

Kilde: NASA

## **100-årsbølger fra verdensrommet.**

Hvordan kan neste ekstreme solstorm true  
petroleumsvirksomheten i Norge?

**Masteroppgave i risikostyring og sikkerhetsledelse**

**av**

**Olav Harald Vårdal**

29 januar 2016

Mastergradsstudium i risikostyring og sikkerhetsledelse

Universitetet i Stavanger

**MASTERGRADSSTUDIUM I  
RISIKOSTYRING OG SIKKERHETSLEDELSE**

**MASTEROPPGAVE**

SEMESTER: Høst 2015

FORFATTER: Olav Harald Vårdal

VEILEDER: Janne Hagen, Forsvarets Forskningsinstitutt

TITTEL PÅ MASTEROPPGAVEN: 100-årsbølger fra verdensrommet.

Hvordan kan neste ekstreme solstorm true petroleumsvirksomheten i Norge?

*ENGLISH TITLE: 100 year waves from space. How may the next extreme sun storm threaten petroleum activities in Norway?*

EMNEORD/STIKKORD:

Solstorm, romvær, sårbarhet, risiko, robusthet, petroleumsvirksomhet, kritisk infrastruktur, satellitter, kommunikasjon, navigasjon, dynamisk posisjonering, kraftforsyning, elektrifisering av oljeplattformer, nordområdene, beredskap, gasseskport, retningsboring, Barentshavet, scenario, logistikk

SIDETALL: 81

STAVANGER DATO/ÅR 25.1.2016



	Forkortelser, begreper og definisjoner	5
	Sammendrag	7
1	Forord	9
2	Innledning	10
	2.1 Motivasjon	10
	2.2 Et tankekors	10
	2.3 Problemstilling	11
	2.4 Avgrensninger	11
	2.3 Oppbygging og struktur	11
3	Metode og arbeidsform	13
	3.1 Dokumentanalysen	13
	3.2 Kort presentasjon av fagmiljøer og selskaper som har bidratt	14
	3.3 Intervjuene	16
	3.4 Viktige begreper i risikoteori	17
	3.5 Samfunnssikkerhet og risikostyring	19
	3.6 Gyldighet, svakheter og refleksjoner	19
4	Teoretisk perspektiv	19
	4.1 Oljevirkomheten – en risikoutsatt industri	20
	4.2 Ekstremvær på havet – en analogi til romvær og solstormer	21
	4.3 100-årsbølge som begrep i petroleumsvirkomheten	21
	4.4 Romvær og solstormer – vakre og skremmende	22
	4.5 100-årsbølgen fra verdensrommet – hvor kraftige kan den bli?	24
	4.6 Noen ekstreme ”bølger” fra verdensrommet de siste 150 år	24
	4.6.1 Carrington-stormen i 1859	24
	4.6.2 Stormen i 1921	25
	4.6.3 Stormen i 1989	25
	4.6.4 Stormen i 2003 - Halloween-stormen	25
	4.6.5 Stormen i 2012 som nesten traff oss	26
	4.7 Nasjonale og internasjonale rapporter om romvær	26
	4.7.1 National Academy of Sciences, USA	25
	4.7.2 National Research Counsel, USA	27
	4.7.3 Forsvarets Forskningsinstitut	28
	4.7.4 Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap	29
	4.7.5 Norsk Romsenter	30
	4.7.6 House of Commons (UK)	31

4.8	Hva betyr dette for oss i dag?	32
4.9	Et tenkte scenario	32
5	Kritisk infrastruktur og sentrale petroleumsaktiviteter	37
5.1	Kraftforsyningen som kritisk infrastruktur og elektrifisering på ...	38
5.2	Globale satellittnavigasjonssystemer som kritisk infrastruktur på ...	40
5.3	Introduksjon til boring	43
5.4	Introduksjon til petroleumsproduksjon på norsk sokkel	43
5.5	Introduksjon til transport av gass og olje i rørledning	44
6	Drøfting	46
6.1	Kraftforsyning fra land til offshore og sårbarhet ved ekstreme ...	46
6.1.1	Konsekvenser for boring, produksjon og gasstransport ved strømbort..	50
6.1.2	Konklusjon kapittel 6.1	52
6.2	Satellitene og sårbarhet ved ekstreme solstormer	52
6.2.1	Dynamisk posisjonering (DP) og sårbarhet ved ekstreme solstormer	55
6.2.2	Kommunikasjon og solstormer	56
6.2.3	Logistikkoperasjoner og solstormer	57
	-Helikopteroperasjoner på sokkelen og bruk av GPS	
	-Maritime operasjoner på sokkelen og bruk av GPS	
6.2.4	Andre konsekvenser ved ekstreme solstomer	59
	-Retningsboring	
	-Korrosjon i olje- og gassledninger	
6.2.5	Konklusjon kapittel 6.2	60
7	Hovedkonklusjon	62
7.1	Konklusjoner fra analysen	62
7.2	Sannsynlighetsvurdering for ekstrem solstorm kategori 5	64
7.3	Konsekvensvurdering - bortfall av strøm fra land til sokkelken	65
7.4	Konsekvensvurdering – bortfall av GPS-signaler og forstyrrelser. .	66
7.5	Videre forskning	68
7.6	Noen refleksjoner til slutt	68

Vedlegg 1: Teori om romvær og solstormer

Vedlegg 2: Referanser

Vedlegg 3: Tabeller over styrker og konsekvenser av romvær

Vedlegg 4: Safir-Simpson Hurricane Wind Scale

Vedlegg 5: Oversikt over noe av den gjennomgåtte kildelitteraturen

Begreper/forkortelse	Definisjoner/forklaring
ACE/DSCOVR	DSCOVR er en satellitt som eies av NOAA som erstatning for ACE-satellitten. Formålet er å være USA's primære varslingsystem for magnetiske solstormer og solvinddata. Kilde: NASA
CME	Coronal Mass Ejection. En enorm sky av elektroner, protoner og ioner som kastes ut fra solens overflate med stor hastighet, ofte i forbindelse med en flare. Kilde: Wikipedia
DP	Dynamisk posisjonering
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
ESA	European Space Agency
ETA	Estimated time of arrival. Forventet ankomsttid.
FFI	Forsvarets Forskningsinstitutt
Flares/solar flares	Magnetisk energi som har bygget seg opp i solens atmosfære og som plutselig blir frigjort. Det oppstår en stråling i hele det elektromagnetiske spektrum. Kilde: Wikipedia
Geomagnetisk storm	Et romværsfenomen i jordens magnetosfære forårsaket av en sjokkbølge i solvinden som skraver seg fra aktivitet på solen. Vanligvis varer stormen i ett eller noen få døgn. Kilde: Wikipedia
Geostasjonær bane	En sirkulær bane rett over jordens ekvator. Kilde: Wikipedia
GIC	Ground Induced Storms. Elektriske strømmer i grunnen forårsaket av geomagnetiske stormer.
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HRS	Hovedredningsentralen
Ionosfære	Ionosfæren er den øverste delen av jordatmosfæren og skiller seg fra atmosfæren under ved at den blir ionisert av solstråling. Den spiller en viktig rolle i atmosfærisk elektrisitet og danner den indre grensen av magnetosfæren. Kilde: Wikipedia
ISS	International Space Senter
LF/HC	Low Frequency/High Consequence
Magnetosfære	Jordens magnetosfære strekker seg fra det øverste laget av ionosfæren og noe utover eksosfæren. Kilde: Wikipedia
Magnetometer	Et instrument for måling av magnetisk feltstyrke. Kilde: Wikipedia

NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration, USA
NOSWE	Norwegian Observatory for Space Weather
PNT	GPS-basert posisjonering, navigering og timing
Plasmasky	En sky av varm plasmagasser som omgir en CME og består vanligvis av protoner, radioaktivt materiale og ekstremt raske vinder. Kilde: Wikipedia
Protonskur	En skur av partikler med høy hastighet og energi fra solen.
Ptil	Petroleumstilsynet
Romvær	Kortvarige forandringer i forhold i verdensrommet som påvirker jorden og våre teknologiske systemer Den effekten sola har på jorda
ROS-analyse	Risiko- og sårbarhetsanalyse
Scintillasjon	Raske endringer i ionosfæren som forstyrrer signaloverføring f. eks. fra satellitter til mottaker.
Solar flare	Se "flare" ovenfor.
Solstorm	Enorme magnetiske løkker fra sola, med en fart på flere millioner km/t. Disse løkkene utløser kraftige «flares» (eksplosjoner) der store mengder UV- og røntgenstråling sendes ut i solsystemet. Kilde: Wikipedia
SRA	Society of Risk Analysis
TGO	Tromsø Geofysiske Observatorium
UV-stråling	Ultrafiolett stråling
VHF	Very high frequency

## **SAMMENDRAG**

Et høyteknologisk samfunn som vi lever i, karakteriseres ved en høy grad av gjensidig avhengighet i ulike tekniske systemer, en avhengighet som øker stadig. Kritiske infrastruktur som elektrisitetsforsyning og satellitter er særlig utsatt ved ekstreme solstormer som skjer svært sjelden, kanskje hvert 100. eller 500. år. Sist var i 1859. Ingen vet når neste kommer og hvor kraftig den vil bli selv om det gjøres svært mye forskning for og predikere og varsle når noe er på gang på sola. De siste 100 år har vi har hatt flere kraftige solstormer som viser klart at dette naturfenomenet må tas alvorlig av både samfunnsplanleggere og industrien. Aldri har vi vært så sårbare for ekstreme solstormer som nå. Knapt noen tør hevde å ha full oversikt over det trusselbildet en slik lavfrekvent/høykonsekvens hendelse representerer. Det er vanskelig å forberede seg på det man ikke tenker seg kan skje. Med andre ord: Det er en ”sort svane” som flyr der ute.

Petroleumsvirksomheten i Norge er en storbruker av satellittbaserte tjenester både til posisjonering, navigering og kommunikasjon. Flere produksjonsplattformer og felt får i dag elektrisk kraft fra land, og utviklingen går i retning av elektrifisering av flere eksisterende og fremtidige produksjonsplattformer på hele sokkelen. Vår gasseksport i rør til kontinentet og Storbritannia er av meget stor viktighet både energimessig og økonomisk. Hva vil en ekstremt sterk solstorm kunne bety for denne næringen? Denne masteroppgaven tok sikte på å belyse dette ved å svare på problemstillingen:

### **”100-årsbølger fra verdensrommet. Hvordan kan neste ekstreme solstorm true petroleumsvirksomheten i Norge?”**

Gjennom litteraturstudier, intervjuer av sentrale personer innen akademia og industrien, samt bedriftsbesøk og ved å lese ulike artikler om emnet på internett og i bøker har jeg kommet fram til et svar som kort kan oppsummeres slik:

Brudd i strømforsyningen på land vil kunne få alvorlige følger for driften av plattformer og felt med landstrøm. Varigheten av strømbruddet kan bli dager, uker og kanskje måneder.

Logistikkfunksjoner som f. eks. basetjenester og helikoptertransport vil bli berørt umiddelbart ved at utstyr som er avhengig av elektrisk kraft, vil kunne gå ned.

Gasseksport til kontinentet og Storbritannia vil kunne pågå så lenge det er tilgjengelig gass i rørledningsnett. Gasskompressorene på terminalene har nødstrøm og kan operere på ubestemt tid.

Viktige informasjonskanaler (internett, radio etc.) og rikskringkastere som radio og TV vil kunne få store forstyrrelser og problemer med å sende kriseinformasjon og instruksjoner om krisehåndtering.

Kommunikasjon som går via satellitt og HF- og VHF-nettet, har begrenset rekkevidde og vil få betydelig reduksjon i kvalitet, særlig i nordområdene.

Posisjonerings- og navigasjonssatellittene vil kunne skades eller slutte å fungere temporært eller permanent. GPS-signalene kan bli borte, bli ustabile og/eller gi stor misvisning i minutter, timer eller dager som kan føre til kritiske situasjoner for DP-avhengige operasjoner med skip og borerigger.

Hovedredningsentralene og andre aktører kan bli vesentlig hemmet i sin virksomhet pga. telefoni faller ut og nødnummere slutter å fungere.

Retningsboring kan ikke utføres pga. store forstyrrelser i jordens magnetfelt over flere dager hvis man ikke har referansedata fra magnetometre på land. Virkningene er spesielt alvorlige i nordområdene.

Kommunikasjonssatellittene vil kunne skades eller slutte å fungere permanent eller temporært.

Værvarslingstjenesten vil kunne falle ut dersom de riksdekkende kanalene går ned og satellittene skades eller ødelegges.

Skipstrafikken i Barentshavet kan innebære økt risiko for petroleumsinnretninger der ved bortfall av satellittsignaler.

#### Oppsummert:

Sannsynligheten for at vi skal bli rammet av en ekstrem solstorm i kategori 5 vurderes til svært stor, med liten usikkerhet.

Konsekvensvurderingen av bortfall av strøm fra land til sokkelen vurderes til svært stor. Usikkerheten vurderes til moderat.

Konsekvensvurderingen av bortfall og forstyrrelser av GPS-signaler vurderes til stor, med moderat usikkerhet.

Rapporten anbefaler videre analyser for å kartlegge hvilke andrelinjekonsekvensene /følgeskader som kan forventes i oljeindustrien i slike hendelser og hvordan risikoen kan reduseres.



## **1 FORORD**

Jeg visste så og si ingen ting om romvær og solstormer og den risiko de representerer for vårt høyteknologiske samfunn før jeg leste et oppslag i en avis sommeren 2012 om at jorden den sommeren nesten var blitt truffet av enormt kraftig solstorm. Hadde solstormen kommet en uke tidligere ville den ha truffet jorden og resultert i omfattende ødeleggelser på høyteknologisk utstyr verden over.

Artikkelen antydte at det moderne samfunn ville ha blitt ”blåst tilbake til 1800-tallet”, at de økonomiske og sosiale følgene ville ha vært enorme og at det ville tatt kanskje ti år å reparere skadene bare i USA. Det vekket min interesse og jeg begynte å søke etter stoff på internett om naturfenomenet. Jo mer jeg har lest, jo mer interessert er jeg blitt. I forbindelse med mastergradstudiet ved Universitetet i Stavanger valgte jeg å skrive om dette tema.

Flere personer i ulike fagmiljøer og selskaper har gitt meg uvurderlig hjelp til å skrive oppgaven. Jeg vil ført og fremst takke min veileder Janne Hagen i Forsvarets Forskningsinstitutt for meget god faglig hjelp og inspirasjon i hele prosessen. Jeg vil også spesielt nevne professor Kjellmar Oksavik ved Universitetet i Bergen, Birkeland Center for Space Science og forsker Magnar Gullikstad Johansen ved Tromsø Geofysiske Observatorium for deres viktige bidrag mht faglig stoff og diskusjoner om romvær og ekstreme solstormer. Deres hjelp har vært av stor betydning. Likeledes vil jeg takke forsker Pål Brekke i Norsk Romsenter for hans hjelp til å sette meg i forbindelse med personer og organisasjoner på fagfeltet, samt for faglig nyttig bidrag til oppgaven.

Jeg vil også takke Knut Stanley Jacobsen i Statens kartverk, Hans Jørgen Dahl og Svenn Haakon Olsen i Gassco, Trond Magne Ohnstad i Statnett, Terje Aven ved UiS, og Nils Arne Ro i Luftforsvarets Redningstjeneste 330-skvadronen Banak for god hjelp i arbeidet både i forbindelse med bedriftsbesøk, litteratur og faglig input.

Til slutt en ekstra takk til kona mi som har støttet meg på alle måter og gitt meg inspirasjon særlig når oppgaveskrivingen har røynet på inn i mellom alle andre viktige gjøremål.

Ål 25. januar 2016

Olav Harald Vårdal

## 2 INNLEDNING

### 2.1 Motivasjon

Ved å skrive denne oppgaven ønsker jeg å bringe fram mer kunnskap på et overordnet nivå om hvilken risiko ekstreme solstormer kan representere for petroleumsvirksomheten i Norge. Det kan danne et grunnlag for både myndigheter og olje- og gassindustrien til å vurdere om det er nødvendig å gjøre grundigere analyser og å iverksette konkrete risiko- og konsekvensreducerende tiltak.

Jeg ønsker å få svar på hvor sårbare petroleumsaktivitetene boring, produksjon og olje- og gasstransport i rørledninger er for ekstreme solstormer og hvordan også kommunikasjons- og logistiktjenestene påvirkes.

