



FFI-RAPPORT

19/00656

Romvær

— betydning for Forsvaret

Tom Arild Blix

Romvær

– betydning for Forsvaret

Tom Arild Blix

Emneord

Elektronikk
Infrastruktur
Romvær
Satellitter
Solen

FFI-rapport

19/00656

Prosjektnummer

1405

Elektronisk ISBN

978-82-464-3226-7

Godkjennere

Ottar Graasvoll, *forskningsleder*

Trygve Sparr, *forskningssjef*

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.

Opphavsrett

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

Sammendrag

Romvær er et begrep som av og til dukker opp i pressen, spesielt dersom det skaper problemer for samfunnet. Årsaken til romværet ligger på solen. Solen sender hele tiden en strøm av ladde partikler ut i verdensrommet. På fagspråket heter dette solvind og er daglig årsak til nordlys i spesielt polare strøk både i nord og syd. Av og til skjer det at aktive områder på solen sender ut større mengder av partikler og stråling enn normalt, noe som kan skape større og mindre problemer for oss på jorden dersom «utblåsningen» er rettet slik at jorden er i banen for den ekstra strømmen av ladde partikler. Med ujevne mellomrom skjer det også virkelig store utbrudd som kan forårsake alvorlige problemer for teknologiske systemer på jorden og satellitter i verdensrommet. Den historisk mest kjente skjedde i 1859 og var årsak til at store deler av telegrafsystemet ble helt ødelagt i Europa og Nord-Amerika og at nordlys ble observert flere steder rundt om i verden. I dag ville en slik hendelse ha forårsaket store problemer og ødelagt avansert infrastruktur som samfunnet har blitt mer og mer avhengig av. Dette gjelder både det sivile samfunn og Forsvaret. En ting er at strømmen faller bort en periode, noe annet er at samfunnet risikerer å bli satt mange år tilbake i tid teknologisk sett. Ikke slik å forstå at teknologien forsvinner, men at vi er nødt til å erstatte store mengder av ødelagt elektronikk. Dette kan ta mange år dersom det er en stor hendelse som inntreffer og rammer jorden. Dessverre er det svært lite som har blitt gjort, noe som burde bekymre alle beslutningstagere både militært og sivilt. Med stadig mer bruk av hylleware i satellitter, og mer avansert utstyr på bakken, er det kun et tidsspørsmål før vi vil oppleve alvorlige situasjoner som har opphav i romvær.

I denne rapporten beskriver vi de ulike fysiske prosessene som kan skape større eller mindre problemer for elektronikk både i verdensrommet og på bakken gjennom vekselvirkning mellom partikkelstråling fra solen og jordens magnetfelt. Deretter ser vi på hvor vi står i dag, både her i Norge og i resten av verden, når det gjelder varsler for romvær, og hvor vanskelig det er å forutsi store utbrudd på solen. Videre går vi gjennom hvordan dette påvirker samfunnssikkerheten og hvordan myndighetene vurderer dette i dag. Her vil vi hevde at romvær kan ha langt større konsekvenser enn det som vurderes som sannsynlig av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) i dag. Til slutt oppsummerer vi de viktigste funnene og kommer med noen forslag til tiltak. Tiltakene må i denne omgang kun ses på som et utgangspunkt for en bedre forebygging av de konsekvensene som romvær kan føre med seg.

Summary

Space weather is a term that sometimes rises to the surface of news media, especially if the result is problems for our modern society. Space weather has its origin on the Sun. Our Sun is the source of a continuous stream of plasma that is ejected into space. The name of this phenomenon is the solar wind. It is the reason why aurora is seen both in the north and south of our planet. Sometimes it happens that the Sun ejects larger amounts of plasma and radiation into space than during “normal” situations. This may create smaller or larger problems for us on Earth depending on whether the “eruption” is directed such that we are in the trajectory of the stream of plasma. With varying time intervals it happens that the solar eruption is extremely large and causes serious problems for technological systems on Earth and satellites in orbit. The most famous incident happened back in 1859 and destroyed telegraph systems in Europe and North-America, and aurora was seen worldwide. Such an incident today would cause serious problems, and even destruction, of advanced infrastructure that society has become more and more dependent upon. Both military and civilian systems are at risk. One thing is that power supply to our homes are cut for some time, another that our society are at risk of being set several years back in time technologically speaking. The technology will of course not disappear, but we will have to replace large amounts of electronics that have been damaged or destroyed. It may take several years before we are able to do so if the event in question is large enough and are directed towards Earth. Unfortunately, it is relatively little that has been done over the years, which should worry all decision makers, both military and civilian. Since more and more off-the-shelf electronics are used in satellites as well as advanced systems on Earth, it is only a question of time before we experience a serious situation related to space weather.

In this report we will describe the physical processes that may cause problems for electronic systems in space as well as on Earth through interaction between particle radiation from the Sun and the Earth's magnetic field. Thereafter, we will see how the situation is, both nationally and internationally, when it comes to the prediction of space weather and how difficult it is to predict large eruptions from the Sun. Furthermore, we will describe how space weather influence social security and how society values possible problems this may cause. We will argue that space weather may cause much larger problems than foreseen by the Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB). Finally, we summarize our main findings as well as making some suggestions for improvement. These should only be regarded as a starting point for preventing possible consequences of severe space weather.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
1 Innledning	6
2 Fysiske prosesser	6
2.1 Sol-Jord systemet	6
2.2 Fysiske prosesser som påvirker radiosignaler	10
2.3 Nordlys	12
2.4 Variasjoner i det geomagnetiske feltet	12
2.4.1 Geomagnetisk substorm	12
2.4.2 Magnetiske mikropulsasjoner	13
2.5 Ionosfære variasjoner	16
2.6 Polare mesosfæreekko og lysende nattskyer	16
2.7 Polar Cap Absorption	19
2.8 Spread-F	19
2.9 Oppsummering	20
3 Hvor står romvær i Norge i dag?	20
4 Samfunnssikkerhet og romvær	26
5 Oppsummering	29
6 Konklusjon og forslag til tiltak	30
Referanser	32

1 Innledning

Romvær er et begrep som har festet seg på agendaen til stadig flere instanser globalt. Man har for lengst innsett at det som skjer i verdensrommet har direkte innflytelse på det livet vi på jorden fører og de omfattende elektroniske systemene som vi omgir oss med. Myndighetene oppfordrer stadig vekk til mer bruk av elektroniske tjenester som igjen er avhengig av fungerende nettverk både på jorden og i verdensrommet. Dette gjør at vi også blir mer utsatt for det som foregår i vårt nære verdensrom, dvs. vårt solsystem. Stort sett kan vi dele de utfordringer vi står ovenfor i to: (1) solens innflytelse på jorden og (2) objekter i verdensrommet som kan kollidere med jorden. Ingen av disse har vi den minste kontroll på. Her regjerer fysikkens lover uten at vi kan påvirke det. Vi kan likevel til en viss grad beskytte oss mot de utfordringene som vi står ovenfor og dermed redusere risikoen for de konsekvensene samfunnet kan utsettes for. Det vil i denne rapporten redegjøres både for de fysiske truslene og deres mulige konsekvenser, så vel som at vi kommer med noen forslag til fremtidig aktivitet.

2 Fysiske prosesser

2.1 Sol-Jord systemet

De fysiske prosessene som forårsaker problemer for både instrumenter og elektronikk, både om bord på en satellitt og for bakkeinstallasjoner, er ikke et direkte tema for denne rapporten. Til det er de for innfløkte og sammensatte til at en rapport av denne typen kan dekke dem alle. Det er likevel en del generelle trekk som er viktig å være oppmerksom på og som vi vil beskrive nedenunder til en viss grad. En fullstendig gjennomgang krever en detaljert vitenskapelig behandling av temaet, noe vi ikke under noen omstendighet kan gjøre her. Det er heller ikke hovedbudskapet i rapporten.

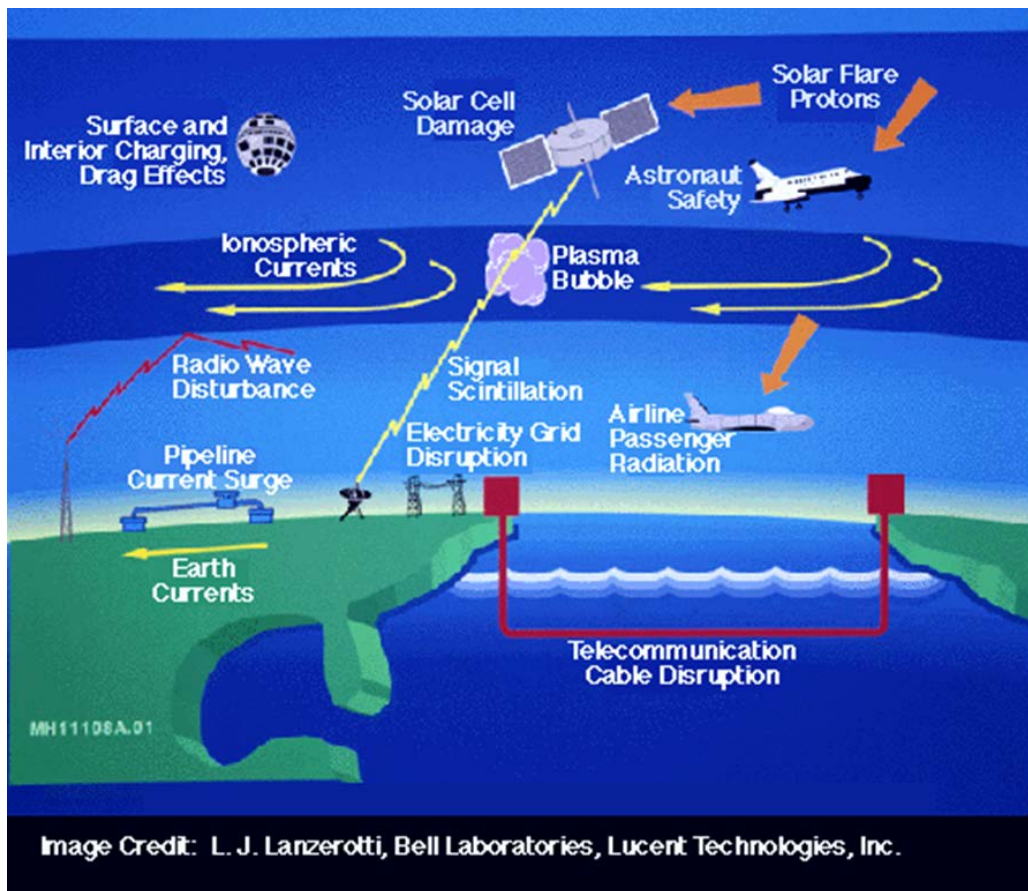
Det er to måter som romvær kan påvirke oss på:

