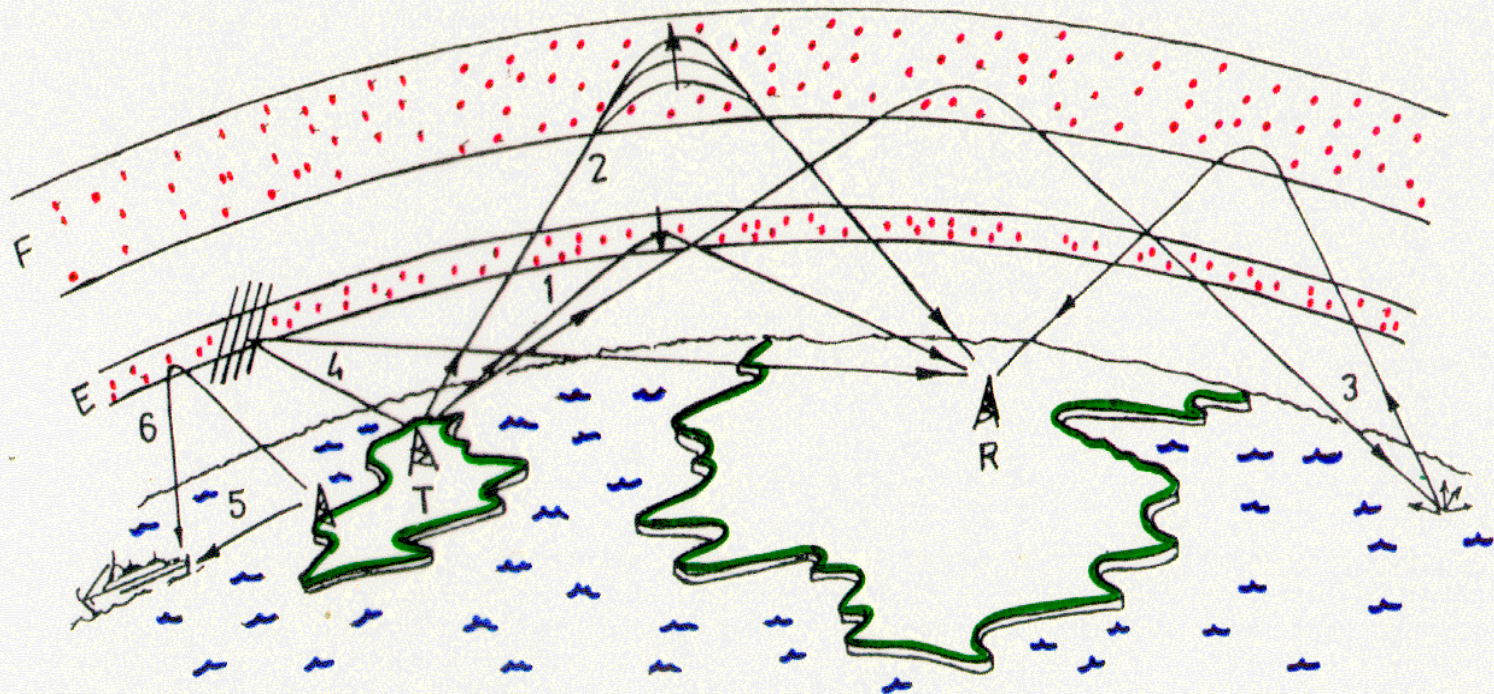
Vivianne Jodalen, FFI



Innhold

- Militær teknologiutvikling på HF
- Forsvarets bruk av HF
- HF i nordområdene
 - Forskningsaktivitet og nye måleresultater på FFI

HF kommunikasjon (3-30 MHz)

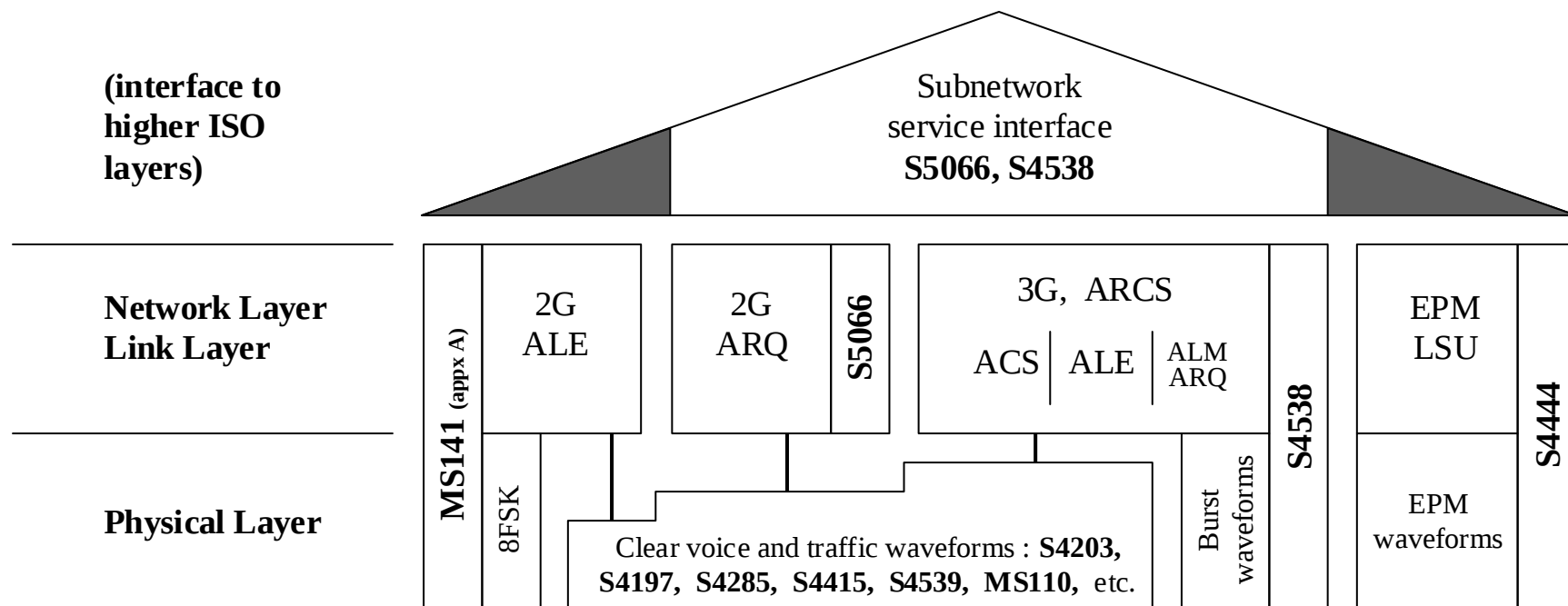


Militær teknologiutvikling på HF

HF teknologiutvikling fram til «i går»

- Radiotelegrafisten (1900 – 1980)
- Matematiske modeller av ionosfæren og prediksjoner for å velge frekvens og bølgeform (1970/1980)
- Automatic Link Establishment (ALE) – radioer måler selv kanalforholdene for så å velge best frekvens automatisk (1980/1990)
 - 2G: asynkron scanning av sett med frekvenser gir linketid ~20 s
 - 3G: synkron scanning av sett med frekvenser gir linketid ~ 8 s
- Bølgeformer (1990): Singeltone, lineær modulasjon, single sideband (SSB) i 3 kHz gir maks data rate på 9.6 kbps
- US Mil-standardisering og NATO standardisering – «HF Huset» av standarder

HF «huset» av NATO standarder

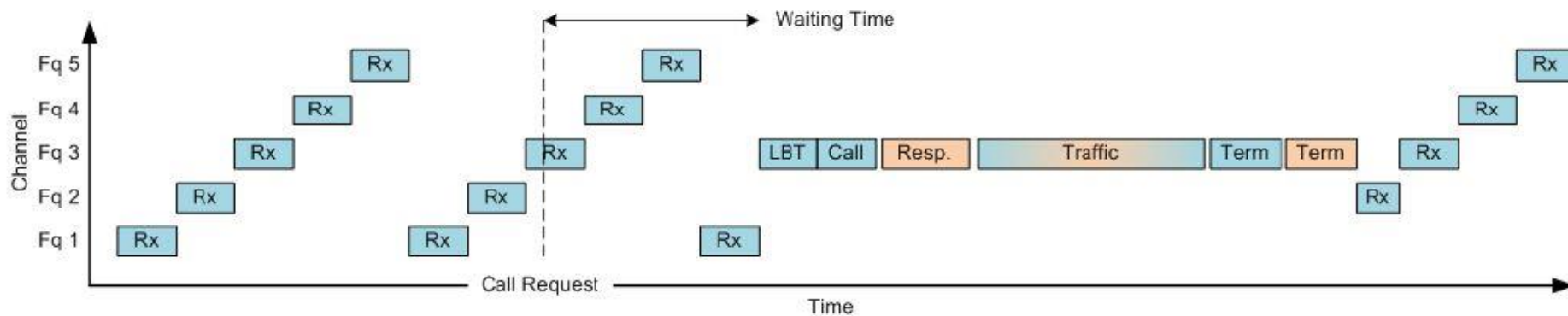
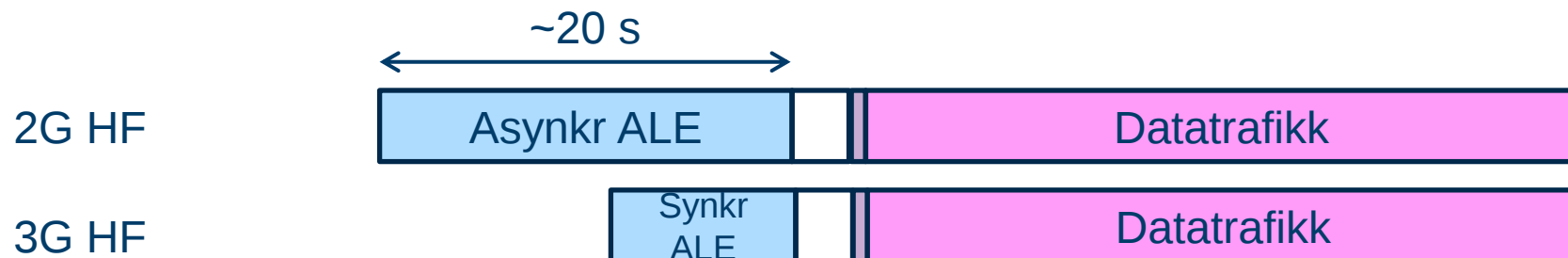


KEY 2G: second generation 3G: third generation Snnnn: STANAG MSnnn: Mil-Std

Hovedutfordringer for HF ingeniøren

- Finne rett frekvens til enhver tid: ALE (Automatic Link Establishment)
- Utnytte den smale båndbredden optimalt til enhver tid: Bølgeform
 - adaptiv koding og modulasjon (robusthet kontra datarate)
 - bekjempe flerbanner og Doppler spredning
 - hindre for lange «snu-tider» på linken
- Integrasjon av HF i IP nettverk

Scanning Automatic Link Establishment (ALE)



Wideband ALE (4G)

- Utvikles nå for mil-standardisering i USA (av industri og akademia)

Egenskaper:

- Skanner et forhåndsdefinert sett med frekvenser (som før)
- Velger frekvens og kaller opp med 3 kHz bølgeform
- Informasjon utveksles mellom Tx og Rx om bl a ledig båndbredde og krav til kanalkvalitet – ALE robusthet velges ut fra det
- Mulighet til å velge moderat forstyrrelse av andre signaler på lufta
- Asynkron og synkron scanning
- «Robust» og «Fast» linking

Neste steg innen ALE: «Staring» i stedet for «scanning»

- Muliggjort av: Software definert radio og ekstremt rask prosessering
- Parallelt mottak av større frekvensbånd:
 - Fullbåndsmottaker: *Cognitive Networked HF system, KNL networks, Finland*
 - Bredbåndsmottaker: *HF-XL system, Thales, Frankrike*
 - Multiple mottakere: *«Instantaneous channel access for 3G-ALE systems», FMV og Combitech, Sverige*
- Linketider ned mot 1 s
- Ser ut til å forsinke standardiseringsprosessen i USA.....