### 2.2 Et tankekors

Det er et tankekors at vi ikke er mer opptatt av dette naturfenomenet som representerer en så stor teknisk, sosial og økonomisk trussel for det teknologidrevne samfunn vi er en del av. Det er beskrevet en rekke tilfeller av ekstreme solstormer som har rammet jorden i alle fall helt tilbake til 1859. Noen av årsakene til at ekstreme solstormer har fått så liten oppmerksomhet tror jeg skyldes at de statistisk skjer meget sjelden og at de ikke skader det biologiske liv på jorden direkte. Slike solstormer har derfor opp gjennom årene blitt observert som spektakulære lysfenomener på himmelen, for så å gå i glemmeboken. Men forskere og andre interesserte har fulgt med og interessen har økt i tråd med den teknologiske utviklingen i samfunnet fordi virkningene av slike solstormer er blitt stadig mer alvorlige.



Fig. 1 Kilde: Bok "Our explosive sun" av Pål Brekke

Moderne teknologi karakteriseres ved høy grad av gjensidig avhengighet i ulike tekniske systemer hvor bærebjelken er elektrisitetsforsyningen. Aldri har vi vært så sårbare for disse naturkrefter som nå på grunn av den høyteknologiske utviklingen og global integrering av ulike tekniske systemer som har foregått i flere tiår. Før vi hadde telefonlinjer, strømmnett, radio, og for ikke å snakke om satellitter, var ikke dette noe problem. Knappt noen vil i dag kunne hevde og ha full oversikt over kompleksiteten og som stadig øker.

I faglitteraturen er det spesielt kraftindustrien og satellitteknologi som omtales som de mest sårbare bransjer i forbindelse med solstormer. Olje- og gassindustrien er også en storforbruker av satellittjenester og utviklingen der går i retning av stadig større avhengighet og integrering av ulike funksjoner. Noen innretninger på sokkelen får allerede elektrisk kraft i kabel fra land og flere vil få det de nærmeste årene. Det var derfor naturlig å tenke på hvilken trussel slike ekstreme solstormer kan representere for denne industrien i Norge.

### **2.3 Problemstilling**

Både de sentrale myndigheter og underliggende etater, organisasjoner og næringslivet ellers plikter å vurdere de risikoer som er forbundet med de aktiviteter de har ansvar for og treffe tiltak for å redusere og styre risikoene. Petroleumsvirksomheten er en særlig risikoutsatt næring som reguleres av en rekke lover, forskrifter og system for tillatelser for å kunne igangsette og utføre ulike aktiviteter. Petroleumsloven definerer petroleumsvirksomhet slik:

*"all virksomhet knyttet til undersjøiske petroleumsforkomster, herunder undersøkelse, leteboring, utvinning, transport, utnyttelse og avslutning samt planlegging av slike aktiviteter, likevel ikke transport av petroleum i bulk med skip."*

Problemstillingen er:

#### **Hvordan kan neste ekstreme solstorm true petroleumsvirksomheten i Norge?**

### **2.4 Avgrensning**

Analysen begrenses til de to kritiske infrastrukturene kraftforsyningen fra land til offshore og satellittjenestene og hvordan forstyrrelser i disse vil påvirke boring, produksjon og olje- og gasstransport i rørledninger. Dessuten vil også konsekvensene for funksjonene kommunikasjon og logistikk bli omtalt kort sammen med retningsboring og korrosjon. Følgeskader av en ekstrem solstorm er ikke en del av oppgaven, heller ikke hvordan risikoen kan reduseres ved ulike tiltak som f. eks varsling og beredskapsmessige tiltak.

### **2.5 Oppbygging og struktur**

Kapittel 1 Forord gir en kort beskrivelse av motivet for å skrive oppgaven.

Kapittel 2 Innledning inneholder bakgrunn for oppgaven, problemstillingen og de avgrensninger som gjelder, samt hvordan oppgaven er bygget opp.

Kapittel 3 Arbeidsform og metode beskriver hvordan jeg har gått fram for å svare på problemstillingen. Det redegjør for hvilke metodiske valg som er gjort, dokumentanalysen og intervjuene. Videre presenteres en oversikt over de intervjuene som er foretatt og oppgavens gyldighet og egne refleksjoner. Ulike aspekter ved risiko og samfunnssikkerhet omtales kort.

Kapittel 4 Teoretisk perspektiv. Begrepet ”100-årsbølge” brukes både i forbindelse med romvær og meteorologiske forhold på havet. I kapitlet er disse to typer bølger som naturfenomener kort beskrevet for sammenligningen skyld. Dette gir et interessant bakteppe. Konteksten er ikke uttømmende, men relatert til problemstillingen. I kapitlet defineres hva som menes med begrepet ”100-årsbølge” når det gjelder romvær. For å gi en innføring i hva som menes med ekstremt sterke solstormer er 4 eksempler på slike stormer som har rammet jorden siden 1859 og hvilke konsekvenser de hadde på datidens samfunn beskrevet. En meget sterk solstorm i 2012 som ikke traff jorden, omtales også for å belyse potensialet i slike ekstreme romvær.

I samme kapittel gjengis hovedinnholdet i 6 nasjonale og internasjonale studier og rapporter om solstormer og romvær. Disse gir en meget god innsikt i de utfordringer ekstremt sterke solstormer representerer for det høyteknologiske samfunnet. Underkapittel 4.9 inneholder et tenkt scenario i Barentshavet. Hensikten med dette scenarioet er å belyse en mulig situasjon der jorden blir rammet av en ekstrem sterk solstorm og hvilke virkninger det kan ha for en boreoperasjon i nord.

Kapittel 5 Kritisk infrastruktur og sentrale petroleumsaktiviteter. I dette kapitlet gis først en kort innføring i kraftforsyningsnettet i Norge med vinkling mot el-kraft til offshore, samt det globale satellittnavigasjonssystemet GNSS. Deretter gis en kort introduksjon til *petroleumsaktivitetene boring, petroleumsproduksjon og petroleumstransport i rørledninger.*

Kapittel 6 Drøfting inneholder en drøfting og analyse av det empiriske materialet som er innhentet gjennom litteraturgranskning og kvalitative informantintervjuer. De mest sentrale poenger vil bli oppsummert i en konklusjon på slutten av hvert underkapittel.

Kapittel 7 *Hovedkonklusjon* avslutter oppgaven ved å trekke sammen ulike elementer i drøftingen for å svare på problemstillingen. Det er benyttet tabeller.

Vedlegg 1 forklarer hva romvær er og hva som menes med begrepet solvinden og ekstraordinære forhold i den. Fenomener som koronahull, solflekker, flares, protonskur og Coronal Mass Ejections (CME) beskrives.

Vedlegg 2 gir oversikt over dokumentreferanser.

Vedlegg 3 gir oversikt over NOAA’s tabeller for styrke og konsekvenser av romvær.

Vedlegg 4 viser en tabell over gradering av vindstyrker.

Vedlegg 5 gir en oversikt over noe av den gjennomgått kildelitteraturen.

### 3 METODE OG ARBEIDSFORM

I dette kapitlet vil jeg beskrive framgangsmåten for å besvare problemstillingen: ”*Hvordan kan neste ekstreme solstorm true petroleumsvirksomheten i Norge?*” Hensikten med kapitlet er å legge til rette for en etterprøvbarehet og å belyse svake sider slik at leserne har mulighet til å vurdere resultatet. Metodene lager rammene for hvordan forskningen er blitt utført. Det er beskrevet mange forskjellige forskningsmetoder i litteraturen. Edvard Befring uttrykker det slik at metoder er forskning som ved hjelp av sammenbindende tråder skaper struktur på operasjonene i forskningsarbeidet (43).

Forskningsmetodikken kan deles inn i hovedkategoriene *ekstensiv* hvor man går i bredden og *intensiv* hvor man går i dybden. Hvilken av disse som er best avhenger av problemstillingen (40). I min oppgave utpeker den ekstensive metode seg som den beste fordi jeg ønsker å studere dette naturfenomenet i bredden for på den måten å få et overordnet inntrykk av hvordan petroleumsvirksomheten i Norge berøres ved en ekstrem solstorm.

Jeg har benyttet en induktiv tilnærming til oppgaven ved at jeg har samlet inn data fra en rekke kilder og systematisert og tolket dette materialet (40). Dette var den beste metoden for meg i denne undersøkelsen fordi det var viktig å få et overblikk over hva som finnes av litteratur og kunnskap om temaet. På den måten kunne jeg besvare problemstillingen.

#### 3.1 Dokumentanalysen

Det var nødvendig for meg å sette meg inn i dette fagområdet for å kunne svare på problemstillingen. Jeg begynte derfor med dokumentundersøkelsen knyttet til bruk av sekundærdata som er data som andre har samlet inn (40). Det dannet et godt grunnlag til å utforme intervjuguiden. I første omgang brukte jeg mye tid på å søke etter relevante artikler og rapporter på Google hvor det finnes mye stoff både fra norske og internasjonale kilder. Et utvalg av disse er listet opp i vedlegg 5.

Det har vært interessant å lese hva aviser og blogger har skrevet om temaet solstørmer i ulike sammenhenger. I noen tilfeller er det brukt store uttrykk og ”krigstyper” om alvoret i en konkret kraftig solstormhendelse, andre ganger er hendelsen mer nevnt som et interessant værefenomen med fine farger på himmelen. Journalister har en tendens til å ta overfladisk på den faglige korrektheten og fokusere på det sensasjonelle. Jeg har også hentet flere norske og utenlandske forskningsrapporter fra elektroniske databaser via universitetsbiblioteket i Stavanger. På den måten har jeg fått en overordnet forståelse av hva romvær og solstørmer er.

For å supplere dette har jeg besøkt universitetene i Bergen og Tromsø flere ganger for å ha samtaler med forskere og fagpersoner som arbeider med romvær og nordlysaktivitet til daglig. Det har vært særlig verdifullt for meg ved at jeg på den måten har fått avklart viktige spørsmål og fått kunnskap på området spesielt relatert til Norge og nordområdene. Jeg har også vært på et bedriftsbesøk (Gassco) for å få kunnskap om selskapets virksomhet og utfordringer relatert til problemstillingen.

### **3.2 Kort presentasjon av fagmiljøer og selskaper som har bidratt i oppgaven**

#### Norsk Romsenter (NRS)

NRS er en etat under Nærings- og fiskeridepartementet og ble opprettet i 1987 da Norge ble med i ESA (European Space Agency). NRS sin hovedoppgave er å ivareta norske interesser innen romindustrien, romforskning og bruk av romteknologi. I tillegg forvalter NRS nasjonale følgemidler, støtter norske industriaktører og utarbeider strategier for romvirksomhet i Norge. NRS driver ikke forskning selv. (Kilde: romsenter.no)

#### Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO)

TGO er en del av Universitetet i Tromsø (UiT). Formålet er å opprettholde kontinuerlige målinger av jordens magnetfelt i Norge og elektrontetthetsprofilen over Tromsø. Dette er oppgaver som er overtatt etter Nordlysobservatoriet som ble lagt inn under UiT i 1972. Senteret driver 3 observatorier (Bjørnøya, Dombås og Tromsø) og dataene fra disse leveres til et senter i Edinburgh som lager kart over jordens magnetfelt basert på ca. 200 målestasjoner verden over. Modellene oppdateres hvert 5 år. TGO driver til sammen 15 magnetometre fra Karmøy i sør til Ny Ålesund i nord hvor forstyrrelser i jordens magnetfelt som skyldes romvær overvåkes. (Kilde: tgo.uit.no)

#### Statens kartverk (Kartverket)

Kartverket er en norsk statlig forvaltningsbedrift under Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Kartverket skal sørge for at tidsriktig, stedfestet informasjon fra det offentlige finnes og er lett tilgjengelig for det norske samfunn til enhver tid. Kartverket er statens fagmyndighet innen kart, geodata og offentlig eiendomsinformasjon, og er også landets tinglysingsmyndighet. Ansvarsområdet omfatter Norges land-, kyst- og havområder, inkludert kysten rundt Svalbard og Jan Mayen. Kartverket leverer sanntidsposisjoneringstjeneste med cm-nøyaktighet hovedsakelig til landbasert virksomhet. Kartverket har arbeidet med

utfordringer relatert til bruk av satellittbaserte navigasjonssystemer spesielt i arktiske områder. (Kilde: kartverket.no)

### Universitetet i Bergen (UiB)

UiB studerer ionosfæriske og magnetosfæriske prosesser, og ser bl.a. på koblingen mellom magnetosfæren og nordlyset. De bygger komponenter til satellittinstrumentering på den internasjonale romstasjonen (ISS). UiB samarbeider også med andre fagmiljøer som blant annet foretar målinger av vekselvirkningen mellom jordens magnetfelt og solvinden. Fra 300 målestasjoner verden over tikker det inn data på jordens magnetfelt til en server ved Institutt for fysikk og teknologi. (Kilde: <http://web.ift.uib.no/Romfysikk/>)

### Statnett

Statnett som eies av Olje- og energidepartementet, er et statsforetak og er systemansvarlig i det norske kraftsystemet. Dette innebærer å drifte om lag 11 000km med høyspentlinjer og 150 stasjoner over hele landet. Driften overvåkes av en landsentral og tre regionsentraler. Statnett har også ansvaret for forbindelser til Sverige, Finland, Russland, Danmark og Nederland. (Kilde: statnett.no)

### Gassco AS

Gassco har som operatør ansvar for sikker og effektiv transport av gass fra norsk sokkel og skal være en ledende gasstransportør i Europa. Gassco AS, som eies av Petoro (ca. 50 %), Statoil og en rekke nye finansielle selskaper, har ansvar for drift og utvikling av en infrastruktur på ca. 8000 km rørledninger på havbunnen med tilhørende sikringsystemer, ventiler, sluser, systemer for korrosjonsbeskyttelse og stigerør. Gasstransporten styres fra hovedkontoret på Karmøy. (Kilde: gassco.no)

### Fugro Seastar AS

Fugro AS tilbyr satellittinformasjon og tilleggstjenester i tillegg til de åpne tjenestene til ulike brukere, spesielt offshore og noe maritim, bl a for å gi nøyaktighet til brukeren, varsle og forklare effekter på GNSS-ytelse pga ionosfæreaktiviteter. Selskapet sender daglig ut scintillasjonsaktiviteter (raske endringer i ionosfæren) med varsel for 1 døgn framover. Disse scintillasjonene er mest alvorlige ved polområdene og ved ekvator. Scintillasjoner er problematiske fordi mottakerne kan miste låsingen av signaler fra satellitter i kortere tidsrom. Slike utfordringer er håndterbare ved normale solaktiviteter. (Kilde: fugroseastar.com)

### Tampnet AS

Tampnet opererer verdens største undersjøiske fiberoptiske høykapasitetnettverk offshore (1200 km). I tillegg leier selskapet kapasitet i ca. 900 km undersjøisk fiberkabel. Selskapet har også tatt i bruk et 4G-nettverk for å kunne betjene rigger og skip i bevegelse. I tillegg tilbys point-to-point radiolinksamband og ca. 40 er i drift. Selskapet betjener mer enn 100 olje- og gassplattformer, FPSO og borerigger i Nordsjøen. (Kilde: tampnet.com)

### Kongsberg Spacetec AS

Spacetec er en verdensledende leverandør av satellitt bakkestasjoner for jordobservasjoner og er involvert i et prosjekt for European Space Agency (ESA) mht monitorering av romvær, hovedsakelig elektromagnetisk stråling og partikler, fra solen til jordens overflaten. Selskapet har virksomhet i Trømsø og samarbeider med TGO og drifter det norske helhetlige overvåkings- og informasjonssystemet ”BarentsWatch” for de nordlige hav- og kystområdene (Kilde: spacetec.no)

### BP Norge AS

BP er en av de største operatører på norsk sokkel og driver 5 produserende felt med til sammen 13 plattformer og et produksjonsskip. Det første felt som ble utviklet er Valhall i den sørlige delen av Nordsjøen som startet produksjonen i 1982 og vil produsere i flere tiår. All kraft på feltet er strøm fra land via 78MW kraftkabel fra Lista. (Kilde: bp.com/no)

### Baker Hughes Norge AS

Baker Hughes Norge er en del av et verdensomspennende selskap og har sitt norske hovedkontor i Stavanger. Selskapet tilbyr utstyr og tjenester til bore- og brønnoperasjoner bl a i forbindelse med retningsboring (Survey Management).