1. Direkte fra Solen og solvinden
2. Indirekte via påvirkning av Jordens magnetosfære

Dette igjen har to effekter på infrastruktur på Jorden og i verdensrommet:

- A. Ødeleggelse av, eller skade på, infrastruktur
- B. Påvirkning av signaler i ulike deler av det elektromagnetiske spekteret

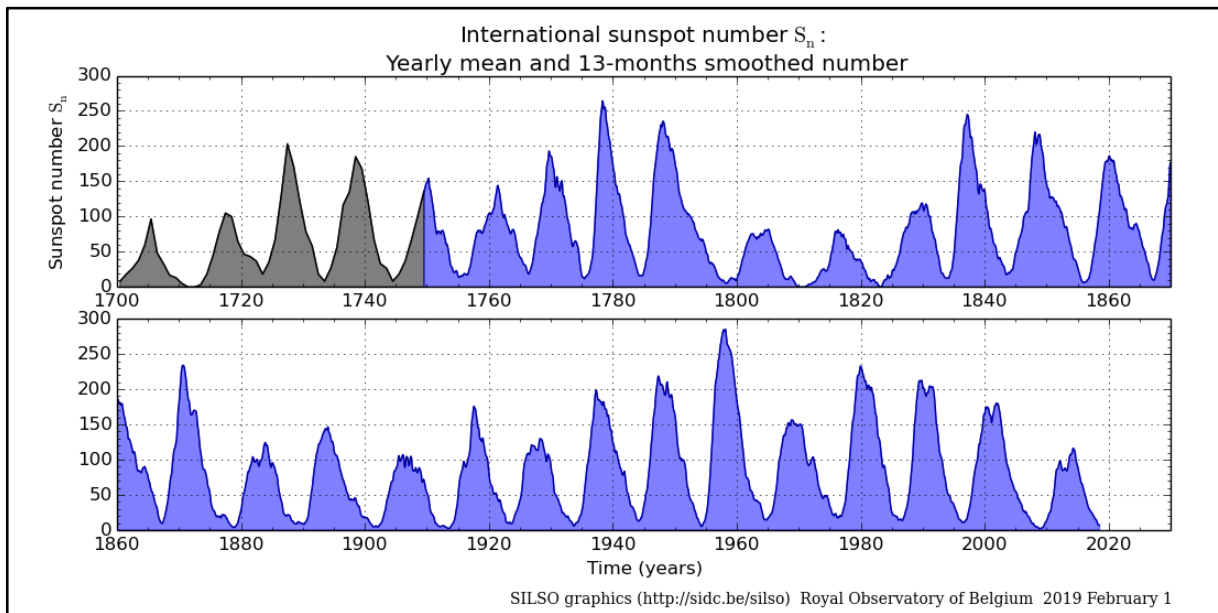
Et oversiktsbilde over påvirkningene er vist i Figur 2.1.



Figur 2.1 Figuren viser påvirkning på forskjellige typer av infrastruktur både på bakken og i rommet¹.

Kilden til romværet har sitt opphav på Solen. Solen er en stjerne der aktiviteten varierer med en tilnærmet 11-års syklus (varierer mellom 7 og 14 år). Denne aktiviteten kan beskrives vha solflekketallet som er et mål på hvor aktiv Solen er ved å se på antall solflekker. Dette er vist i Figur 2.2. Her ser vi at det har vært 30 perioder siden år 1700, noe som gir en gjennomsnittlig periode på litt i underkant av 11 år. Solflekketallet sier noe om aktiviteten, men ikke alt. Det som er viktig for romværet er hvor aktiv en solflekk er der ionisert materie slynges ut i verdensrommet i en såkalt «Coronal Mass Ejection». Dersom dette skjer på feil sted og tid kan store mengder ladde partikler finne veien mot Jorden og forårsake skade eller forstyrrelser på menneskelig infrastruktur. Et slikt utbrudd kan skje også i den delen av perioden der Solen er mindre aktiv totalt sett (lavere solflekketall).

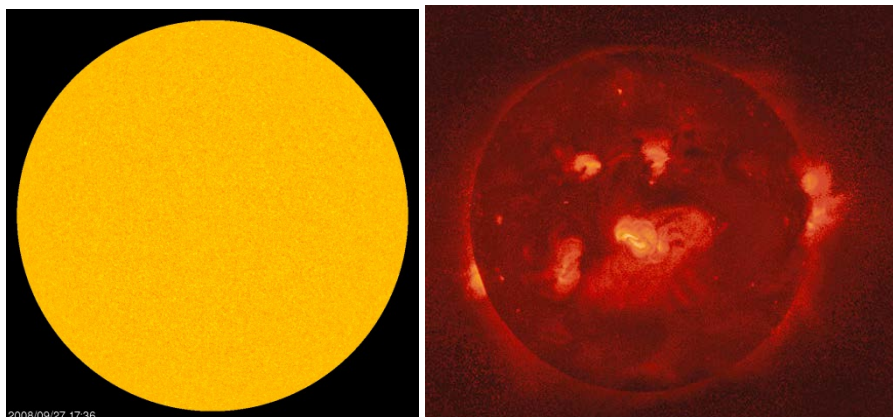
¹ L. J. Lanzerotti, Bell Laboratories, Lucent Technologies, Inc., USA



Figur 2.2 Figuren viser solflekketallet fra 1700 og frem til i dag².

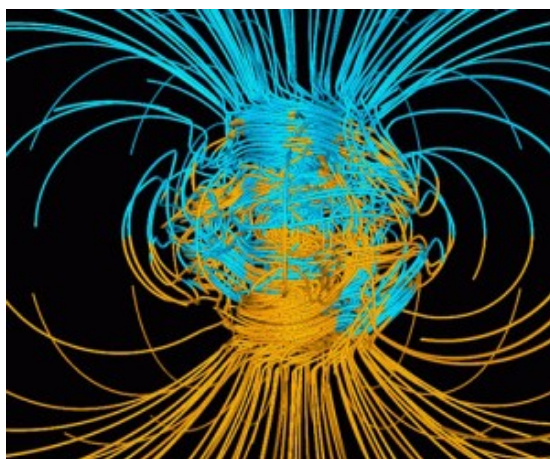
En mer dekkende illustrasjon for Solens aktivitet finner vi ved å se på et øyeblikksbilde av situasjonen. Dette er vist i Figur 2.3. Her ser vi tilnærmet null aktivitet under solflekk minimum, mens det er til dels kraftig aktivitet rundt solflekk maksimum. Som figuren viser så kan vi se aktive områder på Solen der store mengder av ladde partikler slynges ut i verdensrommet. Dersom en slik «sky» av partikler treffer Jordens omgivelser vil det kunne få store konsekvenser.

² Royal Observatory of Belgium, Februar 2019



Figur 2.3 Her ser vi Solen i to faser av en solflekksyklus. Til venstre ser vi Solen rundt solflekk minimum³, mens vi til høyre ser Solen under solflekk maksimum⁴.

Jorden er en stor magnet som til første grad av tilnærming kan beskrives som en dipol. I virkeligheten er situasjonen mer kompleks, men som en røff tilnærming er dette godt nok for å forstå de fysiske prosessene. Figur 2.4 viser en modell, basert på målinger, over Jordens magnetfelt. De blå linjene viser at magnetfeltet peker mot Jorden, mens de oransje linjene indikerer at feltet peker bort fra Jorden.



Figur 2.4 Figuren viser en modell av Jordens magnetfelt⁵.

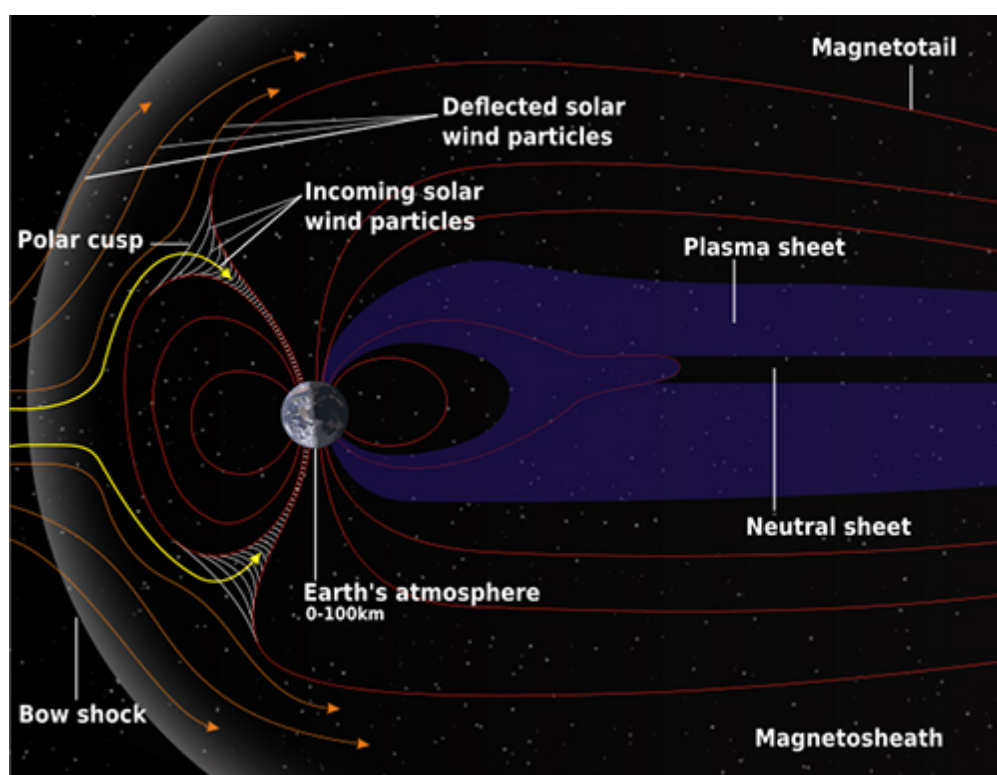
Det jordmagnetiske feltet påvirkes av partikkelstråling fra Solen og som i tillegg bringer med seg et interplanetarisk magnetfelt. Dette vekselvirker med Jordens magnetfelt og gjør at

³SOHO/NASA, 2009

⁴Griffith Observatory, California, USA

⁵Glatzmaier G A og Roberts P H, Nature 377 (6546) 203-209, 1995

magnetfeltet trykkes sammen på solsiden og strekkes ut på nattsiden. Resultatet av denne prosessen er vist i Figur 2.5. Her ser vi de ulike områdene som definerer Jordens magnetosfære som er det området der Jordens eget magnetfelt dominerer partikkelbevegelsene. Utenfor magnetosfæren vil det interplanetariske feltet dominere partiklenes bevegelse. Det er verdt å merke seg at det interplanetariske feltet er svakt, men at det skifter polaritet hyppig. Dette gjør at partikler fra solvinden lettere kan finne veien inn i magnetosfæren og deretter trenge ned i Jordens ionosfære og atmosfære og der blant annet danner nordlys. Det er to områder (kalt polarkløften; Polar cusp i Figur 2.5) der partikler lettere kan trenge ned i høyde og skape problemer. Det er en på den nordlige halvkule og en på den sørlige halvkule. Dette er blant annet grunnen til at vi kan se nordlys på dagtid fra Svalbard i mørketiden siden denne «kløften» befinner seg rett over øygruppen.