Nye bølgeformer som bruker mere båndbredde

Mil Std 188-110C Wideband HF (WBHF)

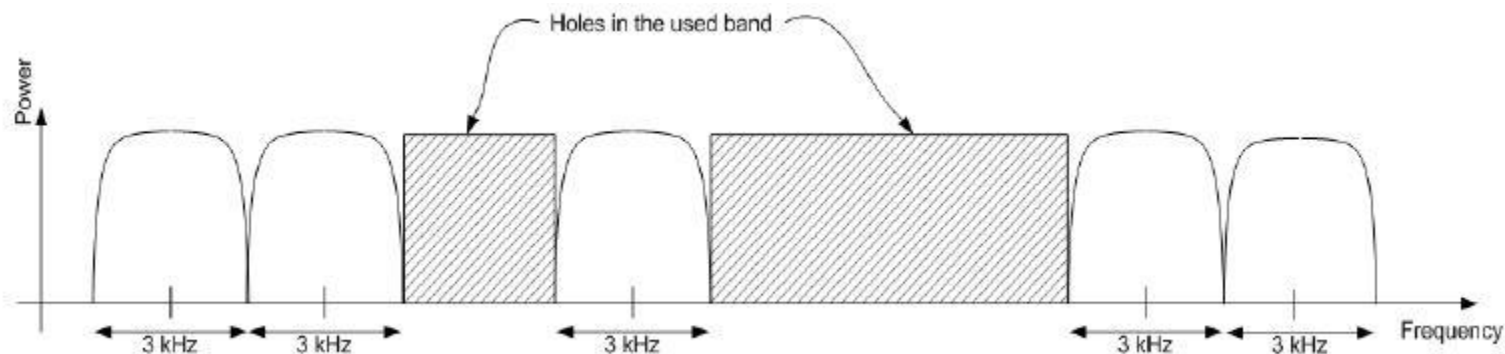
1G bølgeformer

2G bølgeformer

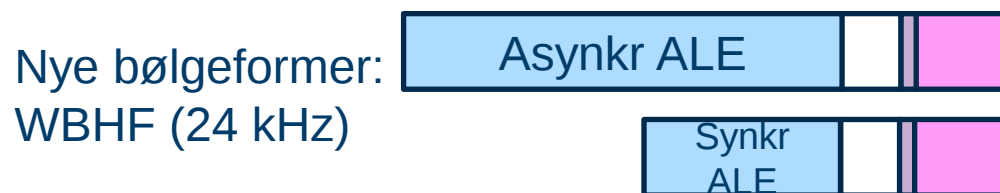
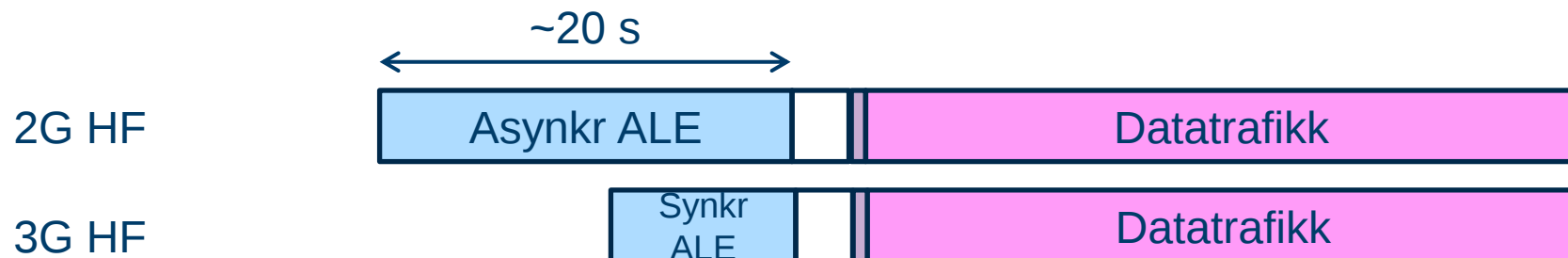
Waveform Number	0 Walsh	1 BPSK	2 BPSK	3 BPSK	4 BPSK	5 BPSK	6 QPSK	7 8PSK	8 16QAM	9 32QAM	10 64QAM	11 64QAM	12 256QAM	13 QPSK
Bandwidth (kHz)														
3	75	150	300	600	1200	1600	3200	4800	6400	8000	9600	12000	16000	2400
6	150	300	600	1200	2400	3200	6400	9600	12800	16000	19200	24000	32000	
9	300	600	1200	2400	-	4800	9600	14400	19200	24000	28800	36000	48000	
12	300	600	1200	2400	4800	6400	12800	19200	25600	32000	38400	48000	64000	
15	300	600	1200	2400	4800	8000	16000	24000	32000	40000	48000	57600	76800	
18	600	1200	2400	4800	-	9600	19200	28800	38400	48000	57600	72000	90000	
21	300	600	1200	2400	4800	9600	19200	28800	38400	48000	57600	76800	115200	
24	600	1200	2400	4800	9600	12800	25600	38400	51200	64000	76800	96000	120000	

Alternativt forslag fra Thales Frankrike, HF-XL

- Setter sammen ikke-kontinuerlige 3 kHz frekvenser innenfor 200 kHz for å oppnå høyere datarater



Tidsbruk på overføring av en fil (illustrasjon)



HF bruk i Forsvaret i dag

Forsvarets perspektiv på HF kommunikasjon

- Popularitet svinger over tid
- HF «dør aldri» på grunn av sine langtrekkende egenskaper uavhengig av infrastruktur
- Nødvendighet i havområdene i nord der geostasjonær satkom er utilfredsstillende
- Også viktig i den taktisk «spisse» enden av Forsvaret
- Ønsker seg:
 - HF som en integrert del av kommunikasjons-infrastrukturen der informasjonstjenester kan rutes over tilgjengelig sambandsbærer, ikke et «stand-alone» system
 - Høyere båndbredde og raskere reaksjonstid
 - Skjulthet for kommunikasjonen

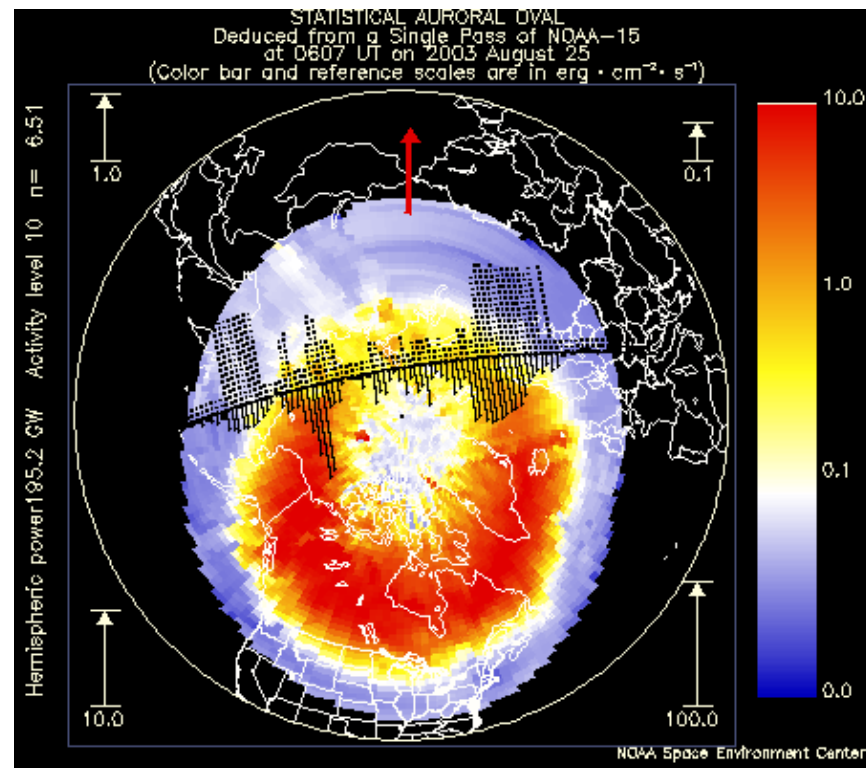
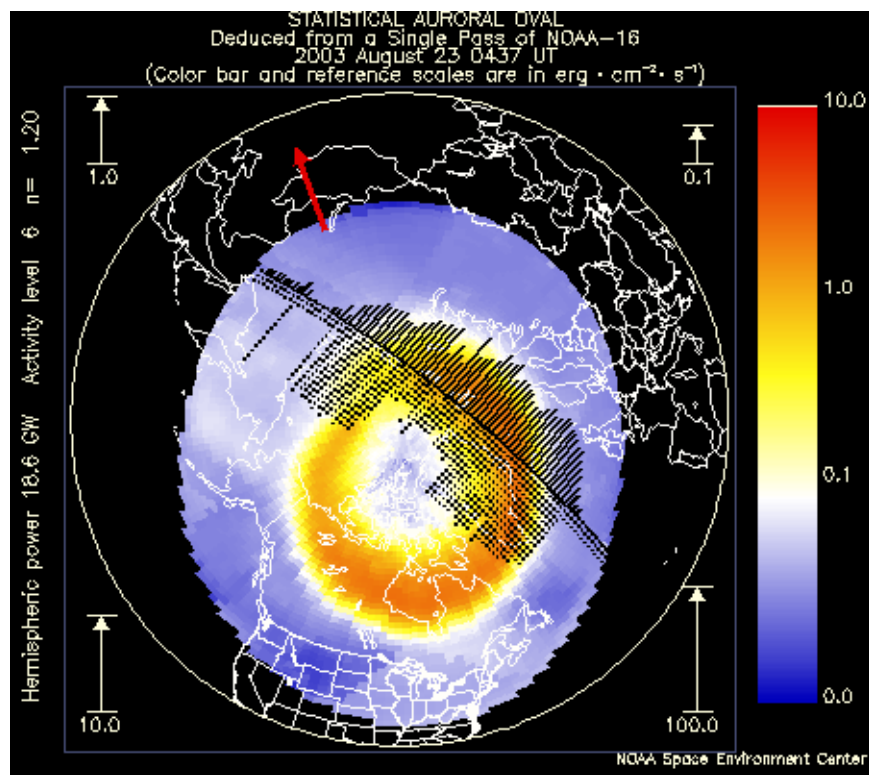
HF bruk i Forsvaret idag

- I alle tre forsvarsgrener – innen Sjøforsvaret i noen tilfeller primærkommunikasjon
- HF stasjonær infrastruktur på land; store sendere for å dekke fjerntliggende strøk
- Kringkasting og punkt-til-punkt samband
- NATO forpliktelser i våre havområder
- Taktisk kommunikasjon med bærbart utstyr
- Ingen felles og koordinert bruk av HF på tvers av forsvarsgrener



Noen måleresultater på HF i nord

Nordlysovalen gjør HF kanalen spesiell på høy breddegrad



Tilgjengelighet av bredbåndsbølgeformer er målt i nord

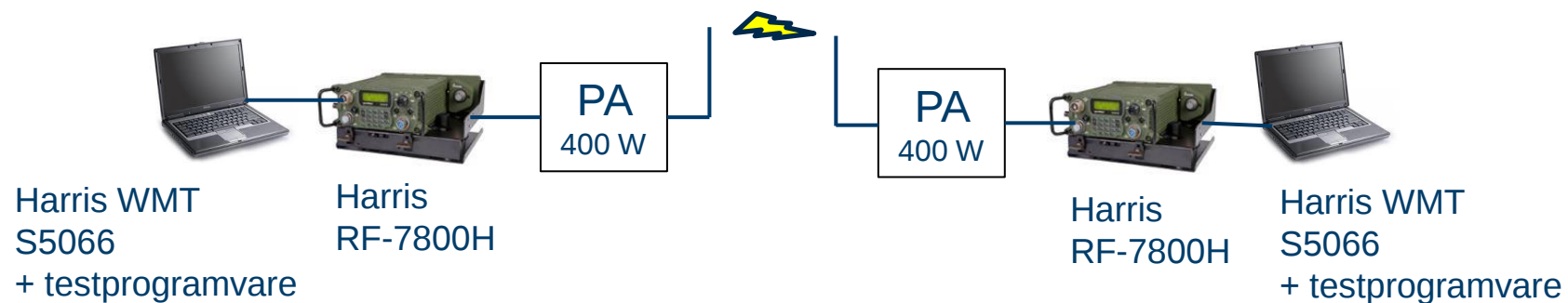
- Mil-Std 188 110C Appendix D bølgeformer
- Harris proprietær bredbånd-Automatic Link Establishment (ALE)
- Script kjørte tester hver time, 24 timer i døgnet

Kystvaktskipet «KV Svalbard»