## **3.3 Intervjuene**

Med basis i dokumentundersøkelsen utformet jeg en intervjuguide som besto av delvis strukturerte spørsmål og tema framfor da jeg mener dette ville gi en større bredde og fleksibilitet i intervjuene. Intervjuene ble foretatt i den enkelte organisasjon med unntak av et telefonintervju. Styrken med denne intervjuformen er at man får en åpne kommunikasjon som gjør det mulig for den intervjuede å reflektere og være åpen for assosiasjoner og nye vinklinger. Det gir en tilnærmet samtaleform. En svakhet kan være at viktige punkter kan glemmes i farten og at det ikke er så lett å være strukturert. Det kan gjøre det utfordrende å systematisere resultatene. Jeg opplevde imidlertid ikke dette som noe problem.



De som ble intervjuet ble valgt med tanke på å gi meg best mulig innsikt i utfordringen med romvær og solstormer både faglig og operasjonelt. Totalt ble 12 personer fra 11 organisasjoner som representerte både universitet og forskningsmiljøer, leverandører av tjenester og brukere intervjuet.

Mot slutten av disse intervjuene ble det forholdsvis lite ny informasjon av betydning som kom fram og jeg nærmet meg et metningspunkt (41). Jeg valgte derfor ikke å gå videre med det.

Bransje	Antall intervjuer	Selskaper
Operatørselskaper	2	BP, GASSCO
Riggselskaper	1	Transocean
Tjenesteleverandør	4	Fugro, Kongsberg Spacetec, Baker Hughes og Tampnet
Myndigheter	2	Statnett, Statens Kartverk
Forskningsinstitusjoner	2	UiB, UiT,

Tabell 1 Oversikt over selskaper som har vært intervjuet

Jeg har utarbeidet et scenario i samarbeid med Universitetet i Tromsø for å belyse og drøfte konsekvensene ved en ekstrem solstorm. Scenarioet setter en slik hendelse inn i en praktisk kontekst og gjør problemstillingen mer forståelig. Scenarioet er omtalt i underkapitlet 4.9.

### 3.4 Viktige begreper i risikoteori

I Ptil's rammeforskrift § 11 "Prinsipper for risikoreduksjon" heter det (sitat):

*"Skade eller fare for skade på mennesker, miljø eller materielle verdier skal forhindres eller begrenses tråd med helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen, herunder interne krav og akseptkriterier som er av betydning for å oppfylle krav i denne lovgivningen. Utover dette nivået skal risikoen reduseres ytterligere så langt det er mulig. Ved reduksjon av risiko skal den ansvarlige velge de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene som etter en enkeltvis og samlet vurdering av skadepotensialet og nåværende og framtidig bruk gir de beste resultater, så sant kostnadene ikke står i et vesentlig misforhold til den risikoreduksjonen som oppnås.*

*Dersom man mangler tilstrekkelig kunnskap om hvilke virkninger bruk av de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene kan ha for helse, miljø eller sikkerhet, skal det velges løsninger som reduserer usikkerheten om virkningen av løsningene.*

*Faktorer som kan volde skade eller ulempe for mennesker, miljø eller materielle verdier i virksomheten skal erstattes med faktorer som etter en samlet vurdering har mindre potensial for skade eller ulempe.*

*Vurderinger som nevnt i denne paragrafen skal gjøres i alle faser av virksomheten.*

*For landanleggene får ikke denne bestemmelsen anvendelse på forvaltningen av det ytre miljøet."*

Society of Risk Analysis (SRA) utarbeidet i 2015 en rekke definisjoner på sentrale begreper innen risikoanalyse som jeg bruker i denne oppgaven. Definisjonene finnes på organisasjonens hjemmeside og er kun på engelsk. I oppgaven er det spesielt begrepene risiko, robusthet, sannsynlighet, sårbarhet og trussel som brukes.

**Fare**

*A risk source where the potential consequences relate to harm. Hazards could for example be associated with energy (e.g. explosion, fire), material (toxic or eco-toxic), biota (pathogens) and information (panic communication).*

**Risiko**

*Av syv kvalitative definisjoner benytter jeg denne: "Risk is the potential for realization of unwanted, negative consequences of an event".*

**Risikobevisshet**

*Having an understanding of the risk (the risk sources, the hazards, the potential consequences, etc)*

**Risikoforståelse**

*A person's subjective judgement or appraisal of risk.*

**Risikokommunikasjon**

*Exchange or sharing of risk-related data, information and knowledge between and among different target groups (such as regulators, stakeholders, consumers, media, general public)*

**Risikostyring**

*Activities to handle risk such as prevention, mitigation, adaptation or sharing.*

**Robusthet**

*The ability of the system to sustain or restore its basic functionality following a risk source or an event (even unknown).*

**Sannsynlighet (frekvens)**

*A measure for representing or expressing uncertainty, variation or beliefs, following the rules of probability calculus.*

**Sikkert**

*Without unacceptable risk.*

**Stakeholder involvement (in risk governance)**

*The process by which organizations or groups of people who may be affected by a risk-related decision can influence the decisions or its implementation.*

**Sårbarhet**

*The degree a system is affected by a risk source or agent.*

**Trussel**

*Risk source, commonly used in relation to security applications (but also in relation to other applications, for example the threat of an earthquake)*

**Usikkerhet**

*"Imperfect or incomplete information/ knowledge about a hypothesis, a quantity, or the occurrence of an event".*

### 3.5 Samfunnssikkerhet og risikostyring

I instruks for samfunnssikkerhetsarbeidet i departementene (kgl.res. 15.62012) stilles det krav om at departementene (sitat) «*på grunnlag av oversikt over risiko og sårbarhet i egen sektor og DSBs nasjonale risikobilde, (skal) vurdere risiko, sårbarhet og robusthet i kritiske samfunnsfunksjoner i egen sektor som grunnlag for kontinuitets- og beredskapsplanlegging*».

Samfunnssikkerhet handler om:

- Påkjenninger og tap: Hendelser som samfunnet ikke kan håndtere ved hjelp av ordinære rutiner.
- Kompleksitet og gjensidig avhengighet: Hendelser eller forebygging av hendelser i teknologiske og sosiale systemer med sterk gjensidig avhengighet.
- Tillit til vitale samfunnsfunksjoner: Hendelser eller forebygging av hendelser som undergraver tilliten til at samfunnets institusjoner ivaretar de individuelle og kollektive rettighetene (36).

Flere tilsynsmyndigheter ga i 2009 ut brosjyren "Kontroll med risiko gir gevinst". Sitat: "*Kunnskap om risiko gir virksomheten et bedre grunnlag for å treffe viktige beslutninger med tanke på å gjennomføre tiltak som minsker eller fjerner farene. Slik kan virksomheten unngå skader, uhell og kostbare driftstap. Risikovurdering er derfor et forebyggende tiltak som lønner seg. Regelverket stiller dessuten krav til at alle virksomheter skal vurdere risiko og om nødvendig gjennomføre nødvendige tiltak for å redusere denne*" (35).

I NOU 2000:24 "Et sårbart samfunn - utfordringer for sikkerhets- og beredskapsarbeidet i samfunnet" defineres begrepet sårbarhet slik: "Et uttrykk for de problemer et system får med å fungere når det utsettes for en uønsket hendelse, samt de problemer systemet får med å gjenoppta sin virksomhet etter at hendelsen har inntruffet." I risikostyring kan sårbarhet sees på som det motsatte av robusthet som av Rausand og Utne defineres som "en komponents evne til å tåle påkjenninger uten at det fører til uønskede konsekvenser"

### 3.6 Gyldighet, svakheter og refleksjoner

For å styrke oppgavens gyldighet er det benyttet to typer undersøkelser i denne oppgaven; dokumentanalyser og intervjuer. Dersom ulike undersøkelser peker på det samme vil studiens gyldighet øke. Dokumentene er blitt hentet både ifra internasjonalt kjente bibliotekdatabaser, fra universitets- og forskningsmiljøer og fra søk på internett. Det er gjennomført 12 intervjuer med personer som til daglig arbeider med nordlysproblematikk og romvær eller i

organisasjoner som selger og bruker relaterte tjenester. De ble valgt med den hensikt å få et tverrsnitt av aktører som er involvert i denne problematikken.

Det ville ha gitt et mer nyansert bilde om flere aktører hadde blitt intervjuet, spesielt de store operatørselskapene på sokkelen med flere tiårs erfaring. Likeledes ville intervjuer med leverandører av forskjellig utstyr, programvare og tjenester til satellittbransjen vært med på å gi en bedre forståelse av hvordan ekstreme solstormer vil kunne påvirke deres utstyr og tjenester.

Det at jeg hadde liten innsikt i fagområdet innledningsvis kan ha begrenset min mulighet til å identifisere flere informanter med spesielt god kunnskap om temaet.

Det kan kanskje virke litt overfladisk at oppgaven går i bredden og ikke gir konkrete svar på hvordan en solstorm kan påvirke en konkret operasjon eller utstyr. Jeg mener at dette er stoff til en annen analyse da det vil kreve teknisk og operasjonell dybdekunnskap.

#### **4.0 TEORETISK PERSPEKTIV**

I dette kapittelet gis først en generell innføring i innretninger og infrastrukturen på norsk kontinentalsokkel og noen risikobetraktninger rundt virksomheten. Som en analogi til ekstremvær fra rommet gis videre en innføring i ekstremvær på havet og hva som legges i begrepet 100-årsbølge. Hoveddelen i kapittelet er viet solstormer som har vært siden 1859, en oppsummering av viktige nasjonale og internasjonale rapporter om romvær og solstormer, samt en beskrivelse av et tenkt scenario i Barentshavet.

#### **4.1 Oljevirkosomheten – en risikoutsatt industri**

Oljevirkosomheten er en relativt ung industri i Norge og består av et stort antall installasjoner over, under og på havbunnen i form av flytende og bunnfaste innretninger, rørledninger og behandlingsanlegg både i Norge og i utlandet. Per 1.1.2015 var det på norsk sokkel 80 bunnfaste overflateinnretninger, 620 rørledninger på til sammen 15 500 km og 350 havbunnsinnretninger (brønnrammer, manifolder, samlestrukturer for stigerør, gasskompresjon etc). (30). Mye henger sammen i større og mindre grad ved at installasjoner kan være knyttet opp til felles rørlednings- og transportsystemer, styrings- og kommunikasjonsløsninger, kraftforsyning, beredskaps- og logistikkjenester, terminaler og behandlingsanlegg.

Olje- og gassvirksomheten på sokkelen er en risikoeksponert næring av flere årsaker. For det første utgjør ekstreme bølgehøyder og sterk vind en betydelig trussel mot integriteten for både flytende og bunnfaste innretninger, samt for støttetjenester som helikoptertrafikken og maritime operasjoner. For det andre representerer størrelsen på innretningene, de omfattende og komplekse prosesssystemene og de store mengdene hydrokarboner som behandles og transporteres under trykk, en betydelig risiko for at alvorlige uønskede hendelser kan skje.

Oljevirksomheten er en spesielt kapitalintensiv næring. Kostnadene må derfor styres nøye og produksjonen i de ulike operasjoner må optimaliseres. Selv korte driftsavbrudd medfører betydelige tap. Å ha oversikt over alle relevante risikobidrag og kunne styre risikoene slik at virksomheten foregår på en forsvarlig måte er en konstant og stor utfordring for både industrien og myndighetene.

#### **4.2 Ekstremvær på havet – en analogi til romvær og solstormer**

I maritime miljøer brukes begrepene monsterbølge og ekstrembølge for å beskrive bølger som er mye større enn omkringliggende bølger og som er så kraftige og har en slik form at de kan bryte ned store skip på sekunder. Før man fikk måleinstrumenter som radar og satellitter trodde man knapt det sjøfolk fortalte om slike bølger de hadde opplevd og som bygger seg opp til f.eks. 30 m i løpet av kort tid og forsvinner like fort. Nå vet vi at de er et naturlig havfenomen, men rammer heldigvis ikke skip og strukturer ofte. Beregningsmodellene er derfor blitt justert etter hvert som vi har fått erfaring med slike bølger.

En tropisk regnstorm i kategori 1 forårsaker ikke særlige bygningsmessige skader selv ved vindhastigheter opp mot 150 km/t. Derimot vil en kategori 5-orkan, som er den høyeste vindhastighet en har målt, ha en vindstyrke opp imot 300 km/t. Den fører med seg massive ødeleggelser på bygninger og konstruksjoner (47).

#### **4.3 100-årsbølger som begrep i petroleumsvirksomheten**

I oljevirksomheten i Norge er begrepet "100-årsbølge" godt kjent og brukes i forbindelse med dimensjonering av plattformer (6). Regelverket bruker begrepene 100-årsbølge og 10 000-årsbølge. 100-årsbølge er en statistisk beregnet bølgestørrelse som defineres som høyden på den største bølgen som i gjennomsnitt vil inntreffe en gang per hundre år for en gitt beliggenhet og blir høyere jo lenger nord en kommer. Sannsynligheten for at denne bølgehøyden inntreffer minst en gang i løpet av hundre år er 63 % (3). Bølgen som traff Draupner E-plattformen i Nordsjøen i 1995, kom som en stor overraskelse både på oljebransjen og forskere og resulterte i ny forskningsinnsats fordi den var så urimelig mye

større enn bølgene som var kommet tidligere (5). Den dukket plutselig opp og var så høy og bratt at forskere ikke trodde det var mulig oftere enn hvert 10.000 år.



Fig. 2 Illustrasjon av monsterbølgen ved Draupner. Kilde: forskning.no/olje-og-gass

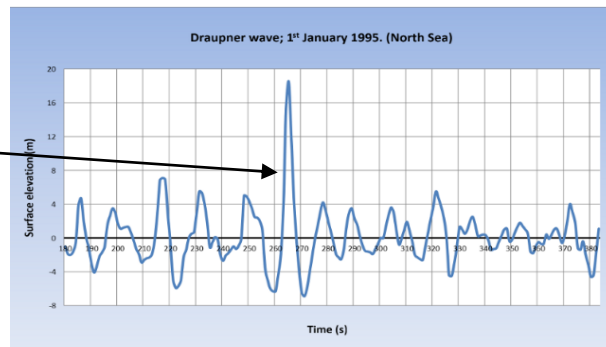


Fig. 3: Monsterbølgen som traff Draupner. Kilde: Offshore.no

Dette er en interessant analogi til hva denne oppgaven handler om, - svært sjeldne ekstremt sterke elektronmagnetiske bølger fra verdensrommet som plutselig kommer med ødeleggende kraft på høyteknologisk utstyr, og som igjen kan føre til alvorlige følgeskader for mennesker, miljøet og økonomiske verdier.

#### 4.4 Romvær og solstormer – vakre og skremmende

Folk flest har liten kunnskap om romvær og solstormer utover det de ser av nordlys som bølger over himmelen i klare, mørke høst- og vinterkvelder. Nordlyset har skapt en egen turistindustri vinterstid i Nord-Norge, - det skaper beundring og kan være så overveldende at det nesten blir skremmende.

Nordlyset dannes når skyer av ladd gass fra solen kolliderer med jordens magnetosfære. Nordlyssonen er det området ved polene som partiklene ledes inn mot og dermed hvor nordlyset vanligvis observeres (8). Enkelte mennesker hevder også at nordlys lager underlige lyder i form av knitring og smelling. På det samiske språk betyr nordlys ”lyset du kan høre”.

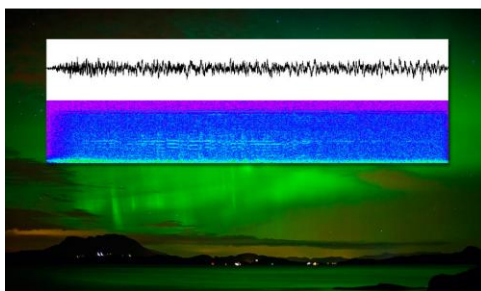


Fig. 4: Nordlysbilde tatt i Ølen. Grafen lyder som finske forskere tok opp. Kilde: TV2 17.11.2012



Fig. 5: Nordlys over Tromsø. Kilde: TV2 17.11.2012

Norsk Romsenter definerer romvær som kortvarige forandringer i forhold i verdensrommet som påvirker jorden og våre teknologiske systemer (7). US National Space Weather Plan definerer romvær slik: ”Conditions on the Sun and the solar wind, magnetosphere, ionosphere, and thermosphere that can influence the performance and reliability of space-borne and ground-based technological systems and can endanger human life and health.” Solstormer kan ikke skade mennesker hvis en ser bort fra de følgeskader som kan oppstå ved forstyrrelser på teknologi og infrastruktur (17).