Figur 2.5 Skjematisk fremstilling av Jordens magnetosfære med de ulike områdene⁶.

2.2 Fysikalske prosesser som påvirker radiosignaler

Det er en lang rekke av fenomen i ionosfæren, magnetosfæren og solvinden som kan påvirke radiosignaler til eller fra en satellitt. Dette kan ha store konsekvenser for en militær operasjon som er avhengig av at satellittene fungerer tilnærmet til enhver tid. Noen fenomen opptrer

⁶ NASA/JPL, 2014

daglig, mens andre er av mer sjelden karakter. Det er de mer sjeldne som har størst sannsynlighet for å medføre store skader på viktig infrastruktur både i rommet og på bakken. Derfor er det viktig at det tas høyde for slike hendelser under planlegging av en ny satellitt. Hvilket område i ionosfæren og magnetosfæren skal den plasseres i bane? Hvilken nyttelast har den om bord? Er det innebygde sikkerhetsmekanismer i satellitten? Dette er bare noen av spørsmålene som må besvares. Det må også tas høyde for de mer «daglige» hendelser satellitten utsettes for som for eksempel nordlys, partikkelnedbør, strømmer etc. Noen baner er her mer utsatt enn andre, spesielt gjelder dette satellitter i polar bane som er av spesiell interesse for Norge siden disse passerer over våre interesseområder.

I tillegg har Jorden et komplekst magnetfelt som gjør at partikler kan ledes til ulike områder i ionosfæren. Dette er vist i Figur 2.4 og Figur 2.5. Det hele er et svært dynamisk system som det kun i store trekk har vært mulig å modellere. Hendelser på mindre rommelige skalaer og kortere tider er vanskelig å beskrive, for ikke å si forutsi, bortsett fra i mer generelle termer. Det er mye arbeid som gjøres på området og man har nå også begynt å benytte selvlæringsalgoritmer (kunstig intelligens) og stordata i arbeidet med å gjøre varsler bedre. Så langt med varierende resultat, men arbeidet fortsetter og ble presentert under en konferanse i Singapore 28. juli – 2. august 2019 der en av sesjonene har tittelen «Space Weather Forecasts: Methods, Issues and Future Development». Resultatene fra konferansen er ennå ikke publisert. Problemet med slike prediksjoner er at man pr i dag ikke har målinger av hva som skjer i solvinden før den kommer til det såkalte Langrangepunkt nr. 1 (L1), der blant annet SOHO observatoriet befinner seg. Konferansen vil søke løsninger som kan benyttes for å bedre denne situasjonen. Det blir interessant å følge med på utviklingen som finner sted på dette området.

2.3 Nordlys



Figur 2.6 Nordlys over Bø i Vesterålen i Nord-Norge (foto: Øystein Lunde Sigvaldsen).

Nordlys kan anta mange fine former og i Figur 2.6 vises et draperi i grønt med innslag av røde/lilla farger. Dette er energirike ladde partikler som kommer inn i jordens atmosfære langs de magnetiske feltlinjene og eksiterer atomene (hovedsakelig nitrogen og oksygen) som deretter emitterer lys som kan sees som det synlige nordlyset. De ladde partiklene i seg selv representerer en forstyrrelse i bakgrunnsplasmaet som kan påvirke blant annet kommunikasjon og navigasjon.

2.4 Variasjoner i det geomagnetiske feltet

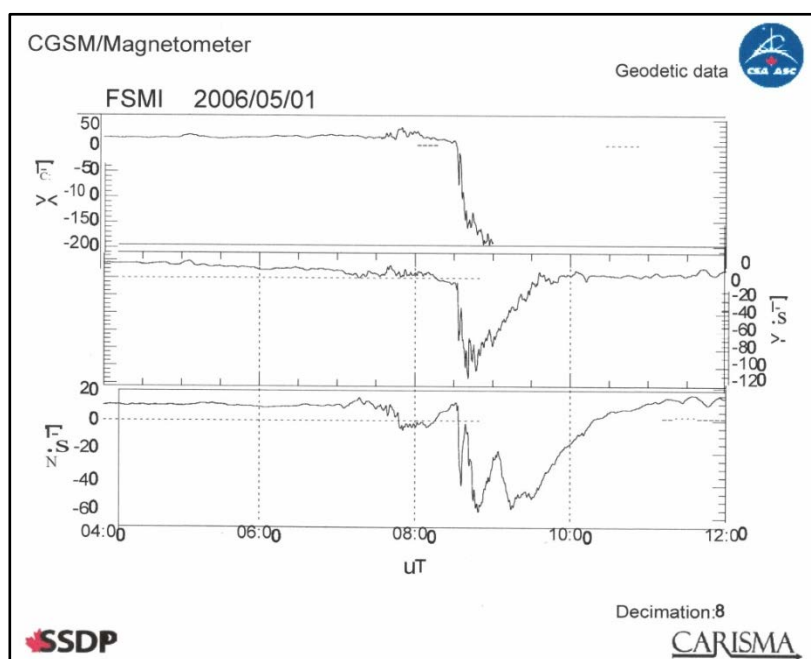
Det finnes to typer av variasjoner i det geomagnetiske feltet: (1) storskala variasjoner som skyldes en geomagnetisk substorm og (2) geomagnetiske mikropulsasjoner.

2.4.1 Geomagnetisk substorm

En geomagnetisk substorm inntreffer gjerne i nordlige områder i det som kalles nordlysovalen. Dette er ikke et fast område, men varierer med årsak i ulike faktorer. For det første er det en døgnlig variasjon som skyldes at Jorden roterer. I tillegg er det en jevnlig fluks av partikler som trenger inn i ionosfæren og atmosfæren, spesielt om natten. Ovalen varierer også med

variasjoner på Solen. Dersom det oppstår mindre eller større solutbrudd, der en større «sky» av ionisert gass følger med solvinden og treffer Jorden magnetosfære, vil nordlysovalen ekspandere og trekke lenger sydover. Det er årsaken til at vi til tider kan observere nordlys for eksempel i Sør-Norge.

I Figur 2.7 viser vi en slik substorm som inntreffer i den amerikanske sektoren rundt klokken 0800 UT (Universal Time). En forandring som vist i denne figuren ledsages av større eller mindre utbrudd av nordlys avhengig av hvor kraftig det er. I tillegg vil det opptre magnetiske mikropulsasjoner (se 2.4.2) i forbindelse med disse storskalavariasjonene i magnetfeltet.



Figur 2.7 Magnetisk substorm som inntreffer rundt klokken 8 UT⁷.

2.4.2 Magnetiske mikropulsasjoner

Magnetiske mikropulsasjoner er et vanlig fenomen og opptrer i samband med en magnetisk substorm som også utløser nordlys. Pulsasjonene har sitt opphav i at strømsystemet i ionosfæren og koblingen til magnetosfæren forandres i en situasjon med partikkelnedbør. Ethvert strømsystem er forbundet med et magnetfelt, og når strømsystemet fluktuierer så fluktuierer også magnetfeltet. Det er dette vi observerer som mikropulsasjoner. I tillegg har vi en større og mer

⁷ Canadian Array for Realtime Investigations and Magnetic Activity (CARISMA), University of Alberta, Canada

langvarig forandring av strømsystemet som gir opphav til substormen som vi blant annet kan se i Figur 2.7. Klassifikasjon av de to ulike typene av magnetiske pulsasjoner (kontinuerlige (Pc) og irregulære (Pi)) er vist i Tabell 2.1 og Tabell 2.2.

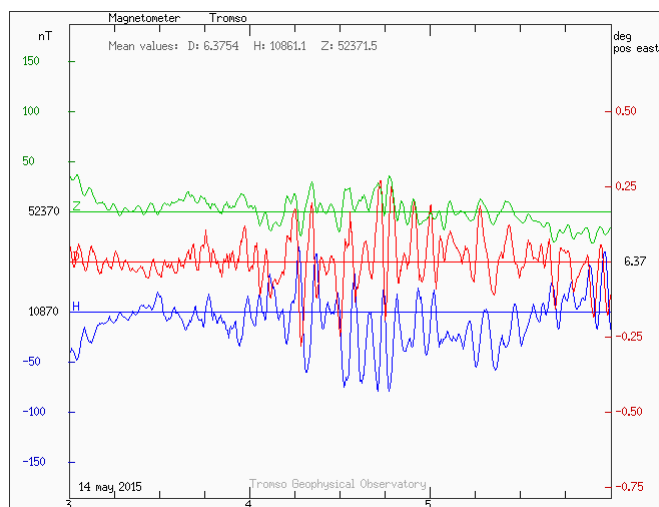
Class	Low Period(s)	High Period(s)
Pc5	600	150
Pc 4	150	45
Pc 3	45	10
Pc2	10	5
Pc 1	5	0.2

Tabell 2.1 Klassifikasjon av regulære magnetiske mikropulsasjoner⁸.

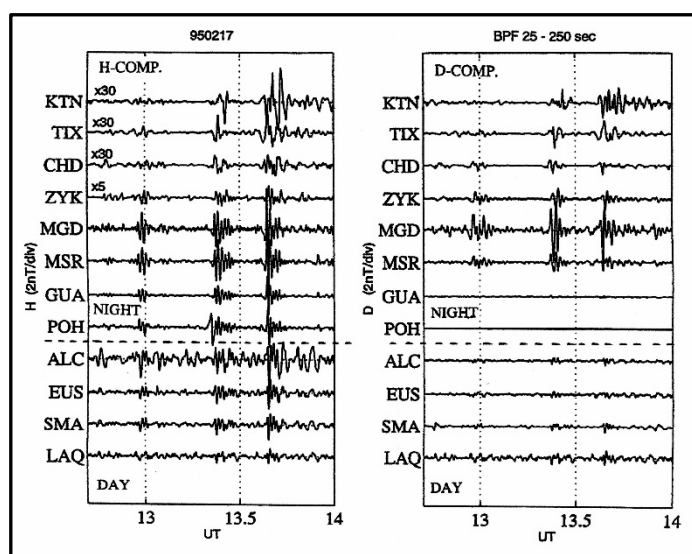
Class	Low Period(s)	High Period(s)
Pi2	150	45
Pi1	45	1

Tabell 2.2 Klassifikasjon av irregulære magnetiske mikropulsasjoner⁸.