Forsvarets stasjon på Stangnes, 68.79°N,
16.60°E

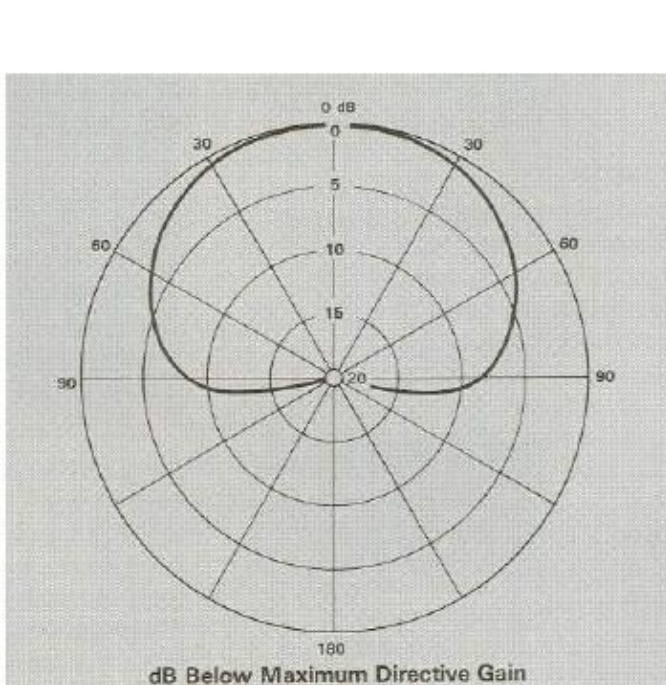


Måleoppsett for WBHF (Wideband HF)



Tx antenne på Stangnes - vertikal log-periodisk, (retning 60° East)

Azimuth Plane Radiation Pattern



Rx antenne på KV Svalbard - vertikal pisk

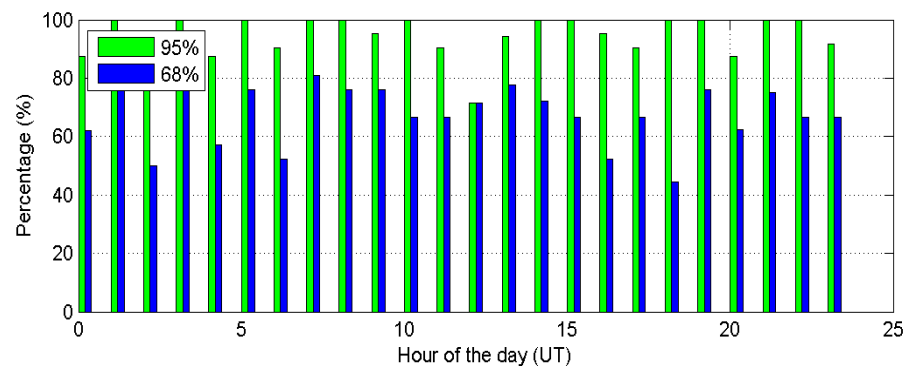
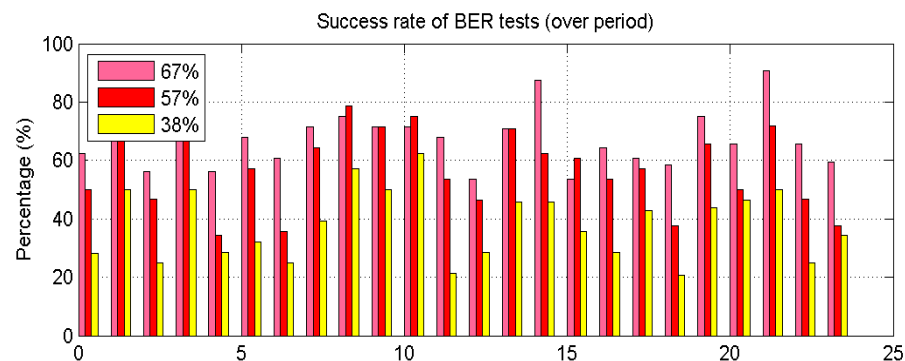
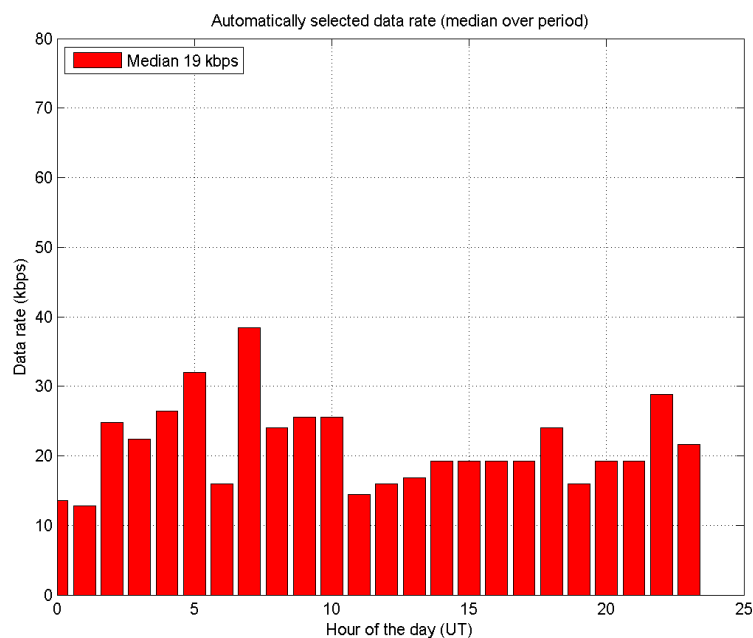
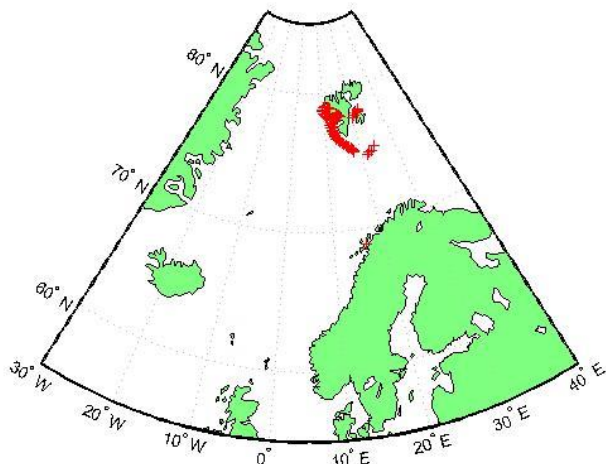


Hver time ble det gjort en serie med Bit Error Rate (BER) tester på forskjellige bølgeformer

Waveform Number	0 Walsh	1 BPSK	2 BPSK	3 BPSK	4 BPSK	5 BPSK	6 QPSK	7 8PSK	8 16QAM	9 32QAM	10 64QAM	11 64QAM	12 256QAM	13 QPSK
Bandwidth (kHz)														
3	75	150	300	600	1200	1600	3200	4800	6400	8000	9600	12000	16000	2400
6	150	300	600	1200	2400	3200	6400	9600	12800	16000	19200	24000	32000	
9	300	600	1200	2400	-	4800	9600	14400	19200	24000	28800	36000	48000	
12	300	600	1200	2400	4800	6400	12800	19200	25600	32000	38400	48000	64000	
15	300	600	1200	2400	4800	8000	16000	24000	32000	40000	48000	57600	76800	
18	600	1200	2400	4800	-	9600	19200	28800	38400	48000	57600	72000	90000	
21	300	600	1200	2400	4800	9600	19200	28800	38400	48000	57600	76800	115200	
24	600	1200	2400	4800	9600	12800	25600	38400	51200	64000	76800	96000	120000	

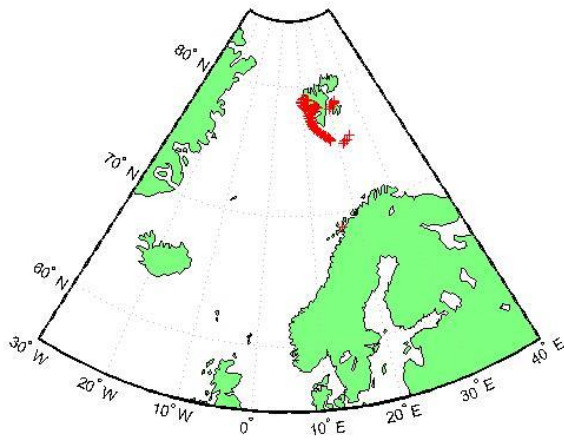
Resultater – oppnådde datahastigheter i nord

Eksempel: Sommer, 9 dager fra mai/juni 2015, geomagnetisk rolige forhold

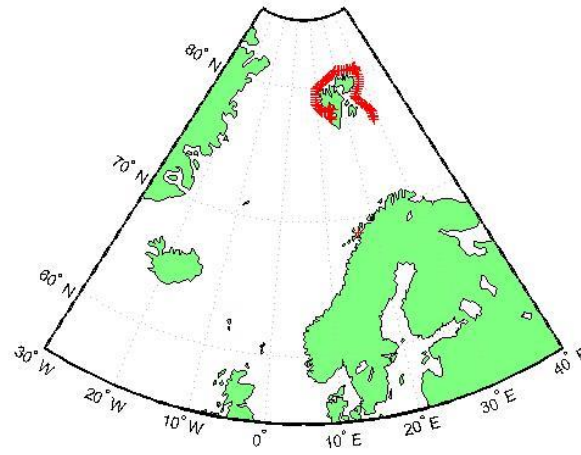


Resultater – forskjellige perioder i nord

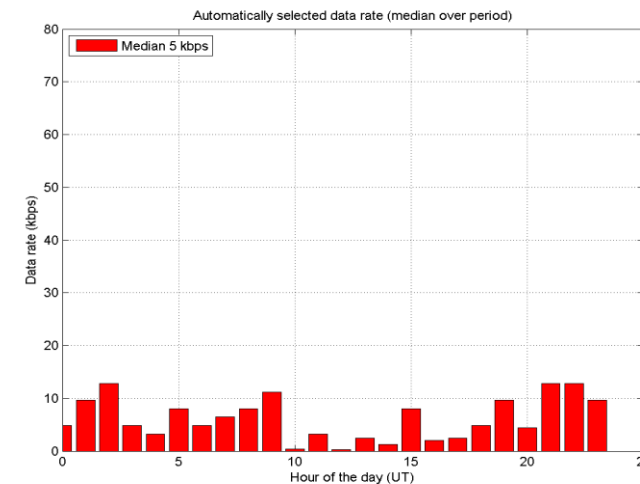
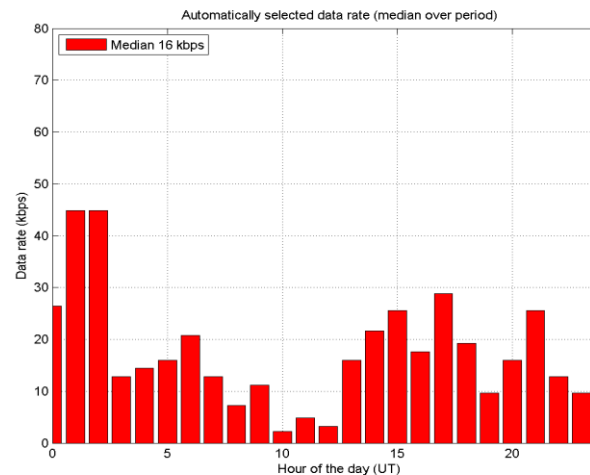
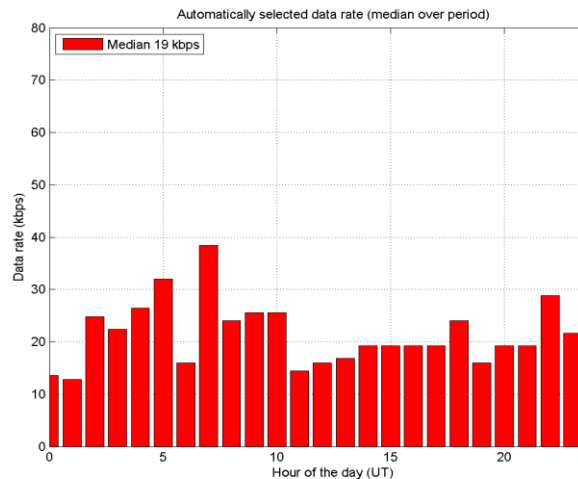
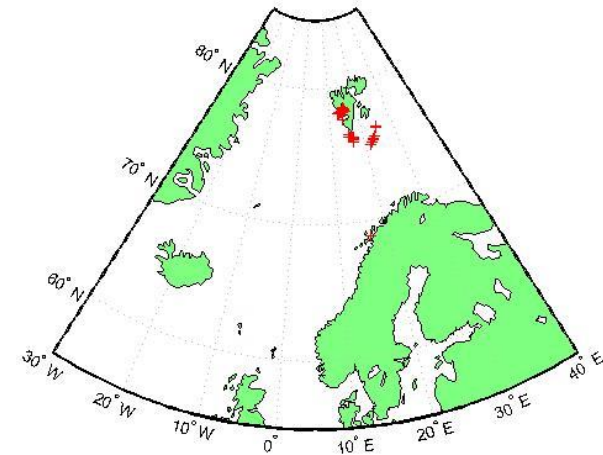
9 dager mai/juni 2016
geomagnetisk rolig