Forstyrrelser i radio- og telekommunikasjon er godt kjent f. eks. maritim virksomhet og luftfart, likeledes problemer for systemer for navigasjon og posisjonering. Det er en økende interesse i samfunnet for solstormer og de problemer de kan skape for høyteknologisk utstyr. Dette skyldes bl. a at stoff om solstormer er lett tilgjengelig på internett og det har kommet ut populærvitenskaplige bøker om emnet, f. eks. juliutgaven av National Geographic Magazine i 2004 og boken Pål Brekkes bok ”Den stormfulle sola” i 2013.

Vi fikk en liten påminnelse 4.11. 2015 om dette da flykontrolltjenesten i hele Sør-Sverige ble slått ut i flere timer på grunn av en forholdsvis beskjeden flare og som skapte kaos i flytrafikken. Ingen fly fikk ta av fra flyplassene i Sør-Sverige fordi flysikkerhetskontrollen ikke kunne se noen fly på skjermene sine.



Fig. 6 Artikel i Aftonbladet 4 november 2015.

I vedlegg 1 ”Teori om romvær og solstormer” gis en teoretisk innføring i romvær, solvind og ekstraordinære forhold i solvinden. For dem som ikke har særlig kunnskap om romvær kan det være nyttig å lese vedlegget først. Det vil gjøre det lettere å forstå oppgaven.

#### 4.5 100-årsbølgen fra verdensrommet – hvor kraftig er den?

Jeg har ikke funnet noen internasjonal definisjon på hva en 100-års solstorm er. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) tar i ”Nasjonalt risikobilde 2014” utgangspunkt i solstormen i 1921 for sin definisjon. Den var ikke så kraftig som den i 1859, men medførte samme type konsekvenser og utfordringer (32).

Den karakteriseres ved

- en protonskur styrke 5. Kraftig magnetfelt med uvanlig stor hastighet mot jorden.
- UV- og røntgenstråling med styrke 5. Kraftig økning i strålingen
- geomagnetisk storm styrke 5 som indikerer en meget intens geomagnetisk storm.

Styrkeangivelsene refererer til National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (12). Se også vedlegg 4. I denne oppgaven brukes begrepene ekstrem solstorm og kategori 5 solstorm om samme type hendelse.

#### 4.6 Noen ekstreme ”bølger” fra verdensrommet de siste 150 år

Hvilke påvirkninger solstormer har hatt på moderne tekniske systemer er godt dokumentert i faglig og populærvitenskaplig litteratur. Det er i tillegg skrevet spenningsromaner med ekstreme solstormer som tema. Nedenfor beskrives kort noen av de kraftigste solstormene som er dokumentert siden 1859.

Table 4. Great Solar Storms

Date	Solar Flare Intensity	Omni-Directional Solar Proton Fluence	Main CME Arrival Time	Magnetic Intensity Disturbance Storm Time (Dst) (nano-Teslas)
1-2 September 1859	Sept 1 Carrington White Light Flare [2]	$1.88 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ [8]	17 hours 40 minutes [9]	Sept 2 - 1,760 nT [9] ( $\Delta H$ at Bombay 1,720 nT)
12 October 1859				( $\Delta H$ at Bombay 980 nT) [9]
4 February 1872				( $\Delta H$ at Bombay 1,020 nT) [9]
17-18 November 1882				( $\Delta H$ at Greenwich > 1,090 nT) [9]
30 March 1894		$1.11 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ [8]		
31 October 1903				( $\Delta H$ at Potsdam > 950 nT) [9]
25 September 1909				( $\Delta H$ at Potsdam > 1,500 nT) [9]
13-16 May 1921				( $\Delta H$ at Potsdam 1,060 nT) [9]
7 July 1928				( $\Delta H$ at Alibag 780 nT) [9]
16 April 1938				( $\Delta H$ at Potsdam 1,900 nT) [9]
13 September 1957				Sept 13 - 427 nT [10]
11 February 1958				Feb 11 - 426 nT [10]
13 March 1989	X15			Mar 13/14 - 589 nT [10]
29 October - 5 November 2003	Oct 28 X17.2 Oct 29 X10 Nov 4 X45 [11]		19 hours	Oct 29 -353 nT [10] Oct 30 -383 nT [10] Nov 5 (missed Earth) Nov 20/21 - 422 nT [10]
18-21 November 2003	Nov 18 M3.2 [9]			

Tabell 2 Alvorlige solstormer 1859-2003. Kilde: James A. Marusek

##### 4.6.1. Carrington-stormen i 1859

Den første solstorm som er grundig vitenskaplig dokumentert, fant sted i dagene mellom 28.8. til 4.9.1859. Noen dager tidligere hadde to forskere uavhengig av hverandre registrert ekstra stor solfleckaktivitet. Den 28.8. observerte de kraftige flares. I dagene etterpå var virkningene merkbare over hele jorden med sterkt nordlyset så langt sør som til Hawaii, Cuba og nordlige



Chile hvor man kunne lese en avis midt på natten. Stormen var mens intens 2.9. De få telegraflinjene som fantes i Nord-Amerika og i Europa opplevde alvorlige tekniske skader og forstyrrelser og noen telegrafbygninger tok fyr. I noen tilfeller ble telegrafpersonell utsatt for kraftig støt. Skipsfarten opplevde store forstyrrelser på kompassene. På jorden ellers gikk livet sin vante gang da teknologiutviklingen var i sin spede barndom i Nord-Amerika og Europa. Stormen resulterte i så sterke forstyrrelser i jordens geomagnetiske felt at det tok ca. 10 dager før det var normalisert. Den regnes som den kraftigste solstorm som er registrert og er beregnet til å ha vært opp til ti ganger sterkere enn det som er blitt registrert fra 1960-2012. Hendelsen har fått navn Carrington-hendelsen etter en av forskerne (22).

#### 4.6.2. Stormen i 1921

I dagene 13.til15.5.1921 ble jorden rammet av en meget sterk solstorm, men allikevel anslagsvis bare ca. 60 % av styrken til Carrington-stormen 82 år tidligere. Det var en ekstra sterk Coronal Mass Ejection (CME) som også skapte sterke elektriske strømmer i grunnen (GIC). Den slo ut all kommunikasjon på telefonlinjer i store områder både i Europa og Nord-Amerika. En kontrollsentral for jernbanen i USA tok fyr, og i Sverige brant en telefonstasjon ned (22).

#### 4.6.3 Stormen i 1989

Solstormen som rammet Quebec-provinsen i Canada 6.3.1989, hadde ca. 35 % av styrken til Carrington-hendelsen. Den var på mange måter en vekker for hvor sårbart det moderne samfunnet da var blitt. Før den hadde solstormer mer en akademisk interesse blant folk. Det ble registrert 195 flares og 48 CME ble utløst på solen med 10-15 min mellomrom. I løpet av 90 sekunder falt elektrisitetsforsyningen i Quebec ut og 6 millioner mistet strømmen i opp til 12 timer. Det aller meste av samfunnet stoppet plutselig opp, - flyplasser, jernbane, undergrunnsbaner, trikker, trafikklys, heiser osv. Problemene forplantet seg gjennom kraftforsyningsnettet i hele Nord-Amerika og man opplevde store utfordringer med å holde kraftforsyningen gående. Over 200 problemer ble registrert bare minutter etter at stormen startet. 250 tekniske problemer med satellitter, noen permanent, ble innrapportert som f. eks. overlading av følsom elektronikk og tap av styring i flere timer. GPS-signaler ble alvorlig svekket eller ga feil posisjon. I Sverige falt 5 overføringslinjer ut, det ble registrert temperaturøkninger på utstyr i et atomkraftanlegg. I USA ble en stor transformator totalt ødelagt (22).

#### 4.6.4. Stormen i 2003 – Halloween-stormen

Den såkalte Halloween-stormen som varte fra 19.10. til 7.12 i 2003, kom svært uventet og ble målt til ca. 25 % av Carrington-stormen. Aldri før hadde man registrert så sterk røntgen-

stråling. Nordlyset var synlig både i Texas og Florida. Den ødela en transformator og forstyrret strømforsyningen i Sør-Sverige noen timer. Fra store deler av verden kom det inn meldinger om tekniske problemer med satellitter og forstyrrelser i satellittelefoner. 28 satellitter ble skadet og fikk nedetid. 2 ble permanent ødelagt. Luftfarten og maritim virksomhet verden over opplevde store forstyrrelser bl. a. i HF-kommunikasjonen og flyruter måtte legges om pga strålingsfaren over polområdene. Personell i romstasjonen måtte søke ly i spesielle deler av stasjonen. I USA ble enkelte store krafttransformatorer ødelagt eller skadet og store områder ble mørklagt i noen timer (20).

#### 4.6.5 Stormen i 2012 som nesten traff oss

Solstormen i juli 2012 som ble registrert av en STERO-satellitt langt ute i verdensrommet, passerte jorden med bare 7 dagers margin. Satellitten befant seg midt i plasmaskyken og kunne rapportere særdeles interessante data tilbake til jorden. Stormen var sterkere enn Carrington-hendelsen i 1859 i følge fysiker Pete Riley (14) og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (32). Professor Daniel Baker ved University of Colorado sier følgende i en rapport året etter i bladet "Space Weather": *"I have come away from our recent studies more convinced than ever that Earth and its inhabitants were incredibly fortunate that the 2012 eruption happened when it did. If the eruption had occurred only one week earlier, Earth would have been in the line of fire"* (14).

National Academy of Sciences (USA) har uttalt at denne stormen ville hatt katastrofale følger. Likevel ble hendelsen knapt nevnt i noen avis. Satellitter, internett, elektriske systemer og strømmettet kunne ha blitt alvorlig skadet. I USA har fagfolk kommet fram til at en solstorm av slik styrke vil kunne gi strømbrudd i månedsvis over store områder og gjøre skader i USA for over to billioner USD, dvs 20 ganger mer enn kostnadene med Katrina-orkanen som rammet New Orleans i 2005. Det anslås at det vil kunne ta 10 år å reparere skadene (14).

### **4.7 Nasjonale og internasjonale rapporter om romvær**

#### 4.7.1 National Academy of Sciences, USA

I rapporten "Storms from the Sun: The Emerging Science of Space Weather" beskrives de utfordringer man ser for det moderne samfunn i det 20. århundre (22). Innledningsvis heter det (sitat) *"Our modern electronic society is fragile, as we discovered several times in the 1990s. We are exposed and vulnerable to the whims of a star that so far defies prediction"*. Forfatterne beskriver flere solstormer, bl. a. en solstorm i 2001 i USA og hvordan den

forstyrret radio- og TV-sendinger, satellitter som ble skadet osv. En satellitt Galaxy IV ble totalt ødelagt og forvandlet til romsøppel. Ca. 40 millioner brukere i USA mistet radio- og TV-signaler, nødtelefonsamband og telefoni. Viktige værmeldinger til flere næringer og organisasjoner ble satt ut av spill i lengre tid inntil man fikk tatt i bruk andre satellitter. Dette viser hvor sårbart samfunnet var allerede da ved at bare en satellitt falt ut.

I et vitneutsagn for et Senatpanel i USA i 1998 sa forskeren Peter Neuman bl. a: *"A-yet-undiscovered vulnerabilities may be even greater than those that are known today. Further disasters may involve vulnerabilities that have not yet been conceived, as well as those that are already lurking."*

#### 4.7.2. National Research Council, USA

Rapporten "Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economical Impacts" er basert på en workshop i 2007 som ble arrangert hvor en rekke eksperter på romvær belyste de sosiale og økonomiske følgene av en alvorlig solstorm (1). Rapporten uttrykker bekymring for sårbarheten innen elektrisitetsforsyningen, fare for skader på sensitivt utstyr i satellitter og det manglende varslingsystemet for romvær. Ekstreme solstormer forstyrrer HF (høyfrekvent radiokommunikasjon), GPS navigasjonssignaler, resulterer i black-out i HF-sambandet i polare strøk, skader satellitter både temporært og permanent og skader elektronisk utstyr. Rapporten belyser den globale sårbarheten pga. sammenkopling av kritisk infrastruktur, først og fremst elektrisitetsforsyningen som er selve hjørnesteinen i teknologien i det moderne samfunnet. Mer og mindre alt avhenger av elektrisitet. Selv om sannsynligheten for at en ekstrem solstorm vil slå ut strømforsyningen i store områder er liten, vil konsekvensene kunne bli meget alvorlige ved at virkningene forplanter seg gjennom andre systemer. Ekstreme romvær har lav frekvens, men høy konsekvens (LF/HC). Dette utfordrer vanlige strategier for risikostyring. Fordi den teknologiske utviklingen går så fort og systemer lett blir vedt sammen på måter som er ukjent og uventet for både utviklere og brukere, har sårbarheter i en del av systemet lett for å forplante seg til andre deler. Derfor blir det så vanskelig å forstå og forutse følgene av framtidige LF/HC-hendelser.

Rapporten påpeker også hvor seint det går med å trekke læring fra store solstormer som har vært og som har skadet elektrisitetsforsyningen spesielt. Dersom en solstorm som den vi hadde i 1921 skulle ramme Nord-Amerika i dag, vil den resultere i strømbortfall som vil ramme mer enn 130 millioner mennesker og kunne ødelegge mer enn 350 transformatorstasjoner som ikke er "hylleware". Å erstatte hundrevis av store og skreddersydde transformatorer vil kunne ta måneder og år. Videre belyser rapporten den utviklingen som har

skjedd etter at GPS-teknologien kom på midten av 80-tallet. Presisjonsdata for geografisk lokalisering er blitt storindustri verden over og tilbydere selger sine tjenester vha flere hundre satellitter i geostasjonære baner.

Olje- og gassindustrien er en storbruker av slike tjenester i forbindelse med seismikknavigasjon, dynamisk og stasjonær posisjonering av plattformer og produksjonsskip, trafikkovervåkning i luften og på havet, beredskap, miljøovervåkning osv. Signalene fra satellittene går gjennom ionosfæren på vei til mottakeren på bakken. Når en sterk solstorm inntreffer vil signalene bli skadet på flere måter. Det oppstår forsinkelser, signalene blir ”bøyd” ut av bane og styrken blir redusert eller mistet for en kortere eller lenger tid. Dette kalles scintillasjoner som igjen fører til at mottakerne mister sin eksakte posisjon, noe som kan ha alvorlige følger for f. eks. flytende plattformer som da kan drive av lokasjonen. Det kan føre til umiddelbar frakopling av stigerør og borestreng. Avhengig av hvilken fase boreoperasjonen befinner seg, kan slike hendelser ha alvorlige sikkerhetsmessige og miljømessige konsekvenser. Vanligvis har fartøyer og rigger minst to uavhengige posisjoneringssystemer, men i ekstreme solstormer er dette ingen garanti for pålitelighet.

Rapporten beskriver videre framtidig sårbarhet for kraftnettet, GPS-tjenestene og satellitter og hevder at kraftforsyningsnettet i USA i økende grad blir mer sårbart for geomagnetiske stormer. Dette skyldes bl. a. at det blir mer åpent ved at flere produsenter kan levere inn på nettet og at mengden energi som transporteres øker. Multiple feil i disse systemene vil derfor kunne føre til sammenbrudd. Når det gjelder sårbarheten på posisjoneringstjenester (GPS) vil det avhenge av om det er snakk om presisjonsutstyr eller ikke-presisjonsutstyr. Det er spesielt for presisjonsutstyr hvor kravene til nøyaktighet er store (luftfart, skipsfart, dynamisk posisjonering etc.) at geomagnetiske stormer vil kunne skape alvorlige problemer. Når det gjelder satellittindustrien påpeker rapporten at tross alt har de stormene vi har opplevd de siste 50 år vært relativt svake i forhold til tidligere stormer som ville ha vært mer ødeleggende enn noe vi har erfart siden.

#### 4.7.3 Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)

Rapporten ”Scenarioer for samfunnssikkerhet og nasjonalt beredskap” beskriver bl. a. kort et scenario om solstorm (48). FFI skriver bl. a. at ”globalisering og gode kommunikasjoner både fysisk og elektronisk gjør verden liten og Norge tilsvarende eksponert for trusler fra andre verdenshjørner.” Hvis vi blir rammet av en ekstrem solstorm vil dette ha konsekvenser for både liv, helse, økonomi og samfunnsstabiliteten i Nord-Europa, beskriver rapporten. Et beslektet scenario som kan ha utspring i en ekstrem solstorm og som også er nevnt i FFI’s

rapport, er svikt i pengeflyten pga. sammenbrudd i elektroniske systemer. Det vil true økonomi, liv og helse og samfunnsstabiliteten.