⁸ HearthMath Institute, UK, Jan 2010



Figur 2.8 Eksempel på kontinuerlige pulsasjoner i kategorien Pc5 der perioden er flere minutter⁹.



Figur 2.9 Eksempel på irregulære magnetiske pulsasjoner i det jordmagnetiske feltet. Merk at tidsskalaen er merkbart kortere enn i tilfellet med de kontinuerlige pulsasjonene¹⁰.

De irregulære pulsasjonene er gjerne ledsaget av en magnetosfærisk substorm (se 2.4.1). Pulsasjoner i magnetfeltet kan blant annet maskere fartøy både over og under vann som passerer en magnetometerkjede på bunnen siden frekvensområdet er det samme (<1Hz). Det som skiller

⁹ Tromsø Geophysical Observatory

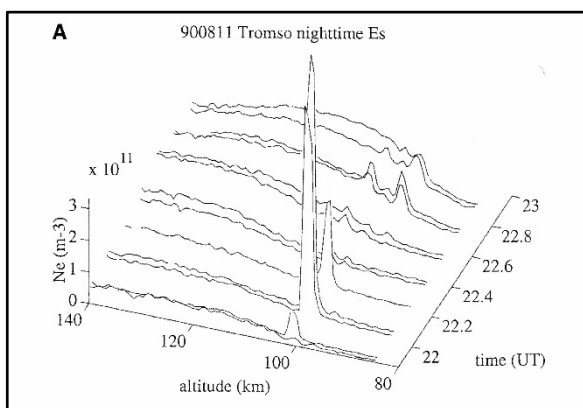
¹⁰ Yumoto K and the CPMN Group, Earth Planets Space, vol. 53, 981-992, 2001

er bevegelse siden pulsasjonene vil påvirke alle sensorene tilnærmet samtidig, mens et fartøy som passerer en rekke med sensorer vil etterlate seg en bevegelsessignatur i målingene. I en hektisk situasjon kan det likevel være vanskelig å skille det ene fra det andre.

2.5 Ionosfære variasjoner

Det er flere naturlige variasjoner i ionosfærens bakgrunnstetthet. De som vi vil nevne her er:

- a) Storskala variasjoner i bakgrunnstetthet (avhengig av tid på året og tid på døgnet)
- b) Høydevariasjoner forårsaket av partikkelnedbør ifm nordlys og geomagnetiske variasjoner
- c) Sporadiske E lag (sammenheng med elektrisk felt og vind)



Figur 2.10 Illustrasjonen viser et sporadisk E lag observert med EISCAT VHF radaren (224MHz) utenfor Tromsø¹¹.

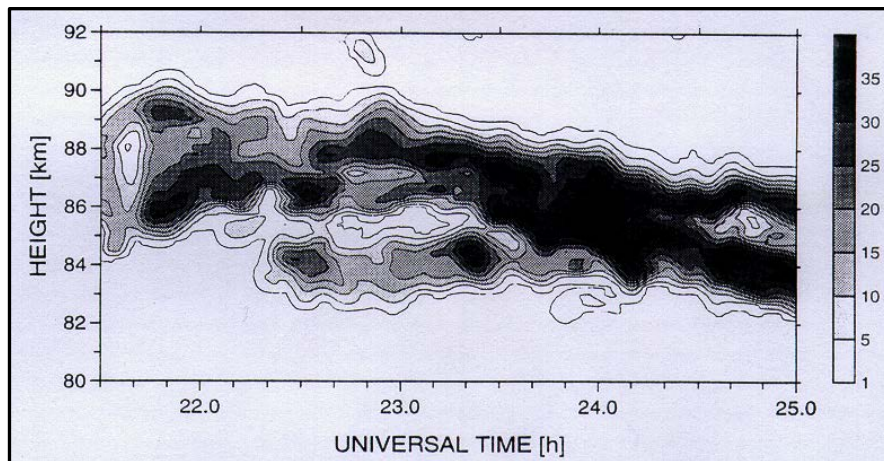
I Figur 2.10 viser vi et sporadisk E-lag observert med EISCAT radaren utenfor Tromsø. Som man kan se så opptrer det et svært sterkt, men sporadisk lag, rundt 100 km høyde. Dette har en bakgrunnstetthet i elektroner som er mange ganger så sterkt som den «vanlige» ionosfæren i denne høyden og kan forårsake ulike fenomen som for eksempel kommunikasjon på høyere frekvenser enn vanlig i HF båndet og forstyrrelser av signal til/fra en satellitt.

2.6 Polare mesosfæreekko og lysende nattskyer

Polare mesosfæreekko (Polar Mesosphere Summer Echoes; PMSE) er kraftige tilbakespredte radarsignaler fra høydeområdet 80-90 km om sommeren (fra slutten av mai og til midten av august) målt spesielt i VHF båndet (30-300 MHz). Ekkoene er opptil 50 ganger sterkere enn bakgrunnssignalet fra ionosfæren. Et eksempel på slike er vist i Figur 2.11. Her ser vi hvor

¹¹ Kirkwood S and Nilsson H, Space Science Reviews, vol. 91, 579-613, 2000

dynamisk et slikt signal kan være både høydemessig og i signalstyrke. Årsaken er aerosol partikler på noen nanometer i størrelse som påvirker den bakenforliggende tettheten i ionosfæren slike at det oppstår fluktuasjoner i elektrontetthet. Dette igjen gir opphav til det tilbakespredte radarsignalet som ellers bare ville trengt gjennom ionosfæren i disse høydene.



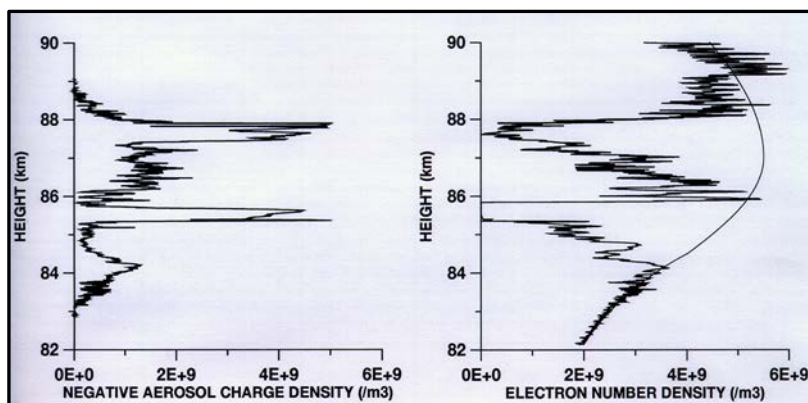
Figur 2.11 Figuren viser polare mesosfære ekko (PMSE) målt med en 50 MHz radar på Andøya.

Lysende nattskyer, eller NLC på fagspråket (Noctilucent Clouds) opptrer i samme høydeområdet som PMSE og er forårsaket av samme type partikler som disse, bare i den øvre størrelsesskalaen (over 10-20 nanometer i størrelse). Et eksempel på NLC er vist i Figur 2.12.



Figur 2.12 Lysende nattskyer over Stockholm (Foto: Peter Dalin).

FFI har i mange år studert både NLC og PMSE ved hjelp av instrumenterte raketter. Et eksempel på hva som måles er vist i Figur 2.13. Her ser vi hvordan aerosolene påvirker tettheten av elektroner ved å oppta ladning (electron attachment) slik at det både oppstår kraftige fluktuasjoner så vel som «hull» i elektrontettheten. Disse fenomenene vil kunne påvirke ethvert radiosignal til/fra en satellitt (scintillasjoner)



Figur 2.13 Rakettmålinger av ladde aerosol partikler og elektroner i høydeområdet 80-90 km.

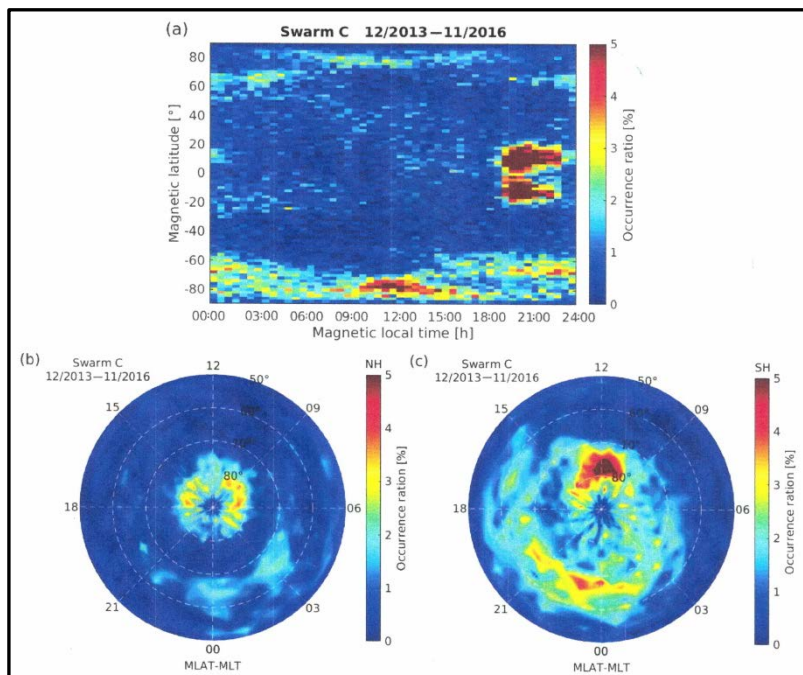
2.7 Polar Cap Absorption

Dette er en hendelse der hele polkalotten over lengre tid er blokkert for radiobølgekommunikasjon i (spesielt) HF båndet. Siden dette foregår på høye breddegrader så vil dette også påvirke kommunikasjon og navigasjon fra/til satellitter i geostasjonære baner. Årsaken til fenomenet ligger på Solen der det tidvis slynges ut høyenergi protoner (flere MeV) som treffer Jordens magnetosfære og som leder til massiv ionisasjon i den lavere ionosfære (D-laget under ca. 90 km høyde). Dette igjen absorberer radiosignaler i HF båndet (2-30 MHz) og blokkerer totalt for kommunikasjon på disse frekvensene. VHF og UHF signaler vil ikke blokkeres, men påvirkes likevel gjennom scintillasjoner i signalene. En av de mer kjente PCA skjedde 23. mai 1967, med etterfølgende store radioforstyrrelser og magnetiske storm¹². Denne hendelsen skal vi senere komme tilbake til.