5 dager jan 2016
geomagnetisk rolig

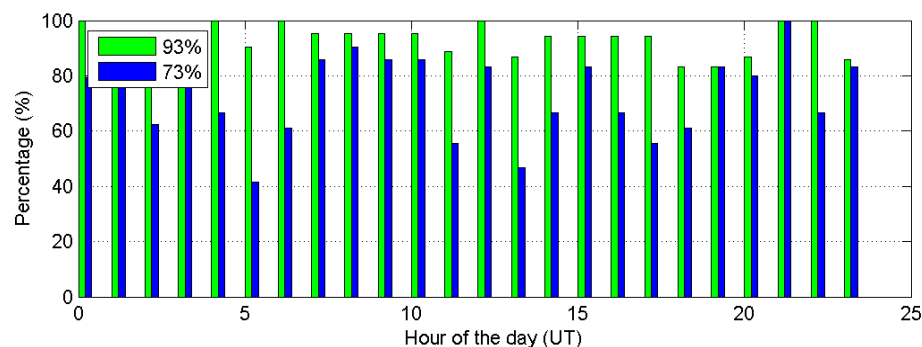
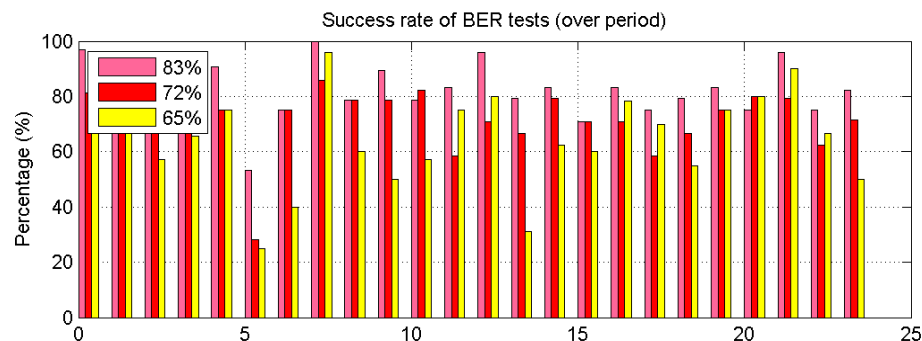
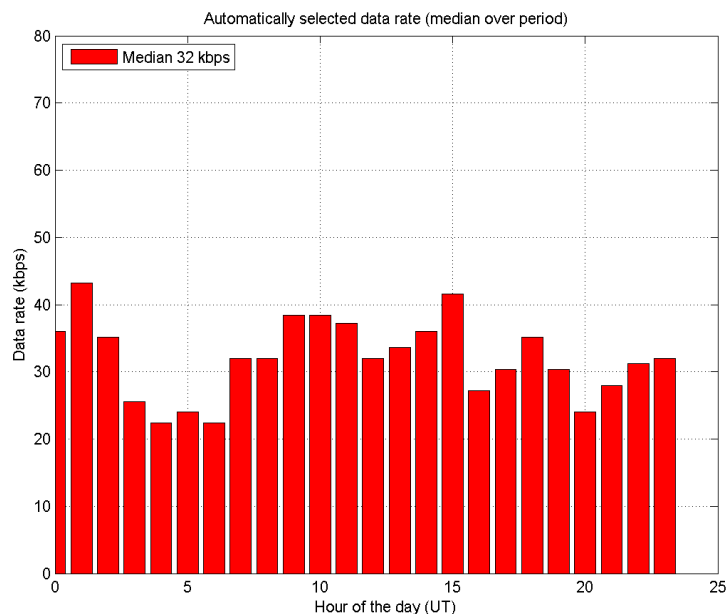
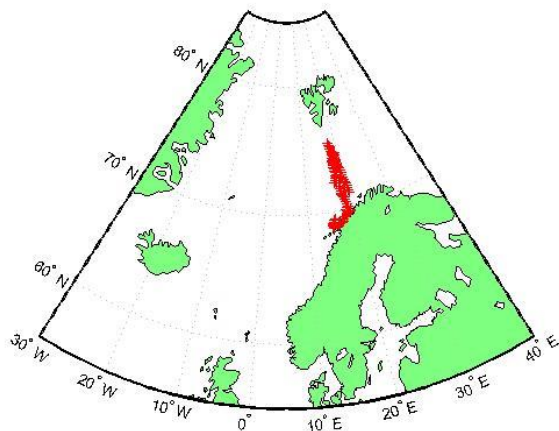


8 dager des 2015
geomagnetisk svært forstyrret

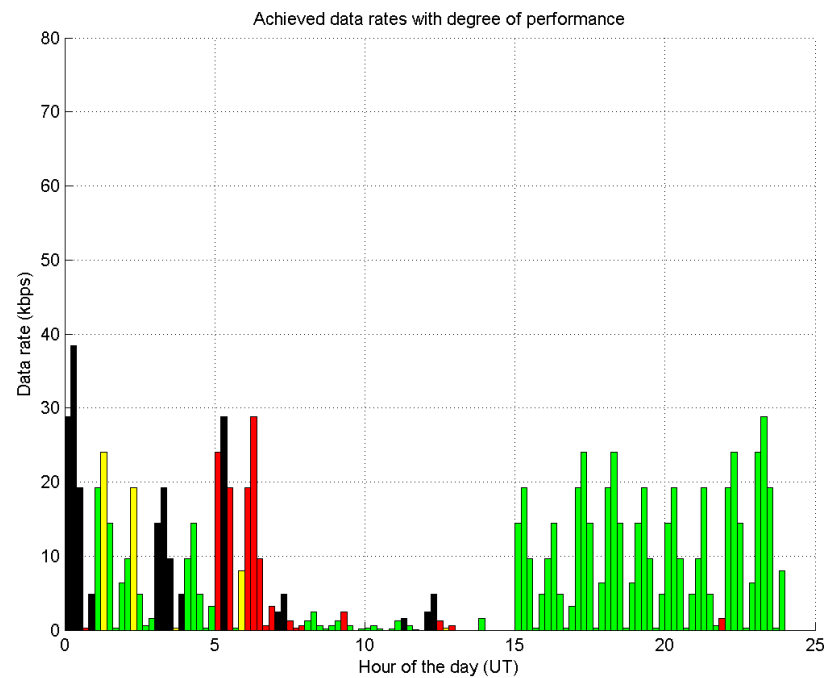
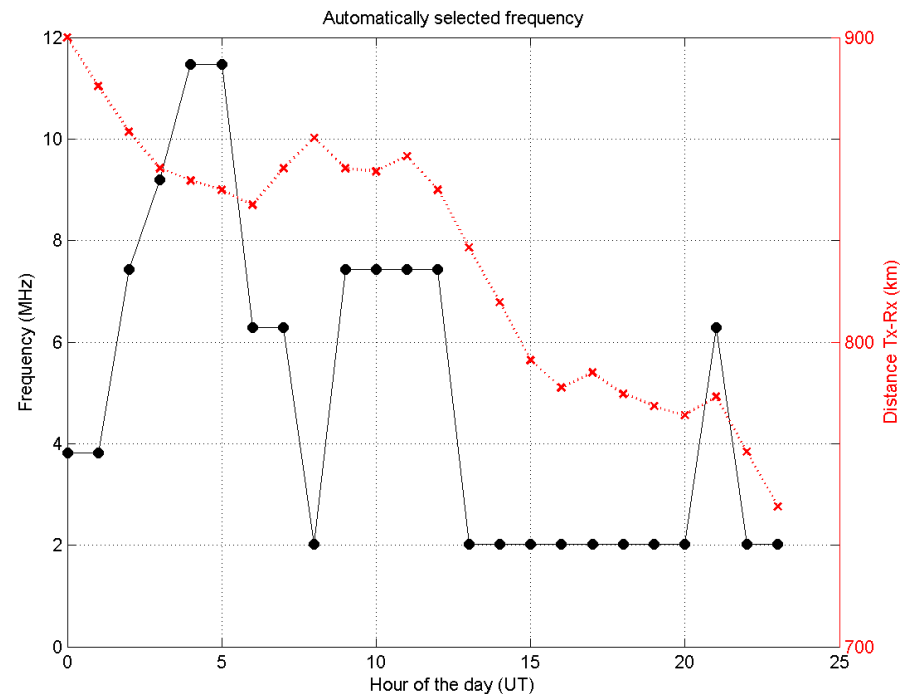
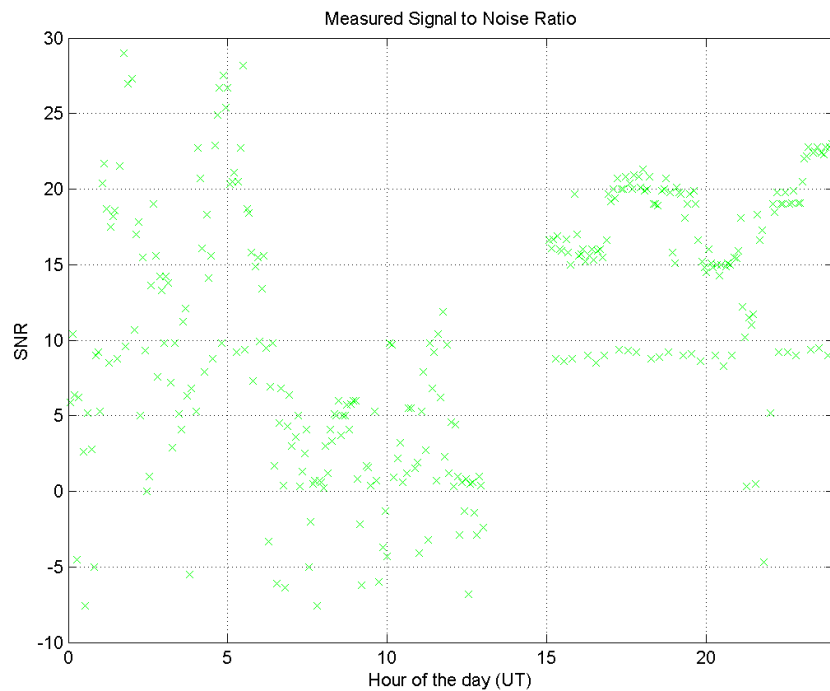


Resultater – jordbølgeutbredelse over sjø

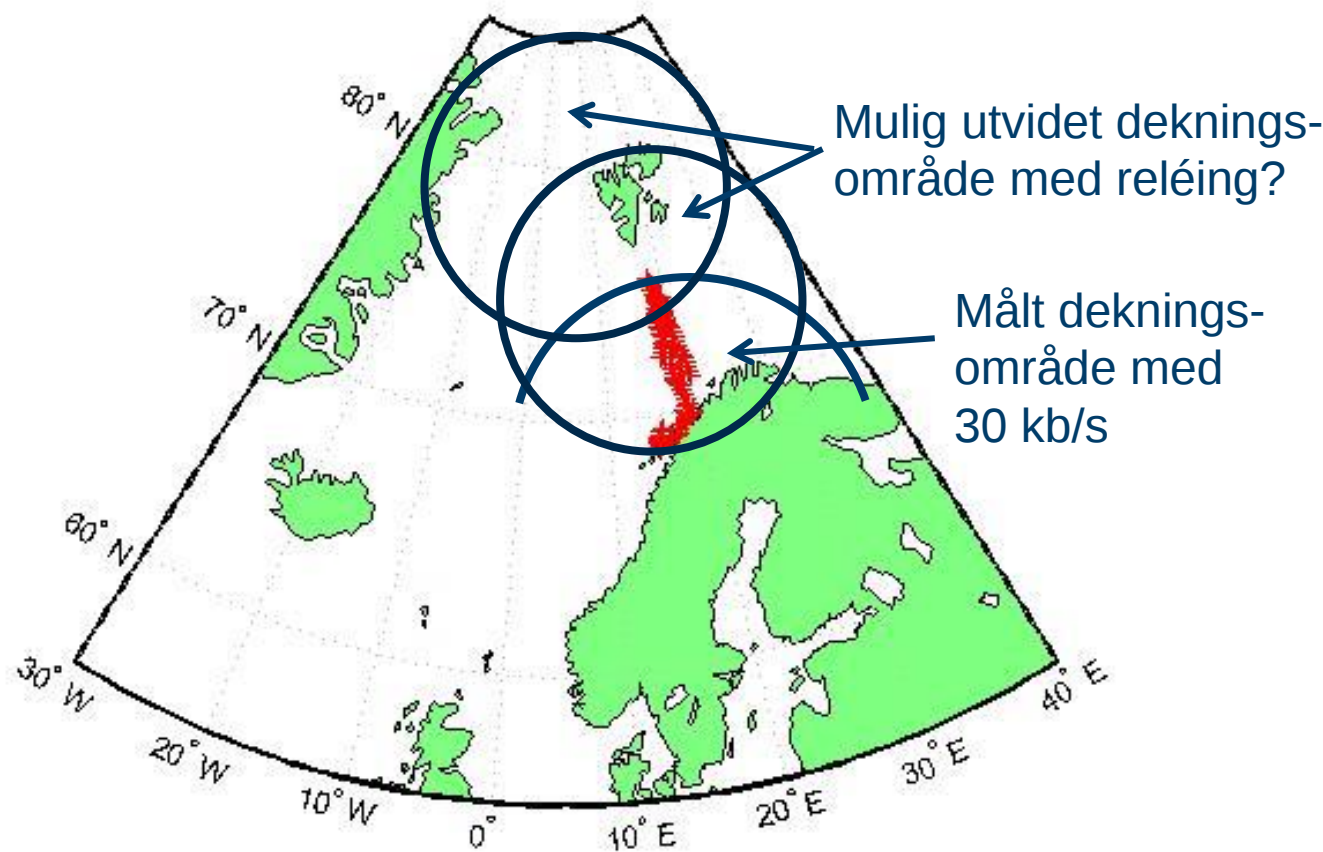
Eksempel: Sommer, 8 dager fra mai/juni 2015, jordbølgen dominerer