#### 4.7.4 Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB)

Årsrapporten ”Nasjonalt risikobilde” som ble utgitt første gang i 2011, omtaler i kapittel 9 romvær som samfunnsrisiko. I 2014-rapporten konkluderer DSB med at risikoen for en ekstrem solstorm er i omtrent samme størrelsesorden som for det forventede og fryktede fjellskredet i Åkneset i Møre- og Romsdal eller for langvarig strømrasjonering. Se fig. 7.

DSB skriver at ”svært kraftige superstormer som den man opplevde i 1859, antas å inntreffe statistisk sett hvert 500 år. Store solstormer av størrelse tilsvarende den i 1921 antas å inntreffe en gang hvert 100. år”. I oppsummeringen skriver direktoratet: ”En framtidig forutsetning i 2014 vil for eksempel være utviklingen av tingenes internett og *iot*-baserte menneskeorganer, som vil gi helt nye og mer omfattende konsekvenser ved alle kjente hendelser som slår ut deler av eller hele informasjons- og kommunikasjonssystemene (for eksempel cyberangrep eller solstorm).

De analyserte scenarioene plassert i risikomatrixe – med angitt usikkerhet

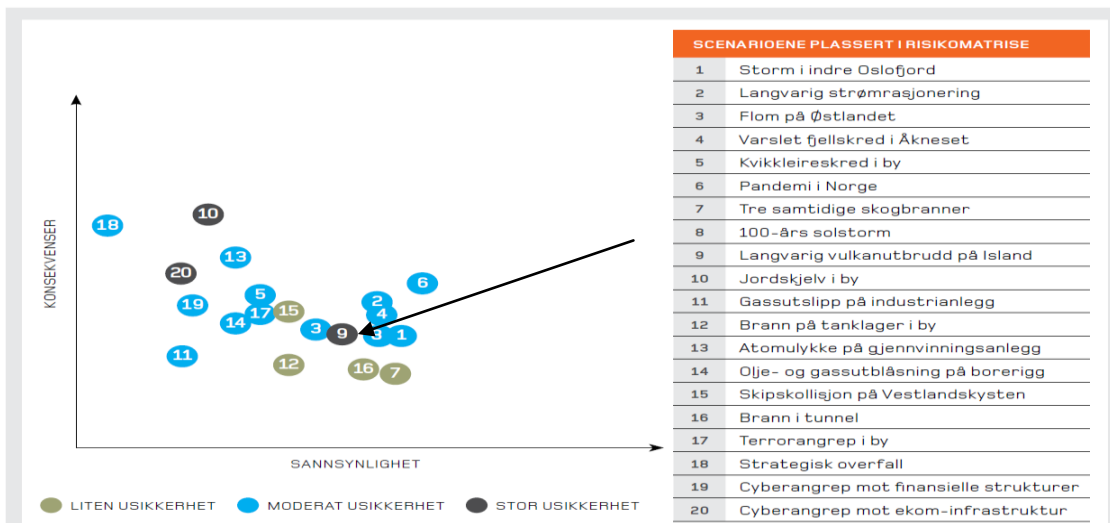


Fig. 7 Nasjonalt risikobilde 2014. Kilde: DSB's NRB-rapport 2014

DSB skriver i rapporten at Norges kraftsystem er relativt robust ovenfor solstormer bl. a. på grunn av tekniske løsninger, desentralisert produksjonssystem og verre svært lange overføringslinjer. I Norge produseres strøm fra flere mindre kraftverk med kortere avstander til forbrukerne. Dessuten har det norske systemet redundans og omkoplingsmuligheter. I landet vårt er enkelte områder mer sårbare enn andre, og en kan ikke utelukke at man ved en ekstrem solstorm kan få regionale forstyrrelser og kortere strømutfall. DSB mener at det er

middels sannsynlighet for en kategori 5 storm, men at konsekvensene antas å være svært store ved at flere hundre tusen mennesker kan bli berørt av strømutfallet.

Når det gjelder hvordan ekstreme solstormer vil kunne påvirke satellittnavigasjonssignaler, mener DSB at langvarig bortfall av slike signaler er lite sannsynlig. Solstormer vil gi forstyrrelser i kortere perioder. Direktoratet mener at de enkelte næringer selv må vurdere hvordan forstyrrelser eller bortfall av posisjoneringssignaler basert på satellitteknologi kan forstyrre spesifikke kritiske operasjoner.

#### 4.7.5 Norsk Romsenter (NRS)

Rapporten ”Vurdering av sårbarhet ved bruk av globale satellittnavigasjonssystemer i kritisk infrastruktur” skiller mellom kritiske infrastrukturer og kritiske samfunnsfunksjoner (42). Den påpeker at stadig flere kritiske samfunnsfunksjoner er avhengig av det globale satellittnavigasjonssystemet (GNSS) og at avhengighet at en teknologi gir sårbarhet. Rapporten tar utgangspunkt i hvor viktig det globale navigasjonssystemet er som innsatsfaktor i samfunnskritisk infrastruktur og for kritiske samfunnsfunksjoner. *”GNSS vil i de neste årene få økt strategisk og samfunnsøkonomisk betydning. Satellittnavigasjon anvendt for posisjonering, navigasjon og presis tid (PNT) bidrar således i økende grad som innsatsfaktor til å understøtte kritiske infrastrukturer, kritiske samfunnsfunksjoner og sikkerhetskritiske anvendelser.”*(sitat slutt) Rapporten påpeker hvordan tap av signaler fra satellittnavigasjonssystemer kan resultere i økt sårbarhet for alle brukere. Romværets innvirkning på satellittsignaler bestemmes av variasjonene i solaktiviteten. Rapporten har som formål å vurdere det potensielle omfanget av sårbarhet som tap av satellittsignaler vil kunne medføre. En nærmere vurdering av sannsynligheten for tap av signaler vil kunne gi innsikt i konsekvensene av eventuell sårbarhet.

For oljevirksomheten på sokkelen er satellittbaserte navigasjons- og posisjoneringssystemer kritiske innsatsfaktorer. Dynamisk posisjonering (DP) brukes i meget stor grad i ulike operasjoner på fartøyer og innretninger i forbindelse med oljevirksomheten på sokkelen som f. eks. borerigger, boreskip, bøyelastere, dykkefartøyer, forsyningskip, skip som skyter seismikk og som legger rørledninger samt i sikkerhetssystemer for forebygging av ulykker og miljøskader. Slike operasjoner er derfor sårbare i tilfelle tap av satellittsignaler fordi de ofte benyttes når det ikke er mulig å bruke tradisjonelle forankringsmetoder.

For sivil luftfart vil ikke tap av GPS-signaler medføre umiddelbar fare for flysikkerheten da andre systemer ivaretar dette. Det vil imidlertid kunne medføre redusert kapasitet og operativ

effektivitet. Innen søk og redning er satellittnavigasjon blitt den viktigste måte å angi sted på og er et svært nyttig hjelpemiddel for fly, skip, helikoptre, mannskap osv. Romvær har spesiell innvirkning på kommunikasjons- og radionavigasjonssignaler på høye breddegrader hvor ionosfæriske forsinkelser av signaler gir redusert posisjoneringsnøyaktighet. GPS brukes i stor grad i helikopteroperasjoner i Barentshavet og på norsk sokkel. I områder med mangelfullt utbygget bakkebaserte navigasjonsinfrastruktur som i Barentshavet, øker avhengigheten og bruken av satellittnavigasjon. Det er spesielt CME (Coronal Mass Ejection), flares og protonskurer som påvirker satellittnavigasjon. Mottakere kan miste kontakten med satellittene, eller signalene kan bli svekket. Dersom man bruker bare ett GPS-system vil kraftige forstyrrelser i ionosfæren føre til at signaler faller bort i korte tidsrom.

Ved kraftige protonskurer er det en risiko for at navigasjonssatellitter kan skades. Spesielt i nordområdene med store avstander til land vil tap av satellittsignaler skape en sårbar situasjon. En må da bruke konvensjonelle navigasjonssystemer som kompass, radar, høydemåler eller radiofyr. I noen operasjoner og for noen maritime fartsområder vil tap av satellittsignaler ha kritiske følger over tid.

Rapport drøfter mulige årsaker til og sannsynlighet for tap av GNSS-signaler og nevner også tilsiktet interferens, dvs. forstyrrelser av signaler som er gjort med hensikt ved bruk av ikke-godkjent radioutstyr som forstyrrer satellittsignalene og derved øker samfunnets sårbarhet.

Rapporten trekker den konklusjon at fremtidig globalt satellittnavigasjonssystemer (GNSS) vil bestå av flere satellittkonstellasjoner på ca. 100 satellitter som vil gi et mer robust system enn dagens GPS under ekstremt sterkt romvær som f. eks. protonskurer.

#### 4.7.6 House of Commons (UK)

Underhuset i Storbritannia publiserte i 2012 rapporten ”Developing Threats: Electro-Magnetic Pulses (EMP)”. Den beskriver hvordan alvorlig romvær kan forårsake ødeleggende konsekvenser på infrastruktur i likhet med elektromagnetiske bølger fra atombombetonasjoner i atmosfæren (13). Rapporten slår fast at romvær er en global trussel som kan påvirke mange regioner og land samtidig. Den gjensidige og innbyrdes avhengigheten av systemer og infrastrukturer globalt gjør at et problem et sted lett kan spre seg hurtig og skape komplekse ringvirkninger andre steder. Rapporten påpeker at Carrington-stormen i 1859 er anslått til å ha vært opp til ti ganger sterkere enn de stormer vi har hatt de siste 50 år. Hva et ekstremt romvær kan bestå i vil variere enormt. Derfor vil en framtidig ekstrem solstorm kunne være ødeleggende.

#### 4.8 Hva betyr dette for oss i dag?

Det er altså ikke bare uvær i form av høye bølger og svært sterke vinder forårsaket av meteorologiske forhold, som utgjør en risiko for oss. Ekstraordinære romværshendelser kan også innebære en ekstrem risiko. Vårt teknologidrevne samfunn er mer sårbart enn det det noensinne har vært, og sårbarheten øker i takt med teknologiutviklingen og integrering av internasjonale og globale systemer. Spørsmålet er derfor ikke om en 100-års solstorm vil kunne treffe jorden, men når den vil treffe (14).

Hva vet vi om konsekvensene for petroleumsvirksomheten i Norge om jorden blir truffet av en solstorm som er minst like sterk som den i 1859? Jorden har ikke erfart noe liknende etterpå, men vi bør være fullt klar over hva solen er i stand til å gjøre. Forskere har anslått at sannsynligheten for at jorden skal bli rammet av en slik solstorm før 2025 er 12 % (23).

#### 4.9 Et tenkt scenario

**Innledning:** En 100-årsbølge fra rommet er en intens flare med protonskur etterfulgt av en eller flere kraftige CME. Den er minst like kraftig som både en G5 geomagnetisk storm, en S5 Solar Radiation Storm og en R5 Radio Blackout (28). Følgende scenario tar utgangspunkt i dette og vil være sammenlignbar med stormen i 1859.

**T0** = utbruddstidspunkt for CME, dvs tidspunkt når den elektromagnetiske stormen treffer jorden.

-----

##### **T0 -5 dager (Mandag)**

En romværvarsler (Space Weather Forecaster) ved NOAA SWPC (28) ser en solfleckkgruppe med kompleksitet på solskivens venstre side. (Kompleksiteten bestemmes av antall solflekker i gruppa og den magnetiske strukturen.) Kompleksiteten utvikler seg etter hvert som den beveger mot sentrum.

##### **T0 -5 til -1 dager (Mandag-torsdag)**

Romværvarslerne overvåker solaktiviteten generelt, men holder et ekstra øye med denne solfleckkgruppen. Kun de akademiske miljøene og et fåtall spesielt interesserte personer, følger med. Man observerer at kompleksiteten øker.



## **T0 (Fredag)**

1) **1 november kl 12.** Solflekkguppen er nå midt i solskiven og vendt mot jorden. Solar Dynamics Observatory satellitten (SDO) som går i bane rundt jorden, observerer en kraftig flare. Den observeres også av flere solobservatorier på bakken og satellitter i geostasjonær bane. All bakkeinfrastruktur på solsiden opplever ekstraordinær radiostøy og mange systemer som f. eks. mobiltelefoni og VHF får tidvise utfall. Navigasjons- og posisjoneringssystemer faller ut i store områder på jordens dagside. Også systemer med stor redundans opplever store problemer.

**Kl 1210.** Man ser effekten av flare i form av protonskur som identifiseres av GOES-satellittene i geostasjonær bane og nøytronmonitorer på bakken. Ved høye breddegrader, f. eks. i Barentshavet, opplever man en fullstendig radioblackout på frekvenser HF og MF som brukes av alle som ikke har satellittkommunikasjon.

**Kl 1400:** Kommunikasjonssystemene er opp igjen. Romværværsleren som mottar data fra SOHO- og SDO-satellittene, konstaterer at assosiert med flaren, var det en halo CME, dvs. en CME med retning mot jorden. Ved hjelp fra data fra STEREO-B satellitten som ligger så langt ute i rommet og som ser solen fra siden, konstanterer romværværsleren at en CME er på vei mot jorden.

Romværværsleren bruker nå data fra SDO-satellitten til å karakterisere CME. Observert utgangshastighet på CME er minst 3200 km/s, det høyeste man noen gang har registrert. Erkjennelsen i fagmiljøet er at denne hendelsen er voldsom og de lurer på om det er målefeil. Opplysningene legges inn i en solvindmodell for å forutsi CME ankomsttid til jorden. Prosesseringen avsluttes kl 1530. Estimert ankomsttid til jorden er satt til kl 2400 samme dag +/- 4 timer.

**Kl 1610.** SWPC sender ut det første varsel på deres nettside og på e-post og sosiale medier. Noen minutter senere begynner andre nasjonale romværsenter å reagere og sender ut liknende varsel. Land med nasjonale beredskapsrutiner for romvær, sender varsel til relevante brukere.

I Norge er det etter normal arbeidstid fredag og folk i relevante fagmiljøer er i ferd med å gå hjem. Mange spesielt interesserte personer i ulike miljøer, f. eks. Norsk Romsenter,

NOSWE, academia og i forvaltningen, har begynt å fange opp det som skjer og varsler i varierende grad sine nettverk. Noen av disse tar kontakt med riksdekkende aviser om saken. Det er vanskelig å få redaksjonene interessert pga. andre viktige hendelser, f. eks. trafikale problemer etc.

**KI 21:** Stavanger Aftenblad skriver en liten artikkel på deres nettside om at nordlyset neste kveld blir spektakulært pga en uvanlig sterk solstorm som er på vei. Avisen intervjuer en amatør som har kontaktet dem.

**KI 23:** CME registreres ved ACE/DSCOVN-satellittene i form av en kraftig økning i solvind parameterne.

**KI 2315:** CME treffer jorden som en sjokkbølge. Dette registreres i form av en ”sudden impuls” på alle magnetometerstasjonene verden over, også på jordens nattside. (”Storm Sudden Commencement” er faguttrykk for det tidspunkt en geomagnetisk storm starter.) TGO mottar indikasjon via automatisk varsling fra sine magnetometerstasjoner at en stor endring i magnetfeltet er blitt registrert over hele nettverket. Det oppleves problemer globalt innen kraftforsyningen i enkelte regioner. Himmelen i høye breddegrader lyser opp av dramatisk nordlys i alle farger.

**KI 2345:** Store geomagnetiske forstyrrelser registreres på jordens nattside. Kraftforsyningen i Norge faller ut, det samme skjer i store deler av den industrialiserte verden.

Nordlyset vises nå lengre sørover enn vanlig. Man kan faktisk lese aviser midt på natten uten problemer i skinnet fra nordlyset. Det virker skremmende. Folk forsøker å ringe mediene og å sende bilder, men kommer ikke gjennom.

Produksjonsplattformer på sokkelen som får strøm fra land, får plutselig strømbrudd og nødnedstengning inntreffer. Nøddaggregatene koples inn for å ivareta sikkerhetsfunksjonene. Beredskapsorganisasjonen trer i kraft om bord og man forsøker å få kontakt med landorganisasjonen. Plattformer med fiberkabel har ikke problemer, men de andre har problemer pga. forstyrrelser i ionosfæren. Satellittkommunikasjonen fungerer ikke pga. tekniske problemer forårsaket av CME og overbelastning i nettet fordi alle ringer samtidig.

Plattformer i nordområdene som driver produksjonsboring mister referansedata fra land og boreoperasjonen må stenges ned kontrollert.

Noen satellitter i geostasjonær bane (over ekvator) begynner å falle ut pga. skader forårsaket av "spacecraft charging", dvs overslag i elektriske kretser om bord forårsaket av de kraftige elektriske strømmene i det nære verdensrom. Noen operatører har stengt ned satellitter da de vil forebygge skader av den varslede CME. Nesten all satellitt-kommunikasjon over geostasjonære satellitter går i svart.