2.8 Spread-F

Spread-F er et fenomen som er relatert til fluktuasjoner i ionosfærens F-lag i ca. 200 km høyde. Det eksisterer både ved ekvator og ved høyere breddegrader (både i sør og i nord). Et eksempel på målinger fra en av satellittene i SWARM konstellasjonen (tre identiske satellitter i nær polar bane som utgjør en «sverm»; derav navnet) som også har GPS mottakere om bord er vist i Figur 2.14. Her kan vi se hvordan GPS signalene påvirkes ved høye breddegrader både i nord og sør, og hvordan de påvirkes som funksjon av tid på døgnet. Merk at både tid og breddegrad er gitt i magnetiske koordinater. For våre breddegrader er magnetisk midnatt rundt klokken 2230 lokal tid (vintertid) og det er omtrent 10 graders forskjell mellom geografisk og magnetisk breddegrad (0 grader magnetisk tilsvarer 10 grader nordlig breddegrad geografisk). Vi ser en klar påvirkning av GPS signalene som er forårsaket av Spread-F.

¹² Castelli J P, Aarons J og Michael G A, Astrophysical Journal, vol. 153, 267-273, 1968.



Figur 2.14 Eksempel på Spread-F som viser påvirkning på GPS signaler¹³.

2.9 Oppsummering

Som man kan se av det som er skrevet i dette kapittelet så er det en lang rekke fenomen som kan påvirke signaler i nær sagt hele frekvensspekteret. Dette er med på å sette dagsorden for hvordan man kan beskytte seg mot de mest alvorlige konsekvensene av romvær som er med på å skape usikkerhet rundt ytelsen til ulike systemer både i det nære verdensrom og på bakken. Vi vil videre i denne rapporten ta for oss både status for hvor man står når det gjelder varsling av romvær, så vel som samfunnsmessige påvirkninger som følge av romvær.

3 Hvor står romvær i Norge i dag?

Romvær er et begrep som har fått stadig større betydning både for sivil og militær sektor. På engelsk snakker man om «Space weather» som igjen er et punkt under den større overskriften «Space Situational Awareness» (SSA). SSA deles gjerne inn i to hoveddeler:

¹³ Xiong C, Stolle C og Park J, *Annales Geophysicae*, vol. 36, 679-693, 2018.

-
-
1. Objektovervåking (romsøppel og astronomiske objekter)
 2. Romvær (forstå påvirkning av naturfenomen i rommet så som solstormer, stråling etc; se kapittel 2)

I Norge så har det hovedsakelig vært fokus på det første punktet, selv om heller ikke dette har vært spesielt tatt med i Forsvarets bruk av rombaserte kapasiteter (satellitter). Romvær har blitt helt neglisjert så langt.

Nå som Norge har fått sine egne AIS satellitter(AISSat 1 og 2; NORSAT 1 og 2) i bane (oppskytning fra India og Kasakhstan) så vel som at det er planlagt flere mikrosatellitter med ulike typer av sensorpakker (AIS, EO, ESM, SATCOM) i nærmeste fremtid synes det viktig at også romvær settes på agendaen.

Det finnes to hoveddokumenter som behandler norsk romvirksomhet:

1. Meld. St. 32 (2012-2013), «Mellom himmel og jord: Norsk romvirksomhet for næring og nytte levert Stortinget» (sivil sektor).
2. «Romvirksomhet for sikkerhet og forsvar – Strategisk grunnlag», innspill til FMR 2015 (militær sektor) (Begrenset).

Ingen av dokumentene tar i nevneverdig grad opp romvær, men konsentrerer seg om hvordan romvirksomheten har betydning for alle deler av samfunnet, samt hvordan den bør organiseres. Romvær nevnes kun i forbifarten og der SSA er nevnt går diskusjonen stort sett på de problemene som romsøppel (rester av satellitter eller gamle satellitter som er uvirksomme) utgjør. Vel så viktig kan romvær bli fordi stadig mer av satellittparken baser seg på hylleware (of-the-shelf) komponenter for raskere å få en satellitt i bane. Resultatet er at stadig flere satellitter vil være sårbare for naturlige påvirkninger som vi ikke kan gjøre noe med. Dette bør derfor adresseres i større grad i fremtiden og tas med som en faktor både i drift av systemene, så vel som i planlegging og gjennomføring av operasjoner i regi av Forsvaret.

Det finnes i tillegg til de to nevnte rapportene noen få andre rapporter (FFI rapporter) som vi tar med her:

1. «Romvær – prosesser og effekter», K. Svenes, FFI-rapport 2009/01071, 2009.
2. «Romvær – et eksempelstudium», K. Svenes, FFI-rapport 2009/02112, 2009.
3. «Romvær – informasjon fra internett til nytte for operative HF-brukere», B. Jacobsen, V. Jodalen og B. H. Farsund, FFI/RAPPORT-2003/02353, 2003.
4. «Towards Space Situational Awareness in operations», K. Svenes, J. Doorn, L. van der Ham, F. Wokke og E. Kuijpers, FFI-rapport 2015/01275, 2015 (Unntatt offentlighet).

Rapportene er 10-15 år gamle, bortsett fra den siste, men er fortsatt aktuelle da prosessene som er involvert er de samme. Rapportene kan derfor også benyttes i dag. De to første ser kun på romvær ut i fra et vitenskapelig ståsted og omhandler ikke konsekvenser for Forsvaret. Den tredje ser, som tittelen indikerer, at det er HF samband som er fokus og ikke påvirkning på satellitter (og sensorer) i bane. Den siste rapporten som er den nyeste er resultatet av et internasjonalt samarbeid mellom Norge (FFI) og Nederland, der TNO har hatt hovedansvaret for utgivelsen av hovedrapporten. Denne er i sin helhet lagt ved FFI rapporten. Rapporten beskriver en visjon for hvordan romvær kan benyttes operasjonelt i fremtiden og er nok det nærmeste vi kommer en beskrivelse av potensielle operasjonelle effekter på militær aktivitet. Rapporten danner et grunnlag for videre arbeid med romværproblematikken i Norge.

Det mangler derfor en god del arbeid på hvordan romvær kan påvirke satellitter som Forsvaret benytter slik at etaten blir oppdatert på situasjonen og hvordan romvær kan påvirke operasjoner negativt, og i enkelte tilfeller også positivt. Det internasjonale arbeidet referert til over (FFI-rapport 2015/01275) er sannsynligvis det beste utgangspunktet vi har pr dags dato.

I Norge har Norges Arktiske Universitet i Tromsø opprettet et senter for romvær «Norwegian Centre for Space Weather»¹⁴. Her kan man på forsiden finne tilstanden for geomagnetiske forstyrrelser og nordlys i sann tid og varsel 1 time inn i fremtiden. Dette er ikke nok til at Forsvaret kan planlegge operasjoner som kan forstyrres av romvær. Men, det kan aktivt benyttes for å finne tilstanden her og nå da det dette også kan ha en effekt på pågående operasjoner. Forstyrrelser i ionosfæren kan inntreffe på meget kort varsel (minutter), mens forstyrrelser som kan påvirke satellitter i bane har noe lengre tidshorisont. Her kan det være snakk om 1-2 dager før et utbrudd på solen får effekt i vårt nære verdensrom der satellittene befinner seg. På hjemmesidene til senteret i Tromsø kan man også finne linker til ulike hjemmesider til organisasjoner i utlandet (spesielt USA) der man kan finne varsler for noen dager fremover. Av spesiell interesse er informasjonen man finner hos National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)¹⁵. Et utbrudd på solen kan skje plutselig og da har man i teorien 1-2 dager på å sette inn tiltak

NOAAs varsler er sannsynligvis de beste som man pr i dag kan fremskaffe siden de også strekker seg inn i fremtiden, dog med stor grad av usikkerhet. Senteret i Tromsø

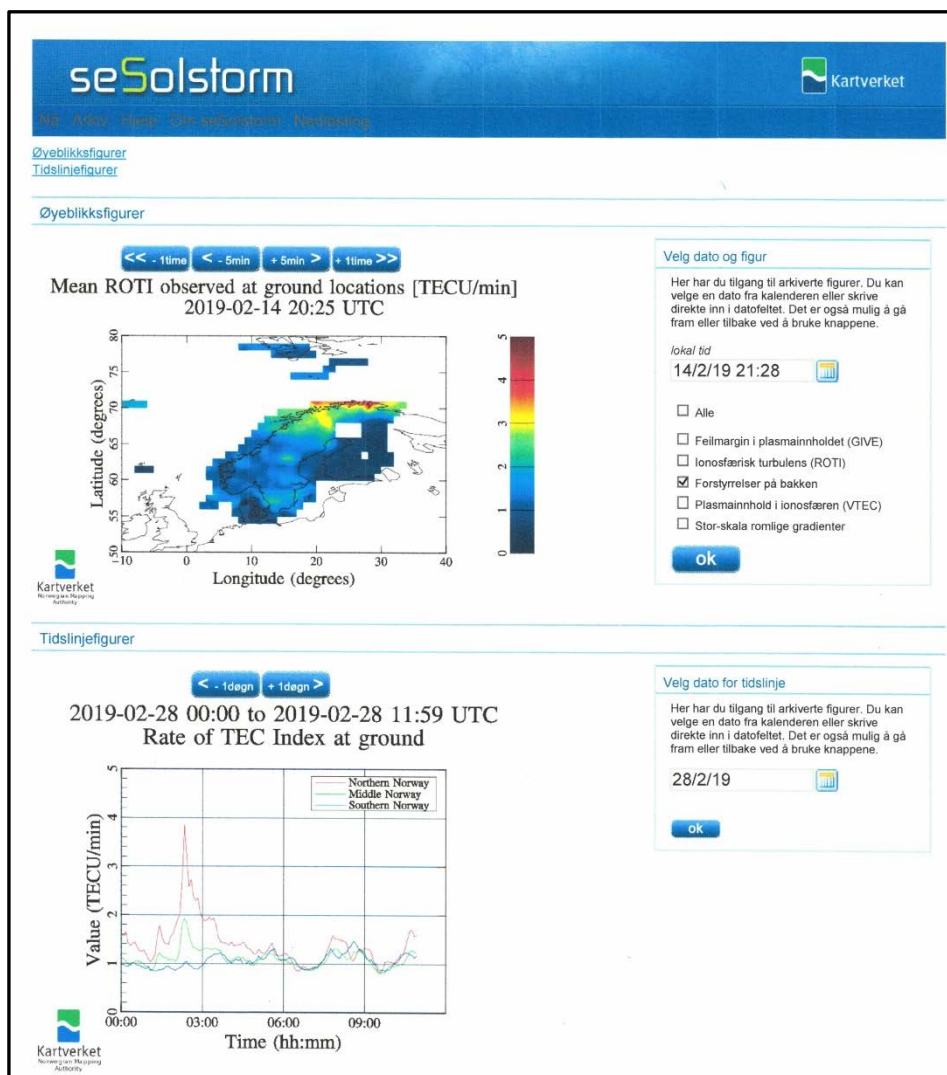
¹⁴ <http://site.uit.no/spaceweather/>

¹⁵ <https://www.swpc.noaa.gov/>

inneholder også linker til andre sider som er av interesse, blant annet ESA, og link til FFIs rapport nr. 1 nevnt tidligere. På hjemmesidene til NOAA finnes mye informasjon om romvær som kan komme Forsvaret til nytte. Bruken av dataene kan derimot bli et problem, men noe av dataene overføres til NATO og er tilgjengelig der. Denne må man imidlertid be NATO om tilgang til, den finnes ikke åpent på NATOs hjemmesider.