Målinger 18/6 2015



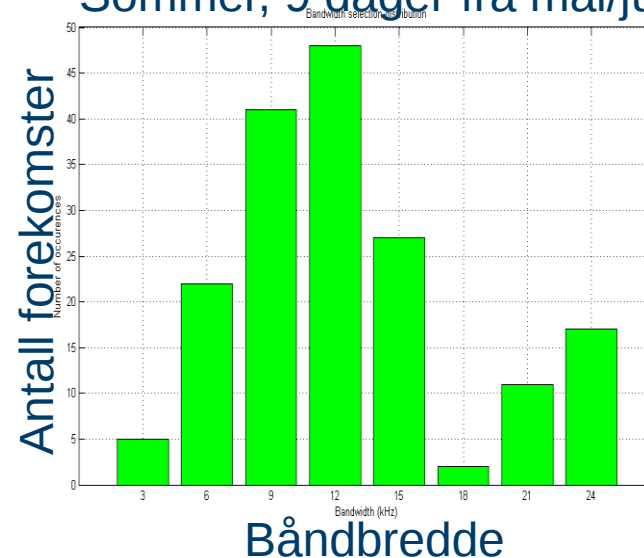
Dekningsområde for HF jordbølge målt på sommeren



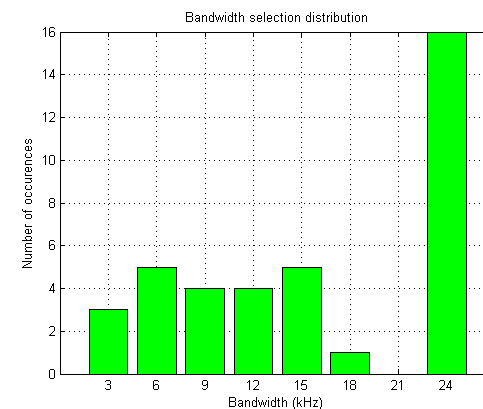
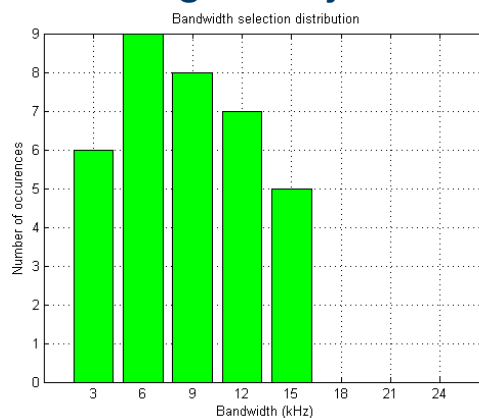
Tilgjengelig båndbredde i nord

- Større båndbredde enn 3 kHz er generelt ledig
- 12 kHz blir «oftest» vurdert som ledig
- Forhold med «åpninger» på 24 kHz (eller mer?)
- Forskjell på dag og natt?
 - Sommer NEI
 - Vinter JA

Sommer, 9 dager fra mai/juni



Vinter, 5 dager fra januar, dag til venstre og natt til høyre



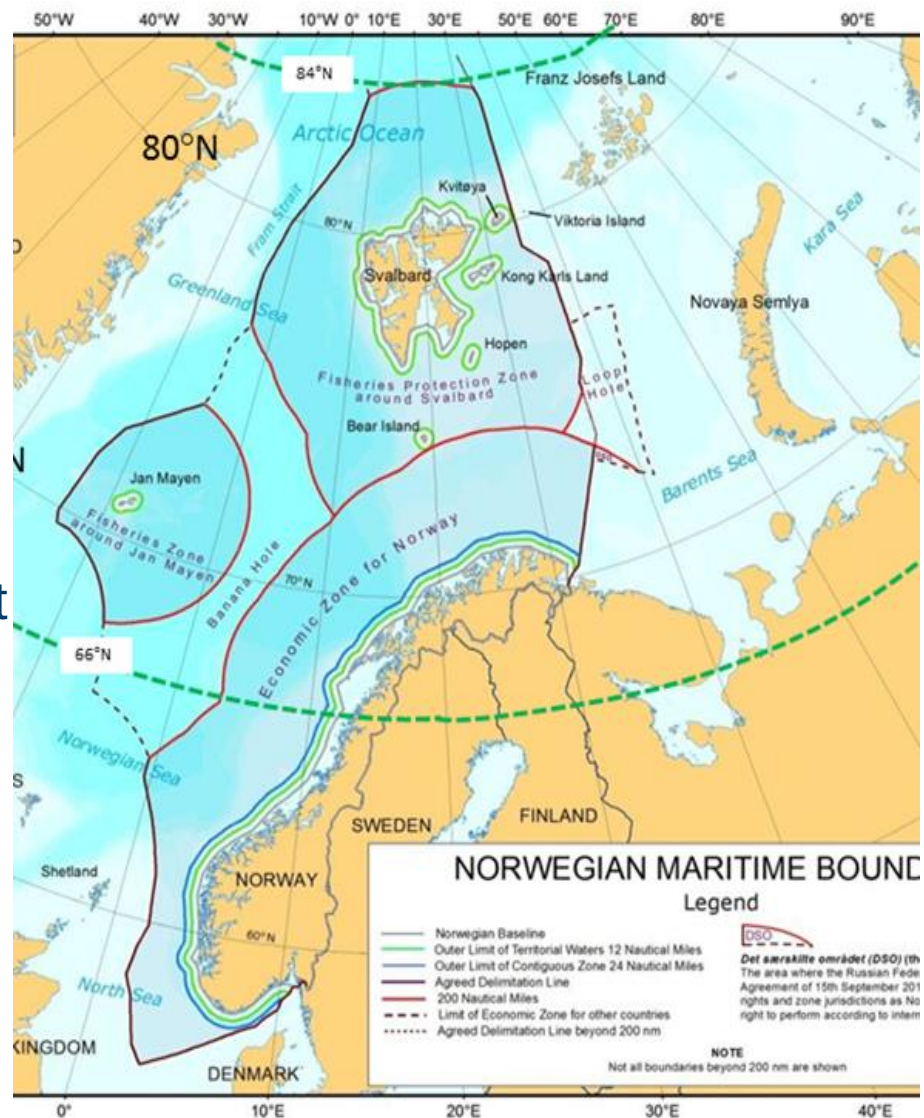
Hovedkonklusjoner for HF i Arktis



- Adaptiv HF (2G, 3G eller WBHF) er svært verdifull ved at den opprettholder sambandet til enhver tid selv om datahastigheten vil variere
- WBHF i nord gir økt datahastighet i forhold til 2G/3G teknologi i 3 kHz båndbredde, men langt fra teoretisk maksimum
 - På 1000 km avstand: cirka 20 kbit/s på sommeren og 10 kbit/s om vinteren, noe variasjon med geomagnetisk aktivitet
 - Med jordbølge ut til 800 km om sommeren: 30 kbit/s
 - Jordbølgen ble i mye mindre grad observert om vinteren
- Båndbredde større enn 3 kHz er tilgjengelig. 12 kHz synes å være stort sett tilgjengelig
- Videre undersøkelser bør gjøres om HF kommunikasjon kan utnyttes bedre med et nettverk av HF-noder som kan rute trafikken over linker som ikke er forstyrret av ionosfæren

Nytt måleprogram i 2016: HF i nettverk

- Kan mangel på kommunikasjonskanal i én retning erstattes av en kanal i en annen retning?
- Kan HF utnyttes bedre i nord ved at tradisjonelt punkt-til-punkt samband erstattes av flere geografisk spredte «base-stasjoner»?