All skipsfart og oljerelaterte innretninger i Barentshavet mister sin foretrukne kommunikasjon med land og går over på alternativet Iridium (en konstellasjon av satellitter i lave polare baner). Iridium blir overbelastet og faller ut fordi altfor mange forsøker å ringe. Alternativet HF opplever store forstyrrelser pga. den kraftige nordlysaktiviteten.

Store forstyrrelser i sammensetningen av den øvre atmosfære (ionosfæren) skaper scintillasjoner på signaler mellom lavbanesatellitter og bakken, samt absorpsjon/refleksjon av HF radiobølger. De fleste mister en stabil måte å kommunisere på med land. Land mister muligheten til å informere skip og plattformer om hva som skjer.

Scintillasjonene i ionosfæren fører til at satellittbaserte posisjoneringssystemer til tider faller helt ut og nøyaktigheten blir betydelig redusert. Dette har konsekvenser for skipstrafikken som mister posisjoneringssmuligheten. Dette varierer svært fra minutt til minutt. Kompassen viser mange grader feil til tider på grunn av forstyrrelser i magnetfeltet.

Mannskapet på plattformene opplever etter hvert stress pga. mangel på tilfredsstillende informasjon fra landorganisasjonen. Plattformen uten fiberoptikk får ikke kontakt. Påførende på land forsøker å komme i kontakt med innretningene ute og sentralbordet til oljeselskapene uten å komme igjennom. Både fasttelefon- og mobilnettet fungerer kun sporadisk pga. overbelastning og satellitter som er ute av drift.

## Situasjonen i Barentshavet

### **T+1 (Lørdag)**

**0125:** På boreplattform Petroleum Finder som driver leteboring ca. 143 nm rett nord av Hammerfest og ca. 132 nm mil ut av Honningsvåg på ca. 340 grader, sørøst av Bjørnøya, har man hatt en ustabil brønnsituasjon et par dager. Brønnen er en HTHP-brønn, dvs. reservoaret er klassifisert med høy temperatur og trykk. Riggeren ligger på DP og vanddybden er ca. 500 m. Forsyningsbåten Barents Sea med boreslamforsyninger har akkurat lagt seg i le for plattformen for lossing av både containere på dekk og overføring av slam via slange. Det er kommet inn et polart lavtrykk og det blåser stiv kuling fra sørøst med snøbyger og sikten er periodevis helt ned i 10 m i bygene. Bølgehøyden er 5-6 m. Normalt aksepteres maks 4 m ved lasteoperasjoner. Barents Sea ligger med hekken ca. 15 m fra riggeren. Slangen er akkurat tatt om bord og overføring av slam har startet.

DP-operatør i kontrollrommet får alarm om at vinkelen på stigerøret ligger i kritisk sone. Det tyder på at riggeren driver av lokasjon. Han kontrollerer GPS-signalene som viser normale verdier. Det automatiske treghetsnavigasjonssystemet er ikke aktivert. HARS-systemet (Hydro Acustics Reference System) gir ustabile og svake signaler pga. det store vanddypet.

Det kjennes plutselig et kraftig støt gjennom plattformen. Kapteinen på båten forklarer på radio at båten plutselig og av ukjent årsak hadde bakket inn i babord søyle akter. GPS-signalene virker OK. Kapteinen opplyser at sammenstøtet hadde skjedd i vannlinjen på søylen, at det ses en stor bulk og det kan være et hull på 1-2 m<sup>2</sup>. Kapteinen trekker båten bort for å vurdere skadeomfanget på fartøyet.

På broen forsøker operatøren å få kjørt riggeren tilbake i normalposisjon manuelt for å forhindre brudd i stigrøret. Beredskapsorganisasjonen etableres. Man beslutter å kutte borestrengen og stenge inn brønnen. Situasjonen oppfattes som dramatisk og kan innebære behov for øyeblikkelig evakuering av deler av mannskapet. Plattformsjefen forsøker å kontakte Hovedredningssentralen (HRS) uten å komme igjennom. Det samme skjer når han ringer beredskapssentralen hos operatøren Subpream Oil. Ingen kommunikasjonskanaler fungerer, kun VHF til Barents Sea. Etter å ha forsøkt ulike muligheter, oppnås endelig kontakt med HRS vha Iridium (satellittelefon). 330-

skvadronen Banak og Kystvakten blir alarmert via nødnettet. HRS tar også kontakt med helikopterselskapet som opererer ut fra Hammerfest om å stå i beredskap.

**Kl 0150:** Plattformsjef gir beskjed til HRS om behov for å evakuere unødvendig mannskap og gå ned til minimumsbemanning.

**Kl 0155:** HRS gir beskjed til både 330-skvadronen og helikopterselskapet (Helico) om å sende ut et helikopter til Petroleum Finder. Seaking tar av kl 0213, det andre kl 0230. Seaking-helikopteret fra Banak må mellomlande i Honningsvåg for re-fueling.

**Kl 0240:** Helikopteret fra Helico er kommet et stykke ut fra Hammerfest og mister plutselig all kommunikasjon (satellitt, VHF, mobiltelefon og HF). "Flight Following"-systemet har falt ut. Seaking-helikopteret mister også all kommunikasjon. Standard prosedyre da er at man må snu. Mannskapet på Seaking beslutter å gå inn til Hammerfest for å koordinere den videre operasjonen med Helico.

**Kl 0345:** På Petroleum Finder har man tidligere fått oppgitt ETA ca. kl 0350, men får ikke kontakt med helikoptrene. Det brer seg en usikkerhet om bord og situasjonen føles kritisk. Riggen har de ballastert for å unngå ytterligere vanninntrenging og er stabil.

TV-signalene og radiosendinger er ute av drift i hele landet. Myndighetene når ikke ut med informasjon.

## **Scenario slutt**

### **5 KRITISK INFRASTRUKTUR OG SENTRALE PETROLEUMSAKTIVITETER**

I dette kapittelet gis først en kort innføring i kraftforsyningsnettet i Norge med vinkling mot elektrisk kraft til offshore, samt globale satellittnavigasjonssystemer. Deretter gis en kort introduksjon til petroleumsaktivitetene boring, petroleumsproduksjon og petroleumstransport i rørledninger.

I NOU 2006:6 "Når sikkerhet er viktigst" er begrepet kritisk infrastruktur definert slik: *Anlegg og systemer som er helt nødvendige for å opprettholde samfunnets kritiske funksjoner som igjen dekker samfunnets grunnleggende behov og befolkningens trygghetsfølelse.* Det er

spesielt to typer kritisk infrastruktur som er relevant for problemstillingen i oppgaven, - kraftforsyningen og det globale satellittnavigasjonssystemet GNSS.

## 5.1 Kraftforsyningen som kritisk infrastruktur og elektrifisering på sokkelen

Kraftforsyningen er en grunnleggende og kritisk infrastruktur i et moderne samfunn og er underlagt en rekke lover og forskrifter som stiller krav til sikkerhet, beredskap og bl. a. ROS-analyser (37). Strømnettet deles inn i tre kategorier: Sentralnett, regionalnett og lokalt distribusjonsnett.

Med en total ledningslengde på land på ca 330 000 km, mer enn 120 000 transformatorer, stasjoner, vern og koblingsanlegg og en gjennomsnittlig årlig tilgjengelighet på nesten 100 prosent må det kunne hevdes at el-kraftforsyningen i Norge er meget robust. Halvparten av nedetiden skyldes værforhold. Sentralnettet er selve ryggraden i kraftnettet og utgjør ca 11 000 km. Statnett

som har ansvaret for utbygging og vedlikehold av dette nettet, eier og drifter ca. 150 transformatorstasjoner med kontrollanlegg og høyspenningskoplingsanlegg med samleskinner, samt ca. 200 transformatorer. I tillegg er ca. 350 andre transformatorer knyttet opp mot nettet, men eies og driftes av andre aktører. Nettet vårt er knyttet sammen med Sverige med 4 hovedforbindelser. Norge har også 4 kabler til Danmark og 1 kabel til Nederland. Statnett opplyste i intervjuet at de holder på med å utvikle sentralnettet fram mot 2030 til å bli fullt integrert i det nordiske nettet.

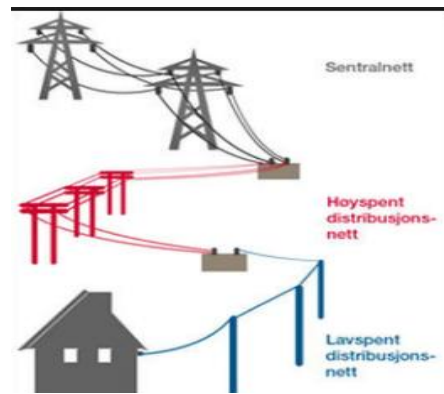


Fig. 8 Nettverkstyper. Kilde: Google

Stortinget vedtok 22.2.1996 at det ved alle nye feltutbygginger skal legges fram en oversikt over energimengden og kostnadene ved å elektrifisere innretningen framfor å bruke gasturbiner. Det viktigste argument for en elektrifisering av den norske sokkelen er at dette kommer til å redusere Norges utslipp av CO<sub>2</sub>. Dette ble ytterligere aktualisert i forbindelse med klimatoppmøtet i Paris i desember 2015 og de ambisiøse målene om en drastisk reduksjon av klimautslippene. I et påfølgende debattprogram på TV ble det hevdet at dette ville føre til krav om generell elektrifisering av petroleumsvirksomheten på sokkelen.

De fleste produksjonsplattformene på norsk kontinentalsokkel er bunnfaste og finnes i den sørlige delen av Nordsjøen. På større havdyp er imidlertid produksjonsinnretningene flytende, ikke-vinddreierende innretninger som bl. a. består av konvensjonelle halvt nedsenkbare og

sirkelformede plattformer. De innretninger som har fått elektrisitetsforsyning fra land eller som har besluttet å ta det i bruk, er slike faste og flytende (ikke vinddreierende) innretninger og undervannutbygginger. Ifølge Oljedirektoratet er feltene GjØa, Valhall, Ormen Lange og Troll A elektrifisert. I tillegg vurderer Statoil å gi Njord-plattformen strøm fra land. Stortinget vedtok i midten av mai 2014 full elektrifisering av Utsirahøyden. Situasjonen for feltene Ivar Aasen, Gina Krog og Edvard Grieg er ikke avklart (27). Dersom kraftsituasjonen på land tillater det, har Stortinget krevd at Goliat-plattformen i Barentshavet skal hel-elektrifiseres innen 2018.

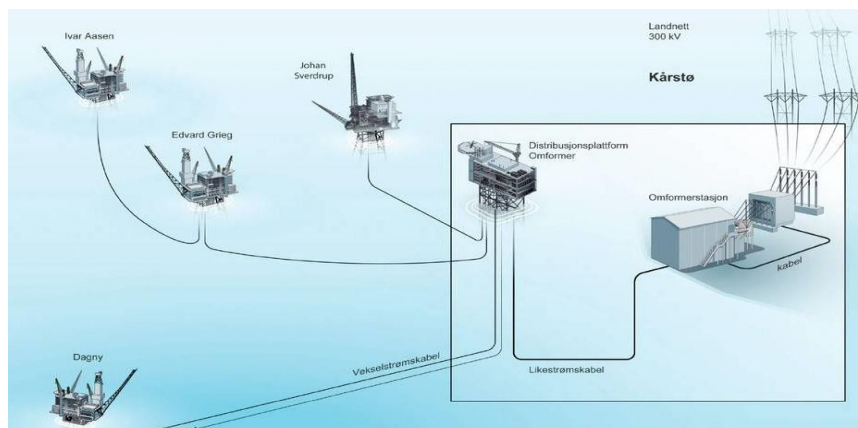


Fig. 9 Skisse av elektrifisering offshore. Kilde: OD-rapport "Kraft fra land til sokkelen"

Elektrifisering av innretninger for olje- og gassproduksjon i nordområdene er blitt aktualisert ved Statoils og partnergruppens beslutning, som ble gjort kjent 19.1.2016, om å realisere Johan Castberg-prosjektet som består av feltene Skrugard og Havis i Barentshavet (26). Et

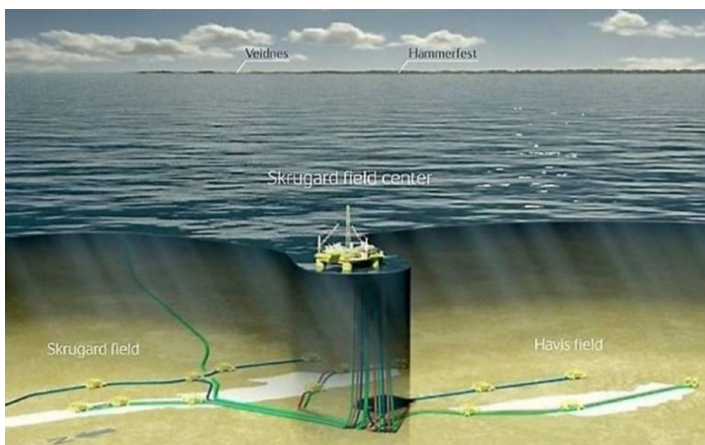


Fig. 10 Utvikling av Johan Castberg-prosjektet. Kilde: ABC Nyheter

flytende produksjonsskip vil bli benyttet. På dette tidspunkt er det ikke opplyst om feltet vil få strøm fra land, men det er grunn til å tro at dette vil bli krevd for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene i Norge og være i tråd med Stortinget vedtak av 22.2.1996.

Produksjonsskip, Floating Production Storage and Offloading, kalte FPSO-er, dreier seg etter vinden. Med dagens teknologi er det ikke mulig å elektrifisere FPSO-er med kraft fra land fordi kabler og rørledninger som kommer opp fra havbunnen, ligger i ro mens selve innretningen bevege seg i forhold til vindretningen (27).

## 5.2 Globale satellittnavigasjonssystemer som kritisk infrastruktur på sokkelen

Den første satellitt i rommet ble skutt opp av Sovjetunionen i slutten av 1950-tallet. Det var en liten sender som formidlet enkle morsesignaler tilbake til jorden. Siden den gang har mange land sendt opp nesten tusen satellitter for militære og sivile formål som mottar og sender tusenvis av signaler samtidig, alt fra enkle digitale data til de meste kompliserte TV-programmer. Verdien på denne infrastrukturen er anslått til 200 milliarder USD. Telefonkommunikasjonsselskapene omsetter årlig for nesten 225 milliarder USD (18).

I 2016 er det fire satellittoperatører i verden som selger globale posisjoneringstjenester (GPS), og flere vil komme til. Det er ventet at det i 2020 vil være ca. 120 slike satellitter i operasjon og antallet vil øke, ifølge intervjuet med Fugro (24). De største aktørene er Global Positioning System (GPS) og Global Navigation Satellite System (GLONASS) som i 2015 opererer henholdsvis 32 og 24 satellitter i bane rundt jorden. GPS ble etablert av det amerikanske forsvaret i 1978, GLONASS av det russiske forsvaret noe senere og ble åpnet for fri bruk i 2007 (31). Disse utgjør det globale posisjoneringssystemet GNSS.

Satellitnavigasjon er i rask og kontinuerlig utvikling. Innen 2020 vil opptil fire globale GPS-systemer kunne være i drift, ikke minst Europas eget Galileo som vil være et neste generasjonssystem. Vi får flere systemer, flere satellitter og signaler og flere frekvenser. Galileo vil tilby to frekvenser for sivile brukere, og bare der ligger et stort potensial for mer nøyaktighet (7).



Fig. 11 Galileo satellitt. Kilde: Dagbladet 13.10.12



Fig.12 Eksempel på satellitt. Kilde Google

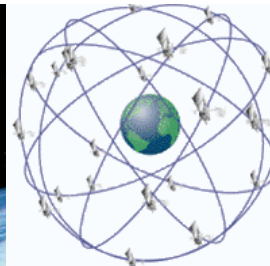


Fig.13 Barnene til Galileo-satellittene. Kilde: FAA

Kommunikasjons- og navigasjonssatellittene anses som kritisk infrastruktur. Tap av satellitttjenester påvirker nært sagt alle samfunnsfunksjoner og den gjensidige avhengigheten mellom ulike systemer øker konstant. Levetiden på en satellitt er teoretisk 10-15 år, men flere er fortsatt i drift etter denne tiden.