I tillegg til senteret i Tromsø så har Kartverket opprettet en tjeneste for romvær¹⁶. Her får man innledningsvis en kort innledning om hva romvær er. I tillegg kan man for den operative delen klikke på linken «sesolstorm» på denne siden og man får da opp et oversiktsbilde over nåsituasjonen for romvær i Europa, men med fokus på Norge. I likhet med sidene til Universitetet i Tromsø så går heller ikke Kartverket i dybden av temaet romvær, men begge sidene er å anbefale siden det er det beste vi har i Norge per dags dato. Et eksempel på et slikt varsel er gitt i Figur 3.1. Dette viser situasjonen i nåtid og er ikke en indikator på hva som skjer i morgen eller om to uker.

¹⁶ <https://www.kartverket.no/Posisjonstjenester/Romvar-og-posisjonstjenester/>



Figur 3.1 Eksempel på varsel fra «seSolstorm» hentet fra Kartverkets hjemmesider.

I tillegg har FFI kontakter i Norsk Romsenter (Terje Wahl) og ved Universitetet i Oslo (Jøran Moen). Sistnevnte har i flere år tatt til orde for at Norge skal ta et spesielt ansvar for å varsle romvær på nordlige breddegrader. Norge er spesielt påvirket av partikkelstråling fra solen da disse (ladde) partiklene styres ned i ionosfæren og atmosfæren av jordens magnetfelt. Dette gjør Norge sårbare for solutbrudd og de konsekvenser dette kan få for installasjoner på bakken i tillegg til den direkte påvirkning partiklene har på satellitter.

Det bør også nevnes at det etter at FMR og siste Langtidsplan for Forsvaret ble fremlagt har blitt opprettet et prosjekt under FD (FD Space). Prosjektet har ikke store ressurser

og har så vidt vi vet ingen særskilt ekspertise på romvær. FD Space har nå etablert en ekspertgruppe på SSA (Space Situational Awareness). Etter det første møtet ble det her diskutert behovet for å opprette en undergruppe med tema romvær. Dette er et kjærkommet initiativ og et samarbeid mellom flere grupper både på FFI og utenfor instituttet bør vurderes.

Oppsummert så finnes det en del informasjon på internett som Forsvaret i dag kan dra nytte av umiddelbart. En bedre forståelse for de utfordringene man står ovenfor dersom romværet skulle skape problemer for satellitter som Forsvaret benytter er derimot en nødvendighet. I den sammenheng er initiativet til FD Space høyst relevant. FFI har i forbindelse med utarbeidelsen av varsler for HF blitt kontaktet av Forsvaret for å svare på spørsmål om hvorfor man ikke får kontakt mellom A og B når varslene sier det. Dette skyldes romvær som langt de fleste vet noe om og enda mindre hvor de skal finne informasjon. Selv om FFI sluttet med slike varsler for ca. 15 år siden så vil problemstillingen være høyst aktuell i forbindelse med satellitter i bane.

Det skal også nevnes at FFI var deltaker i to NATO grupper som studerte romvær (eller SSA) for noen år siden. Kontaktperson er Ulf-Peter Hoppe fra avdeling Forsvarssystemer. I den sammenheng ble det utarbeidet to rapporter som er av interesse:

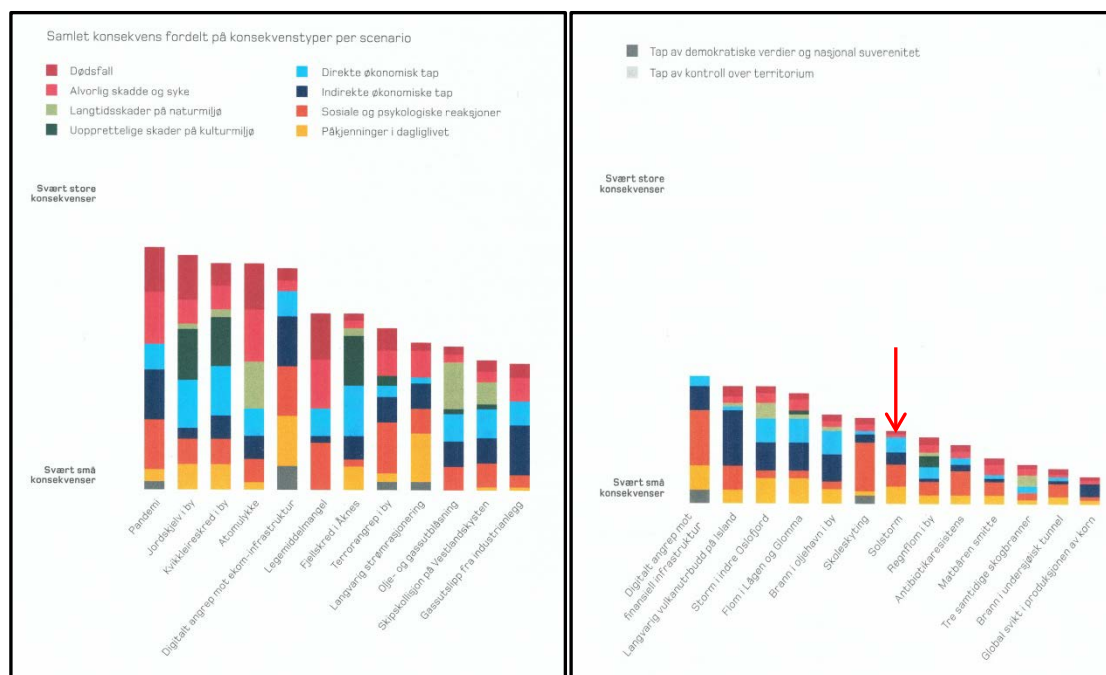
1. AC/323(IST-051)TP/207, «Characterising the Ionosphere», ISBN: 978-92-837-0057-9 (NATO RTO), 2009
2. AC/323(SCI-229)TP/852, “Space Environment Support to NATO – Space Situational Awareness”, ISBN: 978-92-837-2177-2 (NATO STO), 2018,

Den første rapporten beskriver bakgrunnsforholdene i jordens ionosfære og magnetosfære med alle de påvirkningene disse områdene kan ha på objekter i rommet så vel som på bakken. Den andre, og siste, rapporten tar direkte for seg SSA og er et godt utgangspunkt for å danne seg et grunnlag for å forstå romvær. Ulf-Peter Hoppe ved FFI underviser også i romvær i Tyskland for offiserer i tyske Bundeswehr, personell i NATO og sivile beslutningstakere. Noe lignende kunne etableres i Norge.

Ut i fra det som her er skrevet så kan man foreløpig konkludere med at det er mangelfull innsikt i Forsvaret som organisasjon når det gjelder romvær. Enkeltpersoner kan nok inneha viten om dette, men det er ikke kommet inn i Forsvaret på noen organisert måte. Derfor bør Forsvaret forlenge og samtidig utvide FD Space til også å inkludere romvær som et naturlig element i arbeidet i større grad enn i dag, noe som for romvær som spesialområde ser ut til å bli en realitet. Arbeidet er likevel kun i startgropen.

4 Samfunnssikkerhet og romvær

Samfunnssikkerhet er et høyt prioritert satsningsområde i Norge. Senest i desember 2016 ble det lagt frem en melding ovenfor Stortinget vedrørende samfunnssikkerhet (Meld. St. 10 (2016-2017), «Risiko i et trygt samfunn – Samfunnssikkerhet»). Denne rapporten tar for seg ulike deler av samfunnssikkerheten, men unngår å nevne romvær spesifikt. Den referer likevel til de scenariene som Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) jevnlig utgir. Senest ble sistnevnte dokument utgitt i februar 2019¹⁷. Her listet ikke mindre enn 25 ulike scenarier som vil ha alt fra liten til ekstrem innvirkning på samfunnet. Ett av disse er kalt «Solstorm» og beskriver i korte trekk et tenkt scenario med et kraftig utbrudd på Solen med påvirkning på samfunnet. Dette er det eneste offentlige dokument der romvær har funnet sin plass i risikobildet. Det bør imidlertid settes søkelys på hvor alvorlig myndighetene tar et slikt scenario. I rapporten fra DSB så har hver av de 25 scenariene som listes opp blitt gitt en score for ulike påvirkninger av samfunnet. Dette er vist i Figur 4.1.



Figur 4.1 Samlet score for de 25 scenariene gitt i DSBs risikobilde for 2019¹⁷.