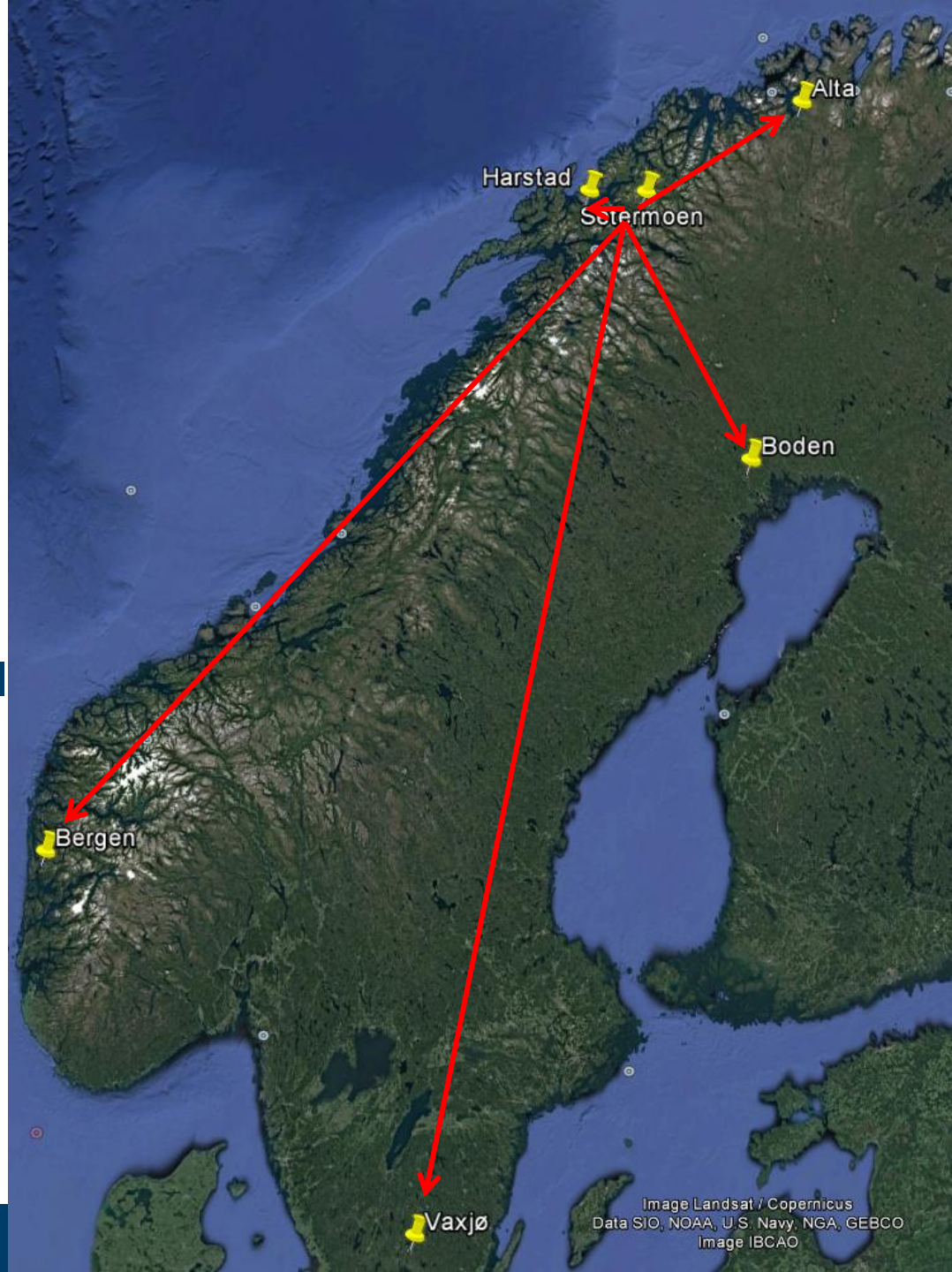
Målestrekk

Sender (20 W) på Setermoen til

- Harstad – 75 km
- Alta – 230 km
- Boden – 370 km

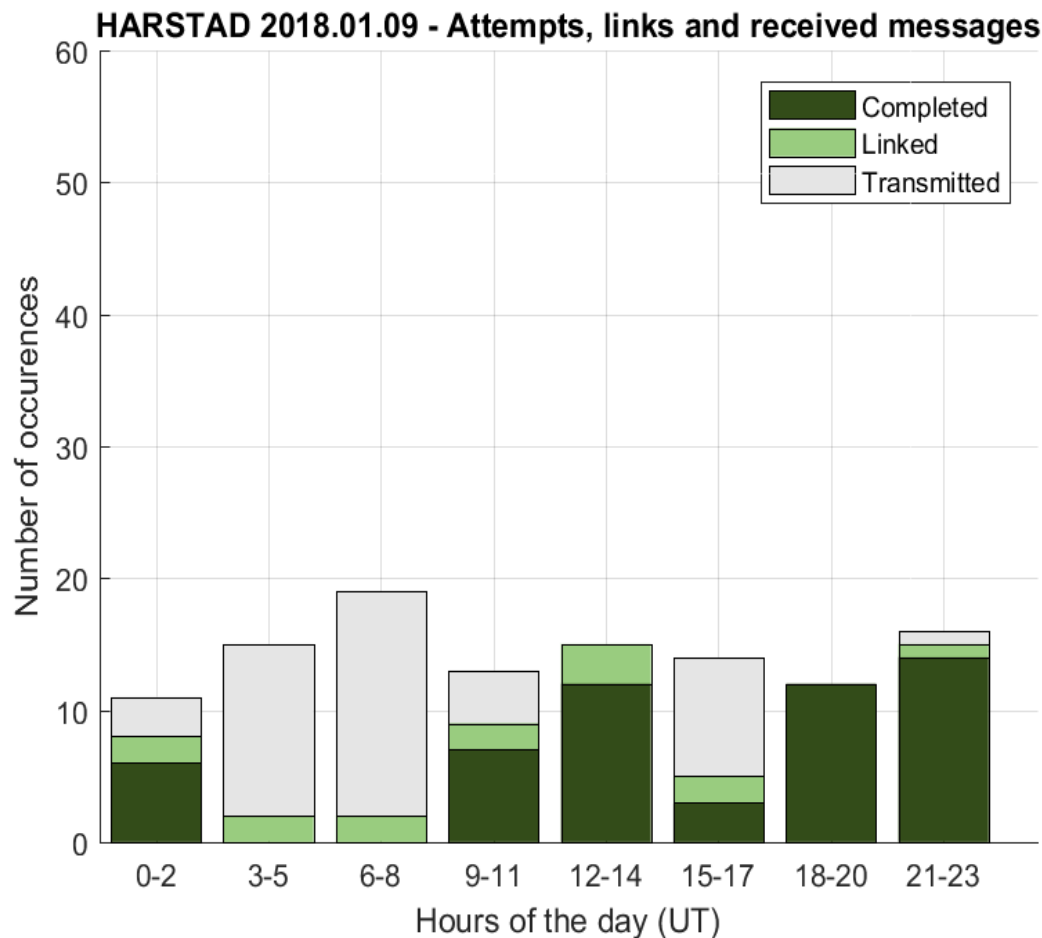
Sender (400 W) på Setermoen til

- Bergen – 1130 km
- Växjö – 1345 km

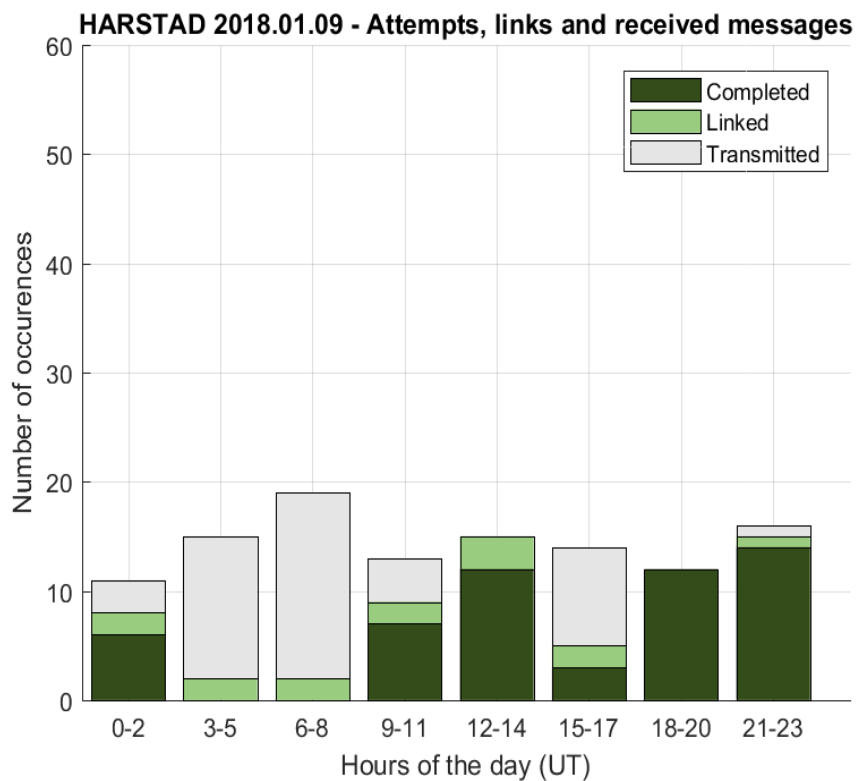


Antall sendte, linkede og komplette meldinger

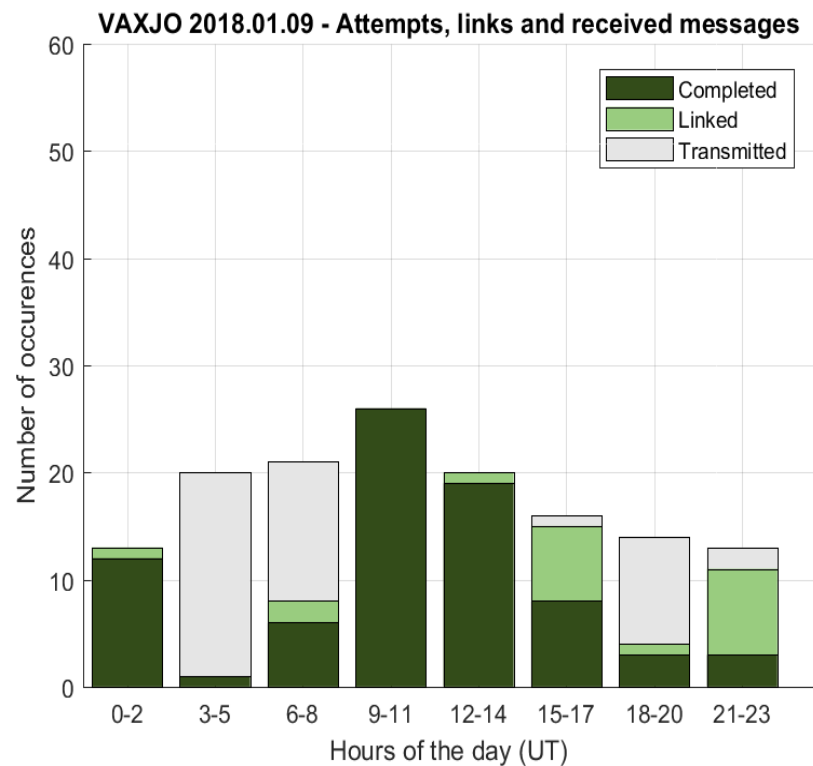
- 9. jan 2018 – Setermoen-Harstad



Harstad



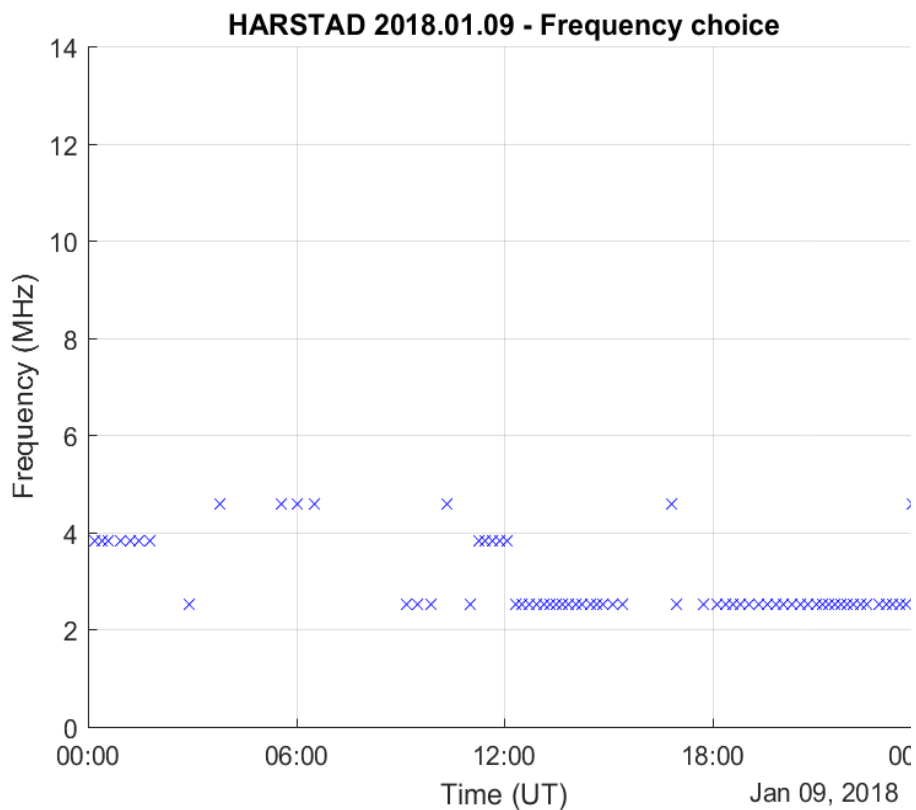
Växjö



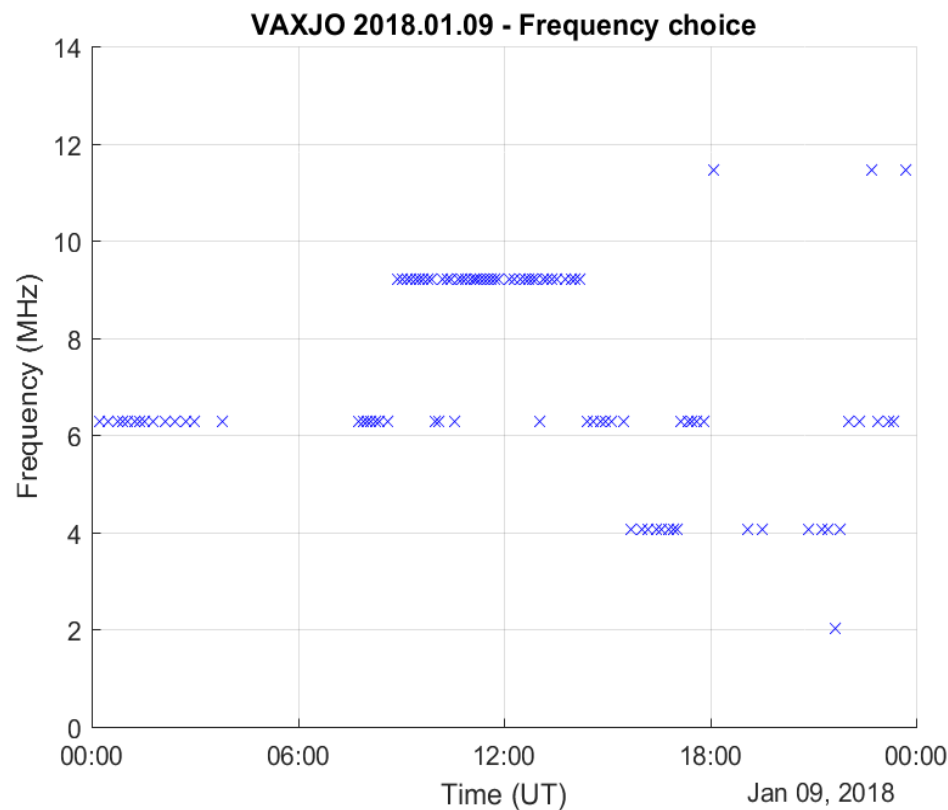
Valgte frekvenser