Hvordan ekstreme solstormer vil kunne påvirke selve satellittene er det stor usikkerhet om pga. av liten erfaring og mangelfulle data. Eierne av disse satellittene ønsker ikke å åpenbare



hvor sårbare deres satellitter er av frykt for å bli utestengt i konkurransen. Dette gjør det svært vanskelig å danne seg et pålitelig bilde av hvor sårbare disse installasjonene er for romvær (18).

### Posisjonering og navigasjon

Bruk av satellittdata til posisjonering har hatt en eksplosiv vekst de siste 15-20-årene og brukes nær sagt innen alle yrker som f. eks. luftfart, sjøfart, kraftforsyning, beredskap, bygg- og anlegg, logistikk og flåtestyring, turisme og sikringstjenester. Flere næringer og sektorer i samfunnet er avhengige av satellittbaserte tjenester for å kunne produsere og levere tjenester.

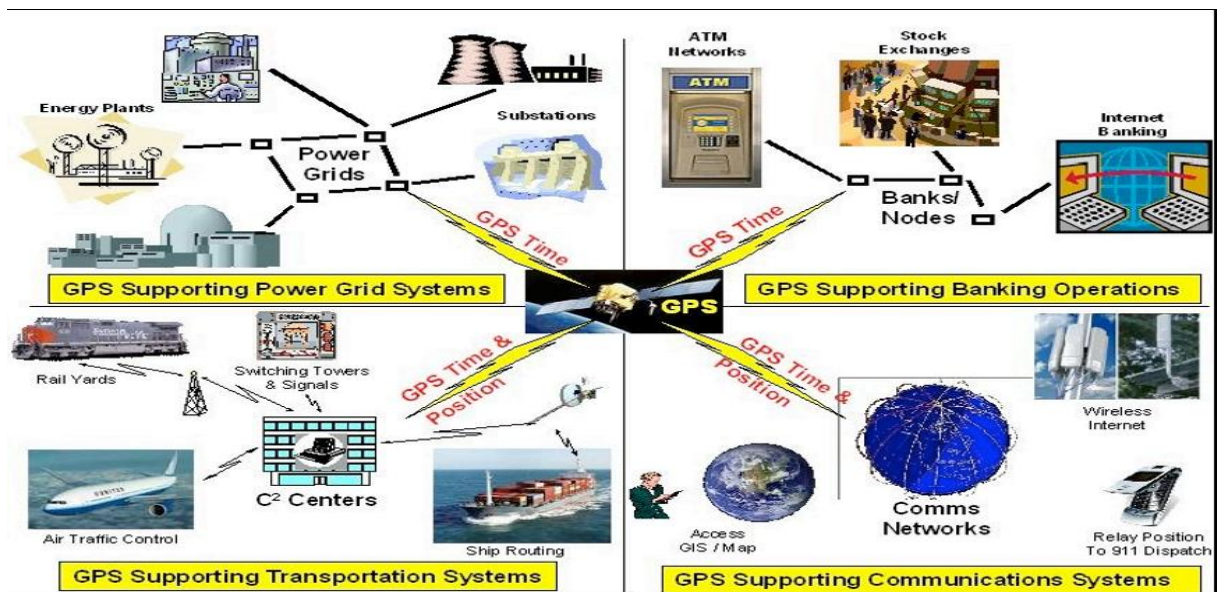


Fig. 14 Funksjoner i samfunnet om er avhengig av GPS. Kilde: K.VanDyke, DOT

Brukerne kan deles inn i to hovedkategorier, - presisjonsbruker og ikke-presisjonsbrukere.

Petroleumsvirksomheten er en meget stor bruker av presisjonsdata fra GPS, hovedsakelig pga. dynamisk posisjonering (DP) på flytende innretninger. Da denne næringen har strenge krav til sikkerhet fra sertifiseringsselskaper og myndigheter, er denne funksjonen viktig. Flytende innretninger bruker enten ankere eller DP for å holde seg stabilt på lokasjonen. DP innebærer at plattformen holdes på plass vha. propellene som styres av et elektronisk system som mottar posisjonssignaler fra satellitter via antenner. Det brukes også akustiske sendere som plasseres på havbunnen og som gir referansesignaler til det samme styringssystemet, men disse har begrensninger mht. maksimal vanndybde.

For å få pålitelige 3-dimensjonale posisjonsdata trenger man minimum fire GNSS-satellitter. Jo flere synlige satellitter, jo mer nøyaktig blir målingene. Mange av de applikasjoner som brukes til å navigere, krever nøyaktige og pålitelige posisjonssignaler (42).

### 5.3 Introduksjon til boring

Boring deles inn i to hovedtyper, leteboring og produksjonsboring. Leteboring, også kalt prøveboring, utføres for å kunne finne ut om det er olje og/eller gass i et mulig petroleumreservoar som er påvist ved hjelp av seismiske undersøkelser og tolkning av geologiske og geofysiske data. I Norge ligger disse reservoarene under havbunnen slik at det er nødvendig å bruke mobile borerigger eller boreskip. Alternativt kan en bruke plattformer med nedsenkbare bein (jack-ups). Flytende boreplattformer og skip brukes alltid der vanddypet er mer enn f. eks. 100 m. Leteboringen foregår vertikalt. Samtidig som man borer,



Fig. 15 Transocean Spitsbergen. Kilde: Transocean Norge



Fig. 16 Plattform Maersk Galant. Kilde: Google

måles bergartenes fysiske egenskaper i brønnhullet ved hjelp av ulike loggemetoder. En meget viktig informasjonskilde er å analysere borekasset som kommer opp med boreslammet. Er man heldig kan man finne olje og/eller gass allerede på første forsøk. Finner man olje eller gass er det vanlig å bore flere brønner for å kunne finne ut hvor stort reservoaret er og hvor mye det kan produsere. Slike brønner kalles avgrensingsbrønner.

Produksjonsboring foregår etter at man har besluttet å bygge ut et olje- eller gassfelt. Da bestemmer man hvor mange brønner som skal bores for å kunne drenere reservoaret på en mest effektiv måte. Boringen kan foregå fra en produksjonsplattform med boreutstyr som plasseres over reservoaret eller med samme type innretninger som ved leteboring. Da bores brønnene gjennom en ramme som plasseres på havbunnen. Antall brønner som skal bores avhenger av størrelsen og formen på reservoaret.

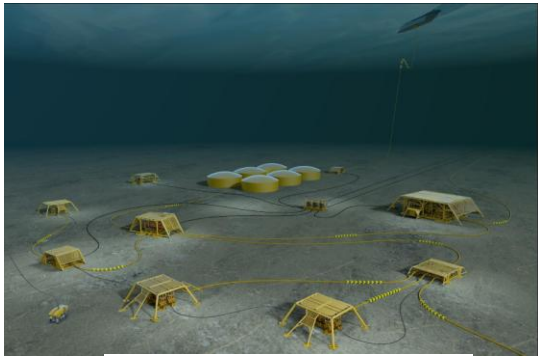


Fig. 17 Bunnramme. Kilde: Google



Fig. 18 Oseberg Feltsenter. Kilde: Google

I løpet av de siste tiårene har retningsboringsteknologien blitt utviklet for å kunne ta ut mest mulig olje og gass fra samme plattform og redusere kostnadene med boring.

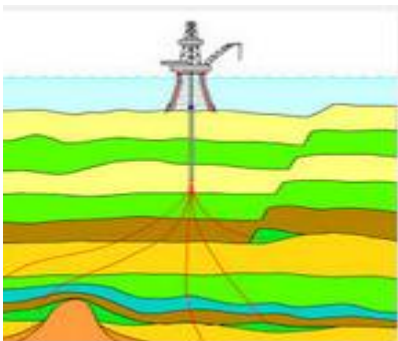


Fig. 19 Retningsboring. Kilde: Google

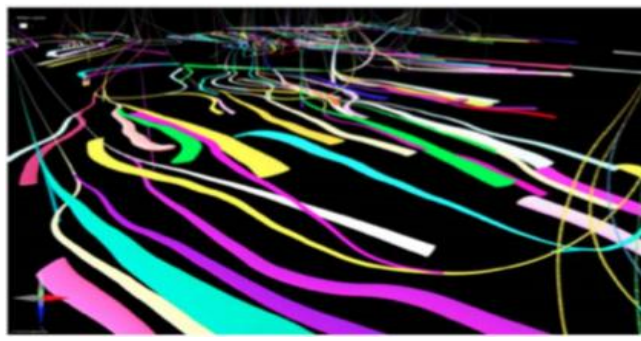


Fig. 20 Retningsboring. Kilde: Inge Edvardsen, Baker Hughes

Fra samme plattform kan man bore flere titals brønner vertikalt ved siden av hverandre. Noen hundre meter nede i grunnen bøyer man brønnbanene ut slik at de peker mot de deler av reservoaret som skal dreneres for olje eller gass. Man kan også utføre flergrensboring hvor man borere flere brønner til flere mål ut fra en brønn like over reservoaret. For å kunne treffe reservoaret trenges en nøyaktighet på 0,1 grad. For å navigere kan man bruke gyroskopiske instrumenter som er dyrt fordi boreoperasjonen må stoppes noen timer mens man målinger. Magnetiske måleinstrumenter er tatt i bruk fordi man da kan styre borekronen under selve boreoperasjonen, kalt Measurements While Drilling (MWD). Dette er derfor langt rimeligere. Nøyaktigheten av disse målingene er begrenset av nøyaktigheten til jordens magnetfelt som i løpet av en vanlig dag kan variere opp til 0,2 grader og varierer fra sted til sted.

#### 5.4 Introduksjon til petroleumsproduksjon på norsk sokkel

Det brukes en rekke ulike typer plattformer offshore til produksjon av olje og gass på norsk kontinentalsokkel. Tradisjonelt har de vært plassert på havbunnen der vandypet har tillatt det. Feltene har gjerne blitt utviklet med plattformer for ulike funksjoner (innkvartering, boring og produksjon) som har vært knyttet sammen med broforbindelser eller som integrerte innretninger der alle funksjonene finnes på samme dekk.





Fig. 21 Oljeplattformer: Kilde: Wikipedia

Etter hvert som oljevirkosmheten har beveget seg ut på dypere vann har man tatt i bruk flytende produksjonsinnretninger og produksjonsskip (FPSO) og havbunnsbaserte produksjonssystemer. Olje- og gassproduksjonen foregår da ved at strømmene enten ledes fra slike bunnrammer i rør til nærliggende produksjonsplattformer eller via en egen produksjonsplattform som er plassert over bunnrammen. Oljen og gassen blir behandlet i ulike prosesser om bord på plattformen før den blir sendt videre enten i rørledning til terminaler på land eller lastes om bord i spesielle shuttle-tankere som knytter seg opp mot lastebøyer på feltet eller til et produksjonsskip (FPSO).

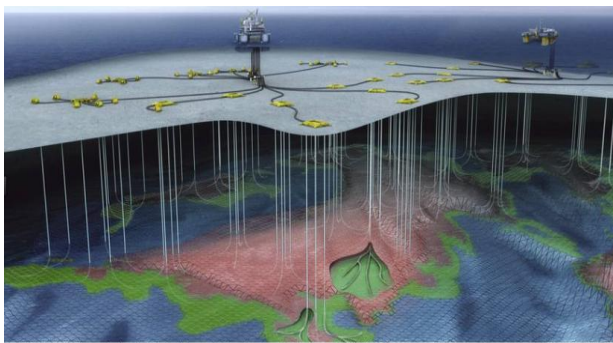


Fig. 22 Illustrasjon av oljeproduserende felt. Kilde: TU 18.6.2018

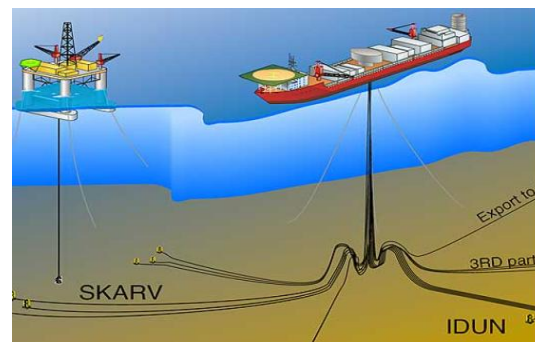


Fig.23 Illustrasjon FPSO Skarv-feltet. Kilde:Dagbladet.no

### 5.5 Introduksjon til transport av olje- og gass i rørledning

I 2015 ble det transportert 108 milliarder standard kubikkmeter gass (sm<sup>3</sup>) fra norsk kontinentalsokkel til mottaksterminalene i Tyskland, Belgia, Frankrike og Storbritannia, ca. 8 % mer enn året før (25). 30 % av eksporten skjer via prosessanlegget på Kollsnes, 25 % fra Kårstø-anlegget som mottar gass gjennom rør fra 36 ulike felt i Nordsjøen. I dag er det bort i mot full utnyttelse av transportkapasiteten. Regulariteten i transportsystemet er 99,5 %.

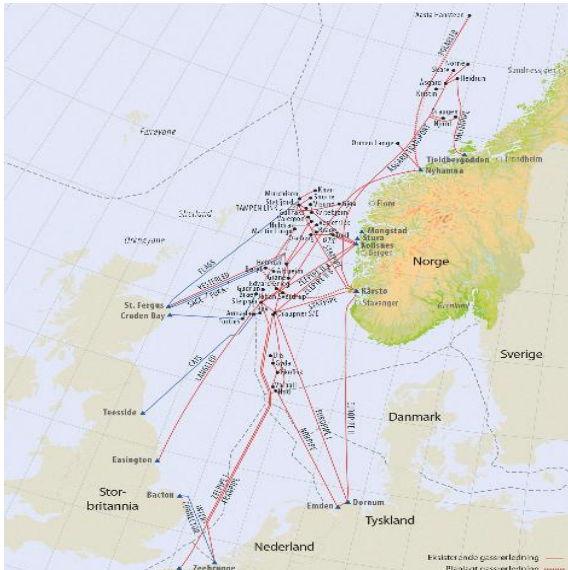


Fig. 24 Gassrørledning infrastruktur. Kilde: Gassco

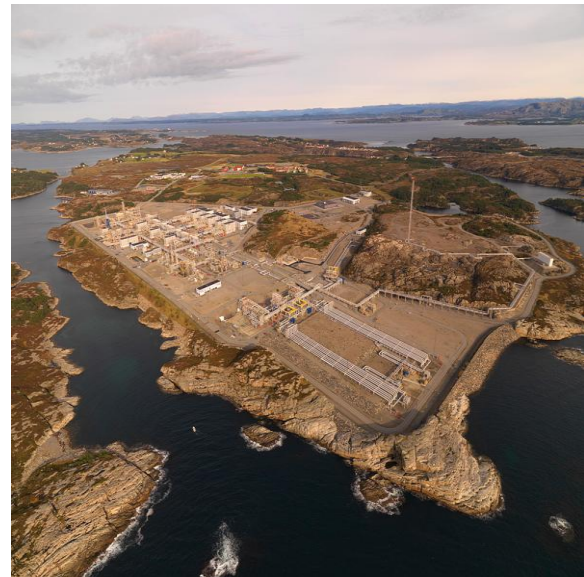


Fig. 25 Kollsnesanlegget Kilde: Gassco

Gasseksporten skjer gjennom en infrastruktur på ca. 8000 km rørledninger på havbunnen med tilhørende sikringssystemer, ventiler, sluser, systemer for korrosjonsbeskyttelse og stigerør. Operatøren av denne infrastrukturen er Gassco AS på Karmøy som eies av Petoro (ca. 50 %), Statoil og en rekke andre finansielle selskaper. Statoil er teknisk tjenesteyter som driver Kolsnes og Korstø på vegne av Gassco. Disse to landanleggene samt anlegget i Nyhamna (fra 2017), er integrert i gassrørledningssystemet fra feltene hvor tørrgassen blir skilt ut fra rikgassen før den transporteres gjennom rørledningene til de seks mottaksterminalene i Tyskland, England, Frankrike og Belgia.

Ved hjelp av kraftige kompressorer på behandlingsanleggene Kolsnes og Korstø sendes gassen i mottaksterminalene på kontinentet og Storbritannia hvor den blir sendt videre inn i distribusjonssystemet og ut til forbrukerne. Oljerørledninger fra felt i Nordsjøen går inn til terminalene på Sture, Mongstad, Kårstø og Teesside i Storbritannia.

Fra 2019, når Johan Sverdrup-feltet kommer i drift, vil en 157 km lang rørledning føre gassen fra feltet via Statpipe-ledningen til prosessanlegget på Kårstø, en produksjon som forventes å vare i 50 år (25).