Som man ser, så rangeres scenariet med solstorm et stykke ned på listen. Dette fordi det naturlig nok scorer lite på følger som død og alvorlig skadde. Dette kan imidlertid forandre seg dersom hendelsen er tilstrekkelig alvorlig og medfører bortfall av samfunnskritiske funksjoner over lang tid. Etter denne forfatters mening er scoren på økonomiske forhold satt for lav. Dette støttes av

¹⁷ Analyser av krisescenarier 2019, DSB, feb. 2019

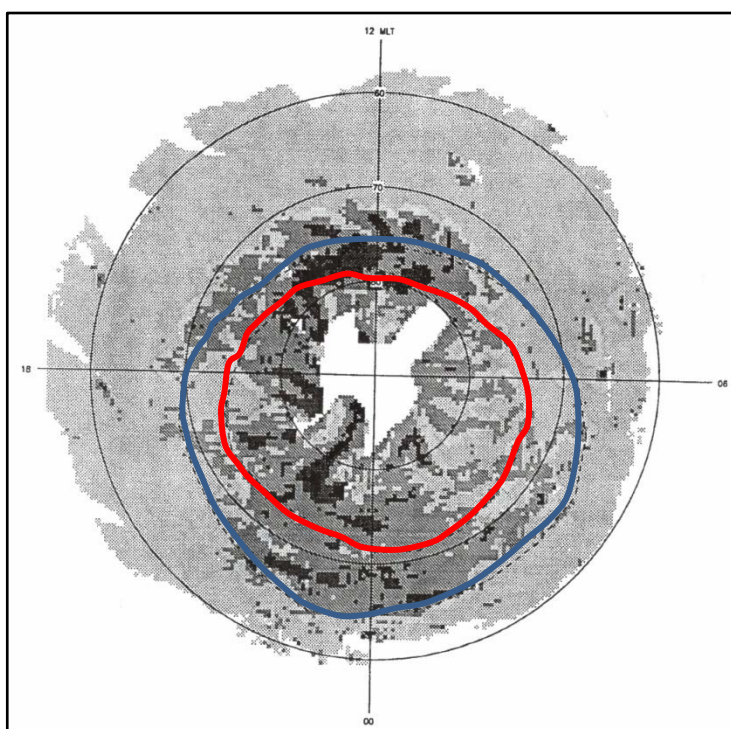
flere publikasjoner de senere årene. I serien av BAS prosjektene ved FFI (Beskyttelse av samfunnet) ble det i 2011 publisert en rapport der blant annet konsekvensene av en solstorm ble diskutert¹⁸. Scenariet som her legges frem vedrørende solstorm inneholder elementer som bortfall av strøm i flere måneder i store områder, utskifting av ødelagte transformatorer som tar år å erstatte, datanettverk som ikke fungerer hvilket medfører at folk ikke får handlet varer eller drivstoff. Kloakk og vannforsyning faller bort og det er store problemer med oppvarming i hus med kun elektrisk fyring. TV eller radio fungerer dårlig. Det samme er tilfellet med mobiltelefon. Etter 3-4 måneder er den mest kritiske situasjonen over, men det er store ettervirkninger i opp til et år på grunn av ustabil strømforsyning og nettverksbortfall. Sykehusene bruker mange måneder på å sjekke medisinsk utstyr og store deler av dataparken må byttes ut. Dette beskriver i større grad en realistisk situasjon ved en stor solstorm som kan ramme oss.

Den mest kjente og omtalte solstormen er kanskje den såkalte «Carrington» stormen i 1859. Dette var selvsagt lenge før dagens teknologiske samfunn, men konsekvensene av stormen var likevel svært merkbare. Det mest spektakulære teknologisk sett var at kommunikasjonen over telegrafnettet ble overbelastet og flere morseoperatører fikk sine ører sprengt av elektromagnetiske pulser på nettet. I tillegg trigget dette utstrakt nordlysaktivitet så langt sør som Karibia og Chile. Det betyr at hendelsen var svært kraftig ettersom den kunne forårsake en slik utvidelse av nordlysovalen. Dersom en slik solstorm skulle inntreffe i dag (se scenarioet beskrevet ovenfor) vil det kunne ha langt større konsekvenser enn den gang.

Det finnes flere referanser som underbygger påstanden om at DSB kanskje har underestimert de økonomiske følgene av en kraftig solstorm. I 2008 gjennomførte det nasjonale forskningsrådet i USA en studie som konkluderte med at de økonomiske følgene av en solstorm bare det første året kunne beløpe seg til to billioner dollar (20 000 milliarder norske kroner) globalt. Det er mer enn dobbelt av hele det norske oljefondet, og det bare det første året! I tillegg anslår amerikanerne at det vil ta 4-10 år å rette opp i alle feil og erstatte det som har gått tapt, blant annet er massivt tap av satellitter. Tiden det tar å rette opp alle feilene er kanskje den mest alvorlige konsekvensen av en slik hendelse dersom dette scenariet skulle inntreffe. I scenarierapporten fra DSB argumenteres det med at Norge har korte overføringslinjer når det gjelder kraftdistribusjon som andre systemer er avhengig av og derfor mindre sårbare enn andre land. Dette er kanskje riktig når det gjelder selve ledningsnettet, men dersom en solstorm på størrelse med hendelsen i 1859 skulle inntreffe vil dette også slå ut selve kraftstasjonene og styringssystemene der. I tillegg er vi i en globalisert verden avhengig av en lang rekke systemer som befinner seg i utlandet slik at det er ikke bare egne systemer vi er avhengig av, men i tillegg en lang rekke systemer som er utenfor vår kontroll. Alle systemer som er avhengig av GPS (eller tilsvarende systemer) vil kunne være nede i svært lang tid og således ramme norske interesser. Dessuten er det sammenheng mellom for eksempel scenariet langvarig strømransjering og solstorm, så vel som finansiell infrastruktur og e-kom. Som allerede nevnt, bør derfor den samlede score for scenariet solstorm oppjusteres.

¹⁸ Hagen J M, Knutsen B O, Bjørnenak M og Sandrup T, «Scenarioer for samfunnssikkerhet og nasjonal beredskap», FFI-rapport 2011/00648 (Begrenset).

Et eksempel på hvilke forstyrrelser som romvær kan forårsake er vist i Figur 4.2 der vi ser hvilken innvirkning en forstyrret ionosfære har på GPS signaler. Dette er resultatet fra en langtidsstudie (ett år) som ble gjennomført for nesten 30 år siden av FFI og Kartverket¹⁹. Her ser vi forstyrrelser av GPS signalene i en sort-hvitt fremstilling over polkalotten. Som man ser så er det store områder der GPS signalene er forstyrret, noe som kan påvirke nøyaktigheten av GPS, spesielt desto lenger nord man kommer. Merk at dette er under «normale» forhold og ikke under en sterk solstorm. I nordområdene er det derfor vanlig med mindre forstyrrelser av navigasjons- og tidsangivelser. Som regel utgjør ikke dette noe problem fordi det er flere satellitter som til enhver tid benyttes til posisjonering og tidsnøyaktighet.



Figur 4.2 Figuren viser forstyrrelser i GPS signalet over nordkalotten²⁰. Den røde og den blå linjen representerer inner- og ytter-delen av nordlysovalen (statistisk middel).

¹⁹ Ofstad A E, Berggraf Ø, Odden V, Mildal K D, Hoppe U-P og Hansen T L, “GPS in Arctic Areas”, Technical Report GEO 91-1, Kartverket, 1991.

²⁰ Hoppe U-P, “Internasjonalt møte om radionavigasjon”, Moskva, FFI/REISERAPPORT-97/04647, 1997.

5 Oppsummering

Når det kommer til hvilke effekter som romvær kan ha på samfunnssikkerhet, både militært og sivilt, så deles disse inn i to kategorier:

- a) Ødelegge infrastruktur
- b) Påvirke ytelsen av romsystemer og bakkeinfrastruktur

Det første punktet gjelder både satellitter i rommet så vel som infrastruktur på bakken. Dersom strålingen (spesielt partikkelstråling) er sterk nok kan dette både skade og ødelegge komponenter, instrumenter og kommunikasjonsenheter om bord i en satellitt. I de fleste tilfellene vil påvirkningen være såpass lav at instrumenteringen kan startes på nytt etter hendelsen. Dette skjer til stadighet og forårsaker derfor kun et midlertidig avbrudd i datastrømmen fra satellitten. Men, dersom strålingen er sterk nok så kan i verste fall hele satellitten ødelegges permanent. Dette blir mer sannsynlig ettersom flere og flere satellitter (spesielt mikrosatellitter) bygges ved hjelp av hyllevare og ikke strålingsherdede komponenter og enheter. Denne byggemåten er både rimeligere og satellitten kan ferdigstilles raskere, men det gjør den også mer sårbar for innvirkning utenfra. Dette er noe både fabrikanten, men ikke minst oppdragsgiver bør tenke nøye over. I verste fall kan man sitte igjen med en fullstendig ubrukelig satellittpark som i stor grad påvirker den operative evnen. I tillegg til å påvirke/ødelegge infrastruktur i rommet kan i verste fall en kraftig solstorm som er rettet mot jorden også påvirke infrastruktur på bakken. Dette skyldes induserte strømmer i bakkensystemene som igjen skyldes kraftige og varierende strømmer i ionosfæren. I 1987 ble blant annet hele strømmettet i Québec lammet i to døgn om vinteren på grunn av strømpulser inn i en kraftstasjon som igjen spredde seg i overføringsnettet. Dette var en hendelse lang svakere enn den i 1859. Det som påvirker menneskeskapte strukturer er derfor:

- A. Plasma
- B. Induserte strømmer

Noe av dette kan man beskytte seg mot ved for eksempel overspenningsvern i utsatte system. Noe av problemet ligger i at romvær ikke bare rammer selve strømforsyningen, men går direkte inn i systemene slik at man kan delvis beskytte seg mot noe, men ikke alt.

For til slutt å illustrere hvor ille det har, eller kunne ha, gått så vil vi komme med to eksempler. Det første er hentet fra en situasjon i 1967. Som nevnt i avsnitt 2.7 så ble en sterk PCA observert den 23. mai 1967. Denne ble behørig beskrevet i datidens vitenskapelige tidsskrifter. Det som er mindre kjent inntil nylig etter at graderte dokumenter i USA ble frigitt, er at denne hendelsen også utløste atomalarm²¹. Det ble, kun kort tid etter utbruddet på solen, oppdaget at flere av de amerikanske radarene for varsling av et innkommende atomangrep var satt ut av spill. Dette tolket amerikanerne som at Sovjetunionen jammet deres radarsystemer for å maskere et atomangrep. Amerikanske B-52 bombefly ble derfor scramblet og satt i

²¹ "1967 Solar storm nearly took us to the brink of war", AGU News, 9. August 2016.

alarmberedskap. Heldigvis var det kort tid forut for denne hendelsen blitt etablert en enkel tjeneste på varslings av solutbrudd som ble rapportert til NORAD. Før de amerikanske flyene tok av ble derfor alarmen avblåst. Dette viser viktigheten av å ha en tjeneste som kan varsle dersom noe skjer som kan feiltolkes av de ansvarlige myndigheter.

Den andre hendelsen skjedde under Vietnam krigen i 1972. Amerikanerne hadde i lagt ut store minefelt utenfor kysten av Vietnam for å hindre forsyninger til motparten. Den 2. august dette året var det utbrudd på solen og et par dager senere ble store deler av disse minefeltene detonert uten noen forklaring. Dette var magnetminer og var derfor satt til å detonere ved magnetiske variasjoner. Utbruddet på solen var så sterk at det skapte store magnetiske pulsasjoner som trigget minene til å gå av. Det ble rapport om ca. 4000 miner som detonerte på denne måten²².