- 9. jan 2018

Harstad



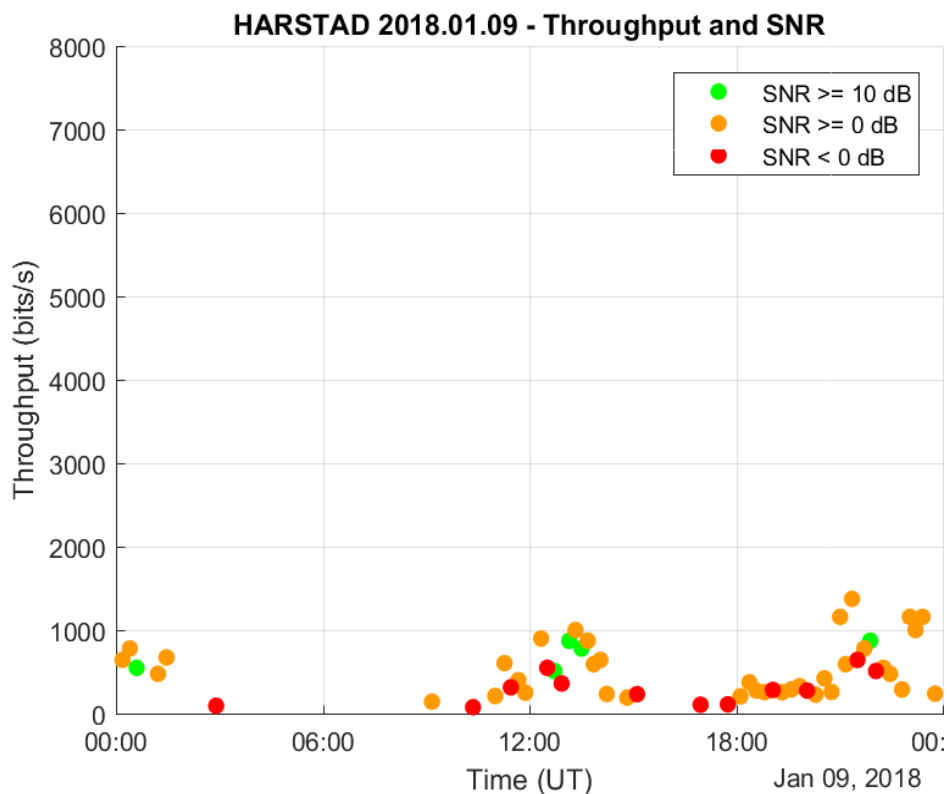
Växjö



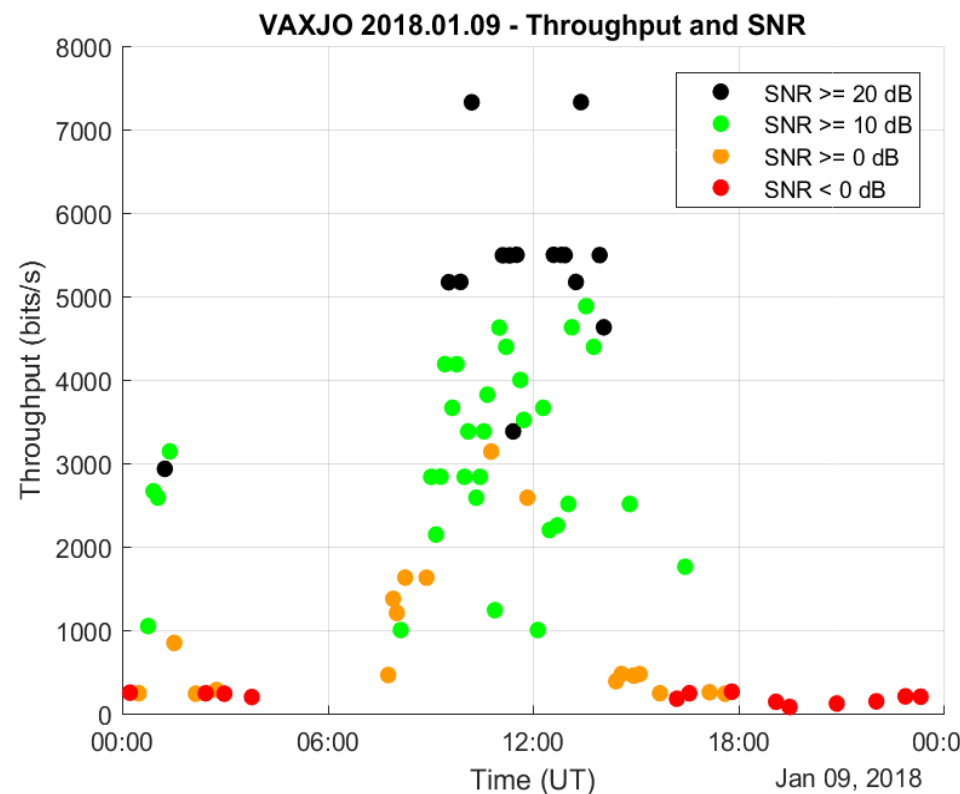
Overføringskapasitet og signal-støy forhold

- 9. jan 2018

Harstad

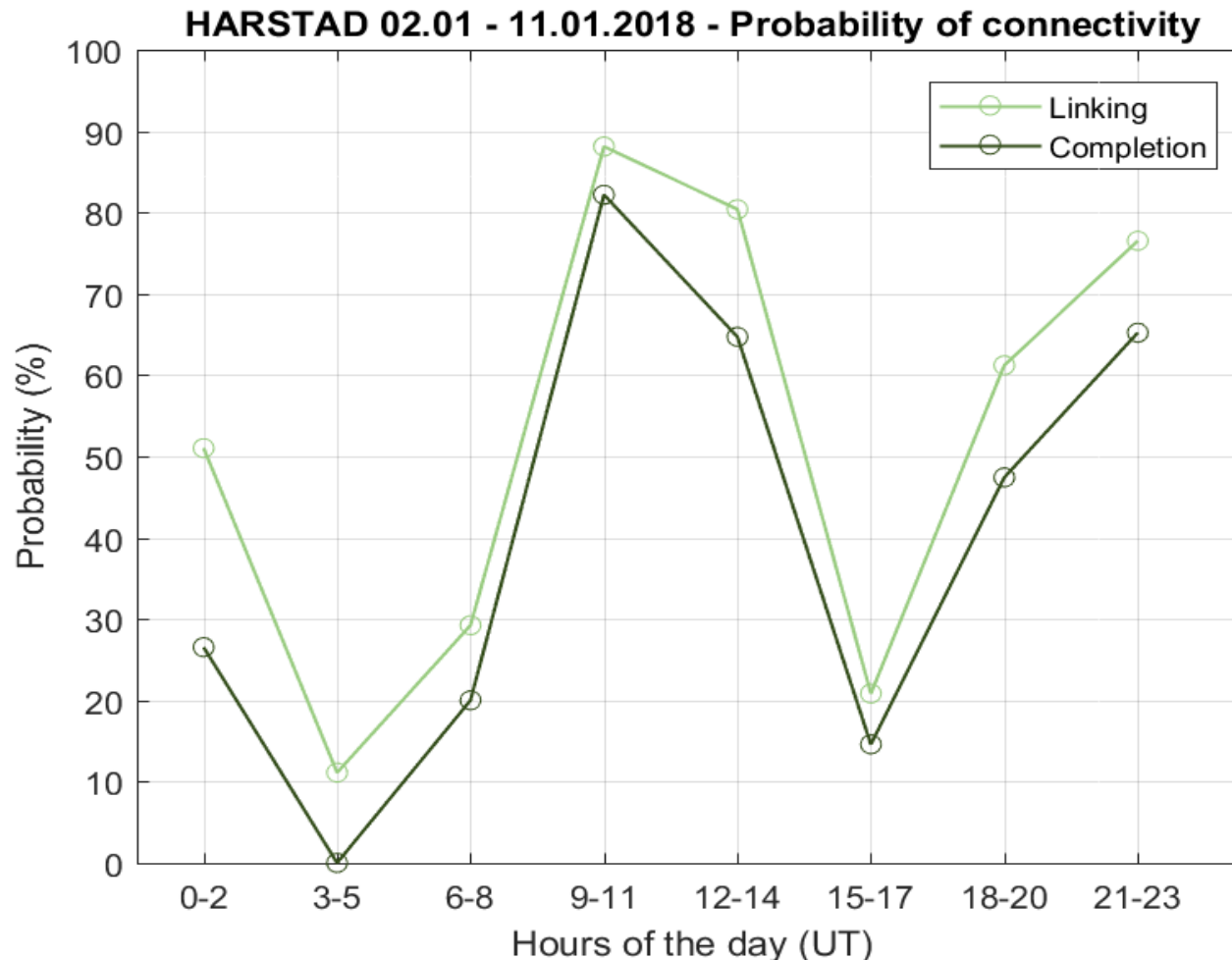


Växjö



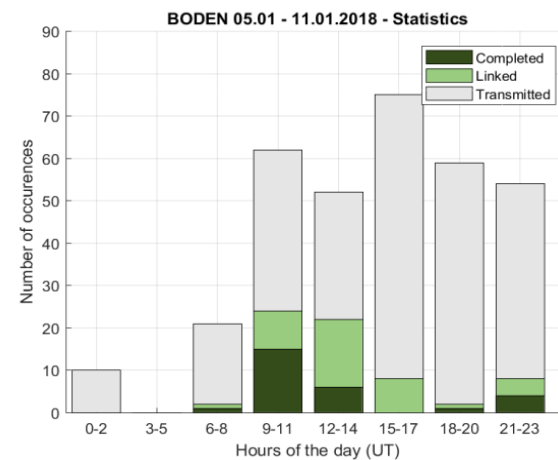
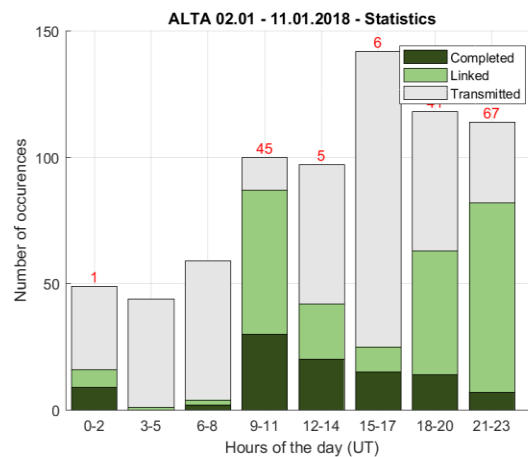
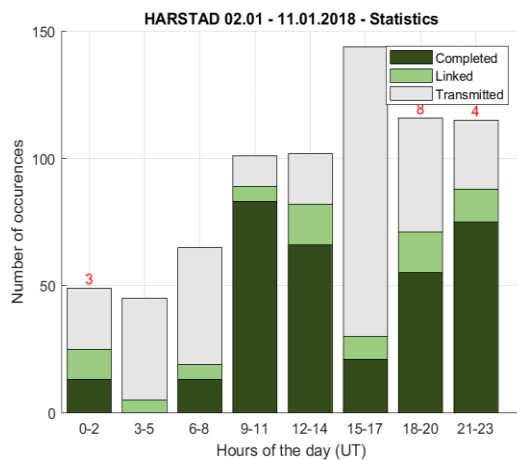
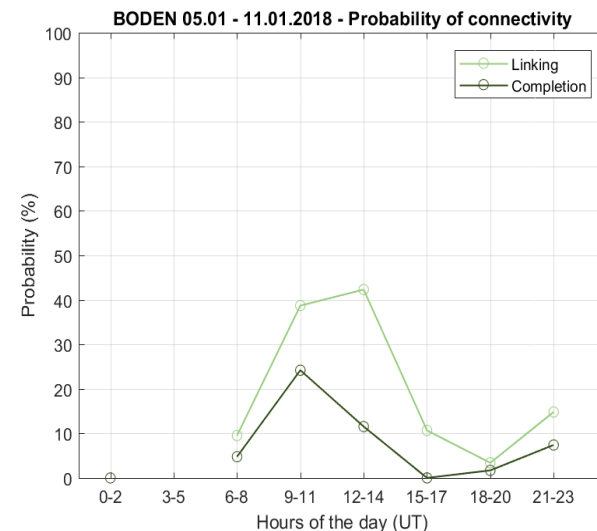
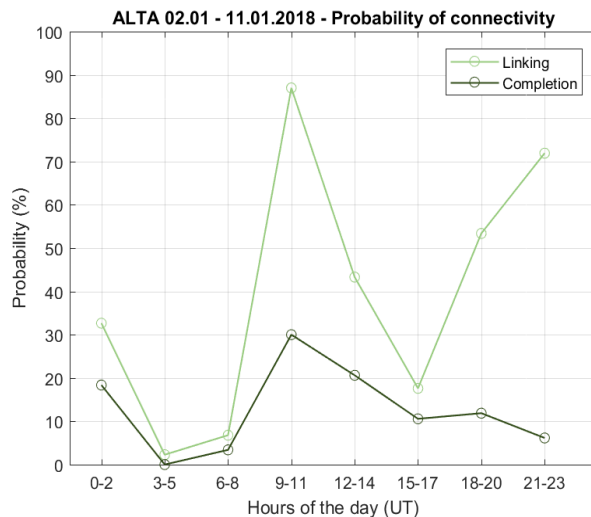
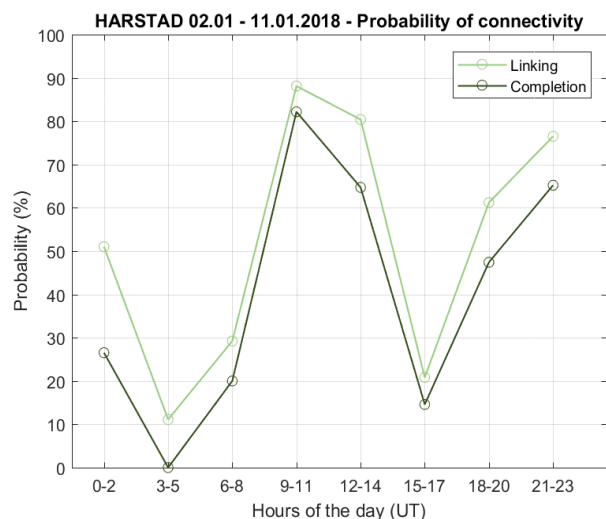
Gjennomsnittlig suksess over periode

- 2. til 11. jan 2018 – Setermoen-Harstad



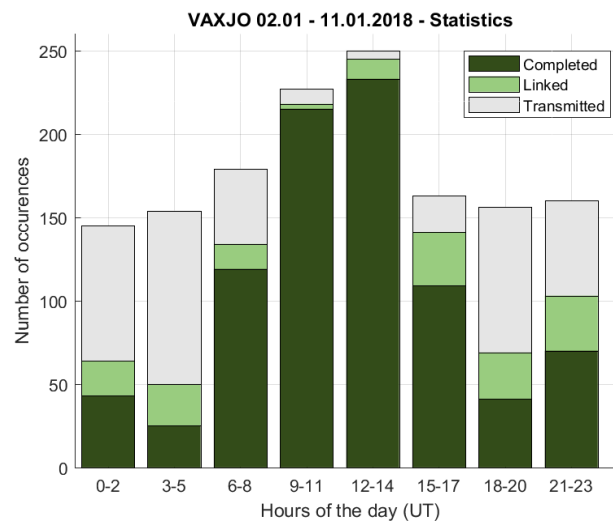
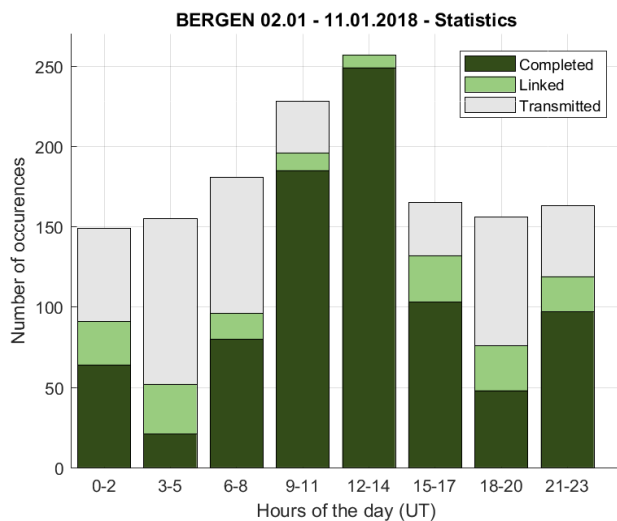
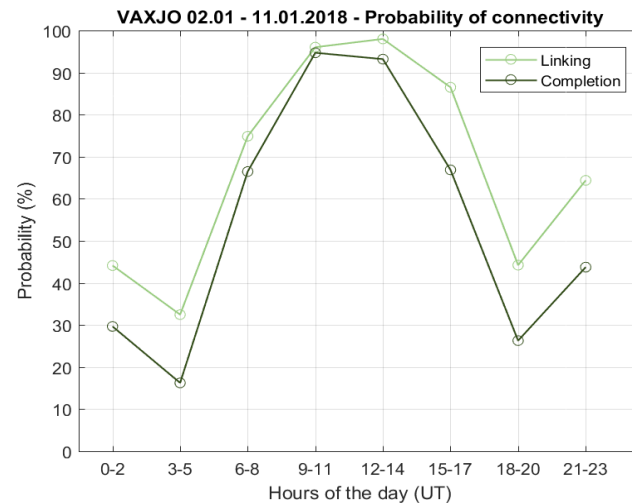
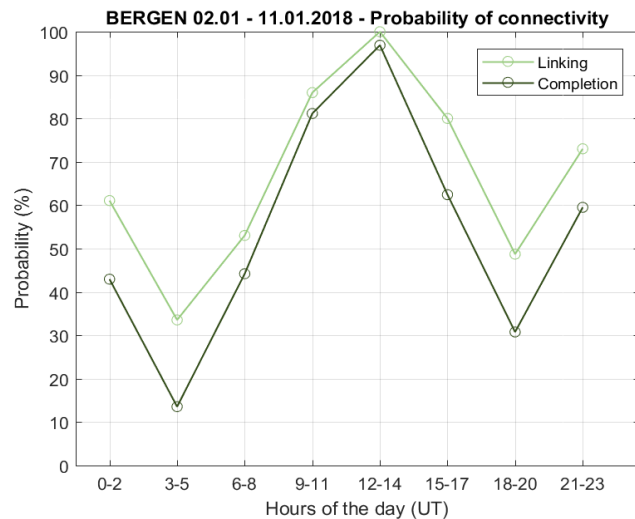
Gjennomsnittlig suksess over periode

- 2. til 11. jan 2018



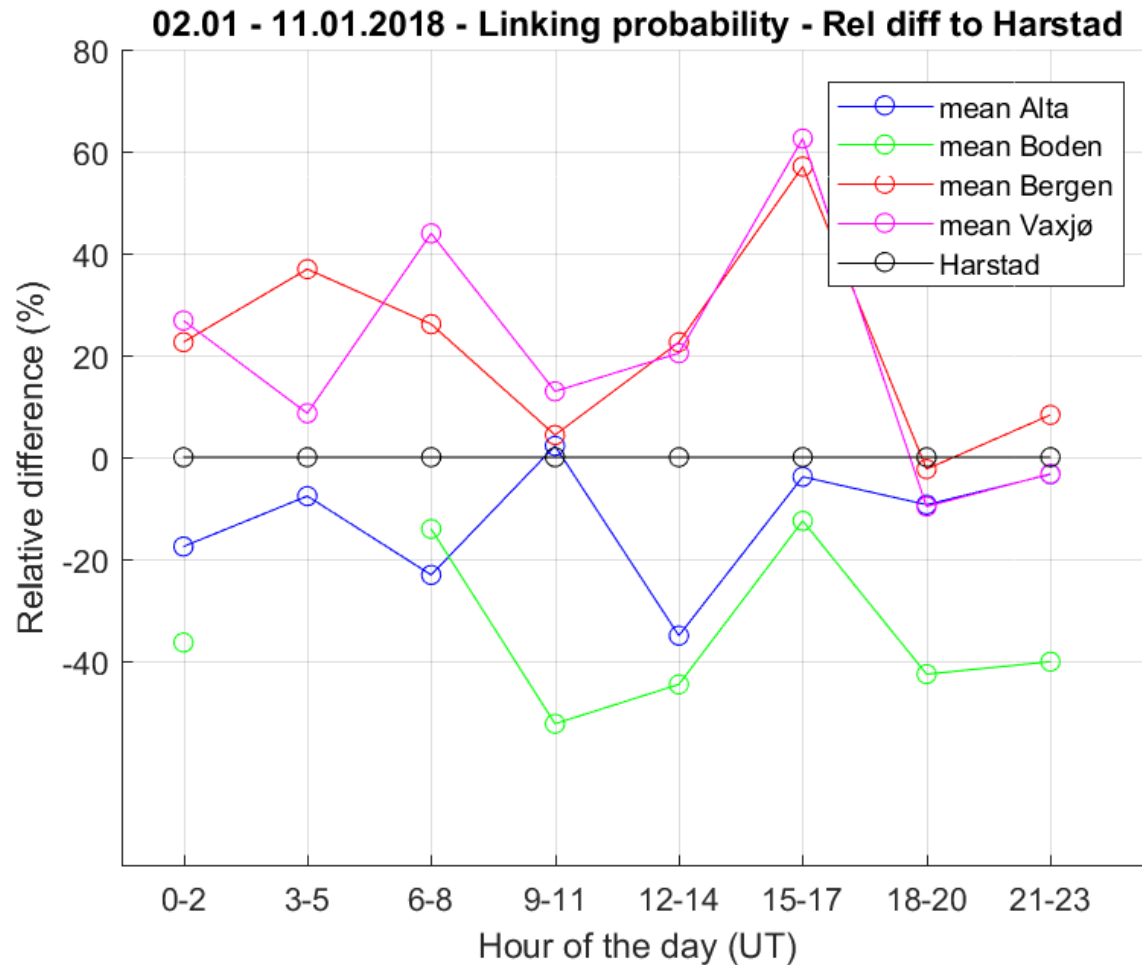
Gjennomsnittlig suksess over periode

- 2. til 11. jan 2018



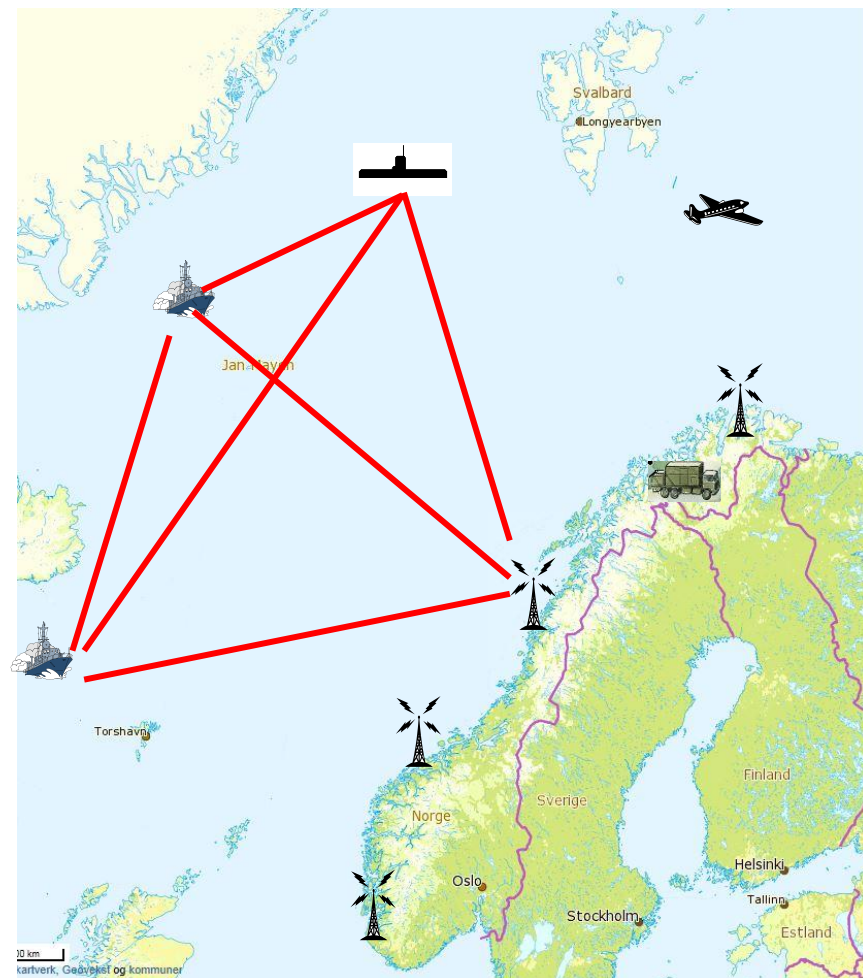
Relativ forskjell i Linkesannsynlighet mellom ulike strekk

- 2. til 11. jan 2018



Noen tanker fra en FFI forsker tilslutt

- Radioamatører besitter nyttig kunnskap for Forsvaret
- Sivile HF ressurser kan utnyttes bedre av Forsvaret
- I krig vil dere radioamatører kunne være en viktig sambandsressurs for Forsvaret



Takk for oppmerksomheten!