Begge disse eksemplene som er deklassifisert etter ca. 50 år viser at romvær spiller en betydelig rolle også for Forsvaret. Dette bør også norske myndigheter ta inn over seg. Uventede ting vil skje også i fremtiden og da må man ha etablert prosedyrer for å hindre utilsiktede hendelser og episoder som kan eskalere. I tillegg må man selvsagt ta høyde for at viktig infrastruktur kan skades og bli satt ut av spill for lang tid.

Det er også verdt å merke seg at de hendelsene vi hittil har nevnt ikke er de kraftigste som så langt har vært observert. To store hendelser som man kun har informasjon om fra studier av iskjerner på Grønland og gamle fossile trær inntraff ca. 660BC og 774AD²³. Dessuten finnes det beretninger i gamle keltiske krøniker. Begge disse hendelsene har blitt beregnet til å være mer enn 10 ganger kraftigere enn Carrington hendelsen i 1859 og ville definitivt brakt oss tilbake til startpunktet når det gjelder elektroniske systemer. Det eneste vi ville sittet igjen med var tegningene til hvordan ting skulle konstrueres dersom disse var skrevet ut på papir.

6 Konklusjon og forslag til tiltak

Romvær er en betydelig, og økende, risiko i vårt høyteknologiske samfunn. Dette gjelder både samfunnssikkerhet på sivil plan så vel som de utfordringer som Forsvaret kan stå ovenfor. Med innfasing av stadig flere teknologiske nyvinninger, samtidig som man benytter mer og mer elektronisk hyllevare, er det å forvente at stadig flere systemer vil være utsatt for ulike effekter av romvær. Carrington hendelsen i 1859 vil i dagens samfunn være en katastrofal hendelse som kan lamme samfunn verden over i flere måneder, for ikke å si år. Enda verre vil det kunne gå dersom en hendelse av samme intensitet som i 660BC og 774AD inntreffer (se avsnitt 5). Flere sentrale systemer og tjenester vil kunne rammes og enten falle helt ut eller reduseres kraftig. Som eksempler kan nevnes kraftforsyning og alle tjenester som benytter eksakt timing (både

²² "Space Weather in Wartime: A Sunspot Detonates Naval Mines", SpaceWeather.co, 10. November 2018.

²³ BBC News, "Solar storm: Evidence found of huge eruption from Sun", 12. March, 2019.

navigasjon og tidsangivelse). I sistnevnte kategori faller for eksempel banksystemer og vannforsyning. Dette vil ikke bare ramme det sivile samfunnet, men også Forsvaret. Flere av de systemene Forsvaret har er avhengig av god tidsangivelse og posisjon, samt at alle kommando- og kontrollsystemer er avhengig av god kommunikasjon. Disse systemene kan under uheldige omstendigheter enten ødelegges eller miste kapasitet som kan være kritisk for gjennomføring av operasjoner både i fred, krise og krig.

I Norge er det i dag svært liten oppmerksomhet rundt spørsmål knyttet til romvær. I fagmiljøer er imidlertid dette på agendaen. Det som gjenstår er at samfunnet tar romvær på alvor som en hendelse som kan medføre store problemer for samfunnet. Det har vært utbrudd på Solen som hadde riktig geometri til å påvirke både satellitter og elektronisk styrte systemer på bakken i nyere tid. I 1987 falt strømmettet i Quebec i Canada bort i bortimot ett døgn. Det samme gjorde strømmettet i deler av det sydlige Sverige. I 2012 var det utbrudd på Solen som sannsynligvis var enda sterkere enn den i 1859. Heldigvis for oss så «bommet» Jorden på den ekstreme plasmaskyken med et par dager. Selv da skapte hendelsen store problemer for blant annet transpolare flyruter som måtte omdirigeres på grunn av store forstyrrelser i navigasjonssystemer. NASA²⁴ har beskrevet dette som en hendelse av samme styrke som om en stor asteroide skulle treffe Jorden og sende oss tilbake til det 18 århundre! NASA påpeker det skremmende ved at denne hendelsen så og si ikke ble nevnt (bortsett fra forstyrrelser i flytrafikken) i de store nyhetsbyråene, aviser eller TV. Dette er skremmende og de avslutter innlegget med å si at «we need to be prepared». Vi skulle kanskje lytte til de signalene en så stor organisasjon som NASA sender ut?

For både Forsvaret og det sivile samfunn er det selvsagt enkelte tiltak som kan settes inn og som allerede har blitt etablert. Ett av disse er bedre overspenningsvern som hindrer induerte strømmer og kraftige pulser å trenge inn i for eksempel kraftforsyningen. Et annet tiltak er å «snu» satellitter i deres bane slik at de vender den minst utsatte siden mot solen. Men, dette lar seg ikke gjøre med det store flertall av satellitter som befinner seg i bane simpelthen fordi de ikke er utstyrt med denne typen utstyr. Dette gjelder for eksempel de norske AIS satellittene. Vi har derfor langt igjen før vi kan si oss tilfreds med de tiltakene som er gjort. For Forsvarets del så vil vi som en start foreslå følgende:

- Program Space fortsetter og utvides med personell som er dedikert til romvær. Forsvaret må få forståelse for hvor viktig romvær kan være for den daglige drift av organisasjonen. Det siste initiativet fra den nyopprettede ekspertgruppen for SSA er viktig.
- Det etableres et undervisningsprogram som fokuserer på romvær både for å lære opp personell hva romvær er, men også slik at de kan gi råd til annet personell i Forsvaret om betydningen av romvær.
- Det etableres en enkel demonstrator for å vise personell i Forsvaret hva romvær er. Dette kan gjerne inngå i undervisningsprogrammet.

²⁴ Near Miss: The Solar Superstorm of July 2012, NASA Science Mission Directorate, 23. July 2014.

-
- En enkel varsling av romvær tas inn i den daglige strøm av annen informasjon om meteorologiske, oseanografiske og geografiske tjenester som tilflyter Forsvaret. Et enkelt bilde fra for eksempel NOAA burde i første omgang være tilstrekkelig.

Vårt håp og ønske er at personell i Forsvaret skal forstå hvor viktig romvær kan være for den daglige driften. En stor hendelse inntreffer ikke hver dag og de kommer med ujevne mellomrom, men det som er sikkert er at det en dag vil komme et solutbrudd som setter både Forsvaret og det sivile samfunn på prøver vi i dag ikke ser omfanget av.

Referanser

AC/323(IST-051)TP/207, «Characterising the Ionosphere», ISBN: 978-92-837-0057-9 (NATO RTO), 2009.

AC/323(SCI-229)TP/852, “Space Environment Support to NATO – Space Situational Awareness”, ISBN: 978-92-837-2177-2 (NATO STO), 2018.

AGU News, “1967 Solar storm nearly took us to the brink of war”, 9. August 2016.

BBC News, “Solar storm: Evidence found of huge eruption from Sun”, 12. March, 2019.

Canadian Array for Realtime Investigations and Magnetic Activity (CARISMA), University of Alberta, Canada.

Castelli J P, Aarons J og Michael G A, Astrophysical Journal, vol. 153, 267-273, 1968.

DSB, Analyser av krisescenarier 2019, februar 2019.

Glatzmaier G A og Roberts P H, Nature 377 (6546) 203-209, 1995.

Griffith Observatory, California, USA.

HearthMath Institute, UK, Januar 2010

Hoppe U-P, “Internasjonalt møte om radionavigasjon”, Moskva, FFI/REISERAPPORT-97/04647, 1997.

Jacobsen B., Jodalen V. og Farsund B. H. «Romvær – informasjon fra internett til nytte for operative HF-brukere», FFI/RAPPORT-2003/02353, 2003.

Kirkwood S og Nilsson H, Space Science Reviews, vol. 91, 579-613, 2000.

Lanzerotti L. J., Bell Laboratories, Lucent Technologies, Inc., USA.

Meld. St. 32 (2012-2013), «Mellom himmel og jord: Norsk romvirksomhet for næring og nytte levert Stortinget».

NASA/JPL, 2014.

NASA Science Mission Directorate, “Near Miss: The Solar Superstorm of July 2012”, 23. July 2014.

Ofstad A E, Berggraf Ø, Odden V, Mildal K D, Hoppe U-P og Hansen T L, “GPS in Arctic Areas”, Technical Report GEO 91-1, Kartverket, 1991.

«Romvirksomhet for sikkerhet og forsvar – Strategisk grunnlag», innspill til FMR 2015 (Begrenset).

Royal Observatory of Belgium, Februar 2019.

SOHO/NASA, 2009.

SpaceWeather.com, “Space Weather in Wartime: A Sunspot Detonates Naval Mines”, 10. November 2018.

Svenes K., «Romvær – prosesser og effekter», FFI-rapport 2009/01071, 2009.

Svenes K., «Romvær – et eksempelstudium», FFI-rapport 2009/02112, 2009.

Svenes K., Doorn J., van der Ham L., Wokke F. og Kuijpers E. «Towards Space Situational Awareness in operations», FFI-rapport 2015/01275, 2015 (Unntatt offentlighet).

Tromsø Geophysical Observatory.

Xiong C, Stolle C og Park J, Annales Geophysicae, vol. 36, 679-693, 2018.

Yumoto K and the CPMN Group, Earth Planets Space, vol. 53, 981-992, 2001.

About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

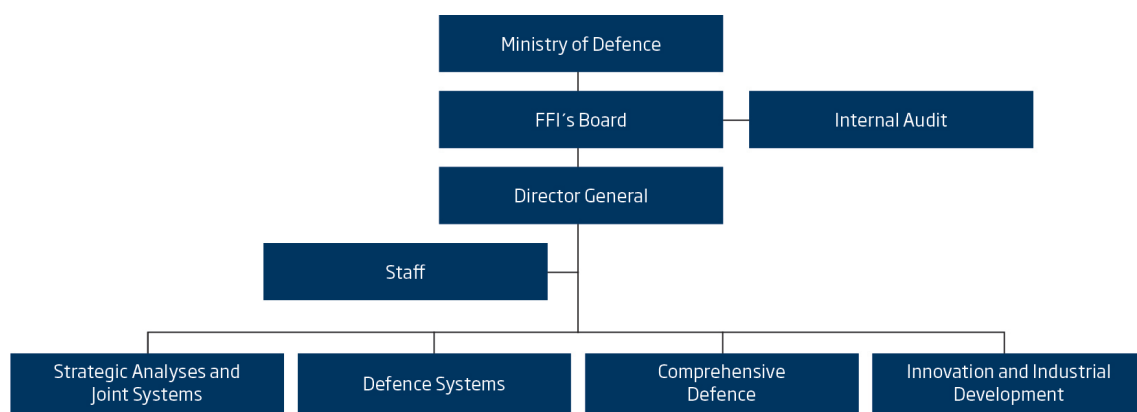
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: ffi@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: ffi@ffi.no