## 6 DRØFTING

Problemstillingen ”*hvordan kan neste ekstreme solstorm true petroleumsvirksomheten i Norge*” besvares ved å analysere følgende to kritiske infrastrukturer og hvordan deres funksjoner kan forstyrres:

- Kraftforsyningen fra land til offshore
- Satellittoperasjonene.

For hver av disse infrastrukturene drøftes med utgangspunkt i scenarioet og i empirien hvilke følger driftsforstyrrelser vil kunne få for operasjonene boring, produksjon og olje- og gasstransport i rørledninger. Konsekvensene for funksjonene kommunikasjon, logistikk og andre forhold som retningsboring korrosjon er omtalt kort.

### 6.1 Kraftforsyningen fra land til sokkelen og sårbarhet ved ekstreme solstormer

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) antar at en situasjon med en ekstrem protonskur og en geomagnetisk storm som inntreffer samtidig, forventes å skje en gang i løpet av 100 år (32). Det er imidlertid knyttet svært stor usikkerhet til hvor ofte slike ekstreme romvær vil kunne inntreffe. Den kan komme neste uke eller om 150 år. Noen forskere har på basis av grundig analyser kommet fram til en sannsynlighet på 12 % for at jorden skal bli rammet av en ekstrem sterk solstorm i kategori 5 før 2025 (14).

Under en slik solstorm vil kraftnettet bli satt på en alvorlig prøve ved at store skyer av plasma, (CME), treffer jorden og forårsaker at magnetfeltet globalt forstyrres. I følge TGO vil det oppstå en geomagnetisk storm, (GIC), pga. det induerte magnetfeltet fra strømmene i ionosfæren. Siden det er potensialforskjeller mellom jordingspunktene i kraftnettet, vil strømmer begynne å gå (induseres) i nettet pga. disse magnetfeltene. (Fig. 26) I flere timer og kanskje dager vil sterke strømmer gå gjennom transformatorer, ledningsnett og jordingspunkter og være så kraftige at de kan skade og ødelegge transformatorer. Lange kraftlinjer vil da opptre som antenner som fanger opp strømmene og sprer dem over et stort område. Disse strømmene kan overbelaste ledningsnettet og skade kritiske komponenter. Sårbarheten i kraftsystemene varierer fra land til land, noe som avhenger av f. eks. ledningsevnen i jordsmonnet, tekniske løsninger og nettstrukturer (1). Dersom viktige komponenter i strømmettets infrastruktur blir skadet, vil det kunne ta dager, uker og kanskje måneder før en reserveløsning er på plass (39). I følge Statnett vil det spesielt være sentralnettet som er utsatt i forbindelse med ekstreme solstormer fordi det er direktejordet, dvs. alle 0-punkter er jordet.

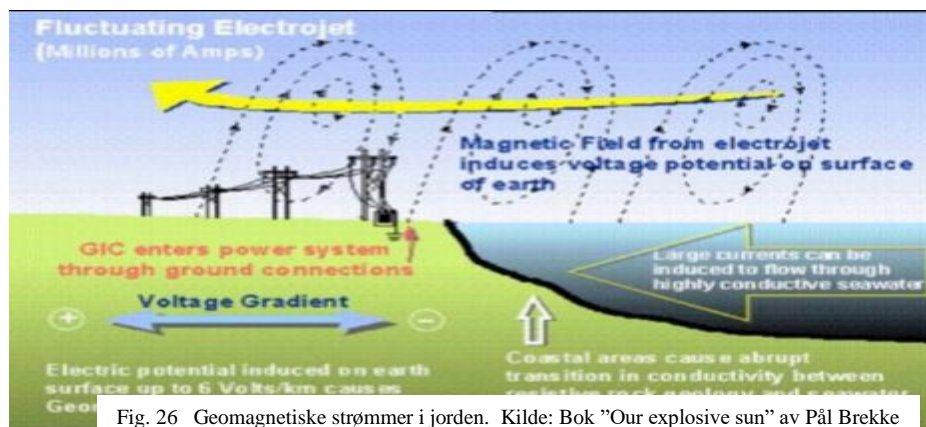


Fig. 26 Geomagnetiske strømmer i jorden. Kilde: Bok "Our explosive sun" av Pål Brekke

I tillegg til skader på transformatorer vil slike strømmer i grunnen også kunne føre til sammenbrudd i kraftforsyningen ved at kraftforsyningen til støtte-/styringssystemer faller ut. Slike driftsavbrudd vil typisk vare fra timer til kanskje noen dager. Satellitnavigasjon inngår som en kritisk innsatsfaktor i kraftsektoren pga. synkronisering av interne telenett, for tidsstempling av hendelser og synkronisering av datamaskiner (42).

Strømfallet i Quebec under solstormen i 1989 er et slikt tilfelle. Solstormen i 1921 produserte grunnstrømmer som var 10 ganger sterkere enn Quebec-hendelsen. Under Halloween-stormen i 2003 ble 12 transformatorer i Sør-Afrika ødelagt. I USA hevder The National Academies at flere hundre transformatorer vil kunne bli ødelagt, at det vil kunne ta måneder, kanskje år å reparere skadene og at kostnadene vil kunne bli enorme (1). Andre mener derimot at konsekvensene ikke vil bli så alvorlige blant annet fordi beskyttelsestiltakene blir mer effektive (45). Strømnettet forsterkes, ekstra kretser legges inn og nye transformatorer produseres som kan om dirigere og kontrollere store strømmengder raskt. James A. Marusek mener at de aller største solstormer har potensial til å skade nøkkel-elementer i strømnettet verden over og vil kunne få umiddelbare alvorlige følger nasjonalt (19). NOAA's Space Weather Prediction Center har gruppert konsekvensene for ekstremt romvær (kategori 5) innen kategoriene geomagnetiske stormer, solar radiation storms og radio blackouts. Nedenfor er et utdrag fra tabellen over konsekvenser ved en ekstrem solstorm med CME og hvilke problemer man kan forvente.

Geomagnetic Storms		
<b>G 5</b>	Extreme	<p><u>Power systems:</u> widespread voltage control problems and protective system problems can occur, some grid systems may experience complete collapse or blackouts. Transformers may experience damage.</p> <p><u>Spacecraft operations:</u> may experience extensive surface charging, problems with orientation, uplink/downlink and tracking satellites.</p> <p><u>Other systems:</u> pipeline currents can reach hundreds of amps, HF (high frequency) radio propagation may be impossible in many areas for one to two days, satellite navigation may be degraded for days, low-frequency radio navigation can be out for hours, and aurora has been seen as low as Florida and southern Texas (typically 40° geomagnetic lat.)**.</p>

Tabell 5 Styrke og konsekvenser ved geomagnetiske stormer. Kilde: NOAA Space Weather Prediction Center



### Sårbarheten i det norske kraftnettet

I intervjuet med Statnett ble det opplyst at grunninduserte strømmer (GIC) i det norske strømmettet måles kontinuerlig. Slike GIC registreres 15-20 ganger i året, men så langt er det ikke registrert noen alvorlige feil eller strømutfall pga. grunnstrømmer. Sentralnettet vil være spesielt utsatt for skade ved en ekstreme solstormer fordi det er direktejordet. Å erstatte ødelagte transformatorer som kanskje veier 300 tonn, er krevende selv om man skulle ha en i reserve i nærheten. Leveringstiden for nye store transformatorer er kanskje opptil 1,5 år og monteringsstiden vil kunne ta 3-4 uker, i følge Statnett. Hvor utsatt transformatorer er for skade avhenger av flere faktorer, bl. a. alder og design. Statnett opplyser at de transformatorer som brukes i Norge, har en annet design enn de amerikanske og er mindre sårbare for GIC. Det foregår et utviklingsarbeid hos produsentene for å få en mer robust transformatordesign.

DSB mener at det norske kraftsystemet er relativt robust mot solstormer fordi de tekniske løsninger som er valgt, desentralisert produksjonssystem og kortere overføringslinjer enn andre land som f. eks. Canada, USA og på det europeiske kontinentet (32). I Norge er det også lagt inn redundans og det finnes omkoplingsmuligheter slik at strømutfall i en transformator ikke nødvendigvis skal føre til langvarig utfall. Ved sterke solstormer kan kraftforsyningen likevel falle ut i noen timer, skriver direktoratet, og enkelte områder er mer sårbare enn andre.

En økende IKT-avhengighet i kraftforsyningen, økende og gjensidige avhengigheter mellom kritiske infrastrukturer og samspill med flere energibærere har stor betydning for forsynings-sikkerheten og sårbarheten. NRS uttrykte i intervjuet at Norge ikke vil få en fullstendig kollaps i strømmettet ved en ekstrem solstorm, kanskje ikke mer enn 2 dager. I et annet intervju med Dagbladet 27.2.2013 uttrykte seniorforsker Pål Brekke i NRS at skadene ved en ekstrem solstorm kan ta ett års tid å reparere før alt er opp igjen. Varslingstiden fra satellittene har fastslått styrken til jorden rammes kan i praksis være bare 15 min i verste fall, opplyste han. Statnett uttrykte på NRK (16.5.13) at et verste-fall-scenario vil føre til mørklegging av enkelte regioner på opp til 10 timer.

### Aldring av kraftnettet, manglende vedlikehold og økt sårbarhet

I følge DSB er regionalnettet og spesielt det lokale distribusjonsnettet i Norge en aldrende infrastruktur og behovet for reinvesteringer øker raskt. I bladet Elektro (1/2004) skrev avdelingsdirektør i DSB, Tor Suhrke følgende: *”Vi ser også tendenser til å gå over til havaribasert vedlikehold der det forebyggende elementet blir mindre vektlagt enn før. Og vi*



*ser at viljen og evnen til rehabilitering av nettet er svært variabel.” I Elektro nr 3/2005 skrev han: ”Det som først og fremst gjør oss bekymret, er forhold vi avdekker gjennom våre tilsyn... Det gir oss rimelig grad av oversikt over tilstanden i kraftsystemet. På slike tilsyn er vi kommet over kritiske komponenter som er dårlig vedlikeholdte eller som burde vært skiftet ut.” Samme blad (4/2004) hadde følgende tekst på forsiden ”Frykter eksplosjoner i transformatorer”: I bladet skriver laboratoriesjef John Bongard i E-CO Diagnose dette: ”Kurven for antall feil begynte å stige i 1985, den har siden blitt stadig brattere og peker mot et nivå i 2015 som indikerer en tredobling av antall feil i forhold til i dag.” I rapporten ”En sårbar kraftforsyning” utgitt av Forsvarets Forskningsinstitutt (2001), heter det: ”De siste årene har sårbarheten i norsk kraftforsyning økt dramatisk. Etter at tidligere overkapasitet nå er rasjonalisert vekk, begynner systemet å nærme seg smertegrensen.” Fagsjef Atle Wahl i Gjensidige Forsikring skriver i bladet Elektro (1/2005) at (sitat): ”Ingeniørene er kommet i forlegenhet, de har ikke maktet å dokumentere kost-nytte av korrektivt vedlikehold og rehabilitering. Resultatet av denne utviklingen er et etterslep som vil føre til økende antall havarier og skader i årene fremover” (33).*

NVE har ansvar for drift og vedlikehold av sentralnettet om utgjør ryggraden i den norske kraftforsyningen. Den kritikken som er framsatt i sitatene ovenfor, handler først og fremst om lokal- og regionalnettet. Det er likevel bekymringsfullt hvis situasjonen i dag er slik den er blitt beskrevet her, særlig på bakgrunn av NVE’s presisering i ”Veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftindustrien” at man i risiko- og sårbarhetsanalyser må fokusere på verste-falls-hendelser og kaskadering av hendelser (37). En kan derfor ikke utelukke at en ekstrem sterk solstorm vil kunne slå ut kraftforsyningen til sokkelen for enkelte innretninger og felt, unntaksvis kanskje alle. Dette er også beskrevet i scenarioet i kapittel 4.9.

I 2030 vil sentralnettet i Norge være fullt integrert med det nordiske. Det vil innebære en økt grad av sårbarhet. I ”Solar Storm Threat Analysis” skriver James A. Marusek følgende: ”*There is a singular aspect present in the very largest solar storms that has the potential for creating a global disaster, potentially knocking civilization to its knees. The very largest solar storms have the potential for simultaneously destroying key elements of the electrical power grid infrastructure. These elements are unique, expensive and have long lead times (greater than 1 year) for replacement*” (19).

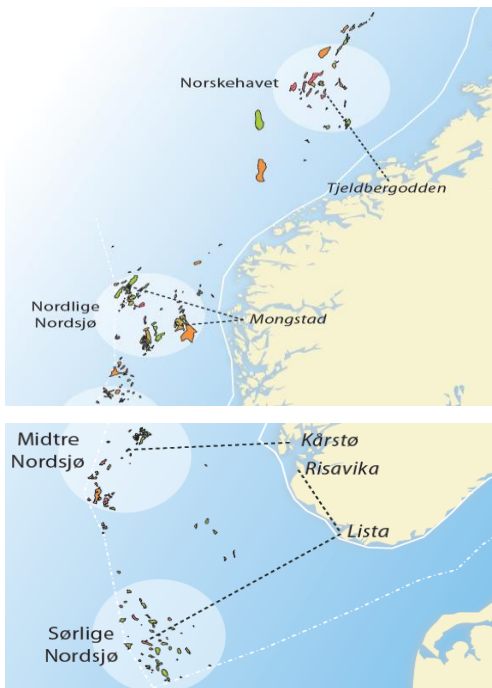
Selv om dette er skrevet med henblikk på det nordamerikanske kontinentet, er problemstillingen også relevant i Norge. Integreringen av nettet med de nordiske land gjør at

vi kan bli rammet av hendelser utenfor våre grenser. Dette sammen med svakheter i kraftnettet som er påpekt fra ulike hold, kan føre til en økt sårbarhet ved ekstremt sterke solstormer.

### Kraft fra land til sokkelen

Statnett har vurdert situasjonen slik at dersom sokkelen skal elektrifiseres i betydelig grad, vil det kreve store forsterkninger av nettet på land for å kunne transportere kraften til punktuttakene, dvs. de steder hvor offshorekabelen koples til kraftnettet (27). Forsterkninger må til for å redusere sårbarheten i elkraftforsyningen både på land og offshore. Ved en ekstrem kraftig solstorm og kraftig CME vil transformatorer langs kysten kunne oppleve større problemer pga. GIC, uttrykte Statnett i intervjuet. En kraftig GIC vil også kunne forplante seg i grunnen ut på sokkelen og skape problemer for bunnfaste plattformer som har jordet transformatorer. Her er det imidlertid stor usikkerhet. BP opplyste i intervjuet at oljeselskaper generelt har i sitt design av rom for sensitivt elektrisk utstyr på plattformene sikret utstyret mot utilsiktede elektriske strømmer.

Slike rom blir å betrakte som et Faraday's bur som blokkerer eksterne elektriske felt fra å påvirke utstyr på innsiden.



I Oljedirektoratets rapport "Kraft fra land til norsk sokkel" fremgår det at ved gjennomføring av elektrifisering av flere områder på sokkelen vil behovene for nettforsterkning innover i sentralnettet kunne bli betydelig. Store, nye punktuttak vil i tillegg kunne kreve nye kraftlinjer for å muliggjøre uttak av kraft i den aktuelle regionen. Det vil kunne oppstå flaskehalser i nettet som hindrer kraftlevering dersom det blir lagt opp til kraftforsyning til flere steder på sokkelen (27).

Fig. 27 Forslag til elektrifisering i Nordsjøen. Kilde: OD' rapport "Kraft fra land til norsk sokken"

#### **6.1.1 Konsekvenser for boring, produksjon og gasstransport ved strømbortfall**

Ved å gjøre innretningene avhengig av strømforsyning fra land stilles en sentral innsatsfaktor, kraftforsyning til innretningene, utenfor operatørens kontroll. Elektrifisering medfører samordning av energiforsyningen for flere innretninger. Dette fører til at konsekvensene av et kraftbortfall kan bli større (27). Ved områdeelektrifisering øker sårbarheten fordi flere

innretninger gjøres avhengig av samme kraftkilde, og i noen tilfeller av hverandre. Dette medfører at kraftbortfall kan stanse produksjonen fra flere innretninger og felt samtidig. På grunn av kostnadene vil det være mindre sannsynlig at det vil bli lagt inn ekstra redundans i kraftforsyningen til sokkelen ved at det bygges egen nødstrømsforsyning.

Noen plattformer vil være hel-elektrifisert som betyr at alt utstyr om bord drives med strøm fra land. Andre plattformer vil være del-elektrifisert ved at kun turbiner og generatorer som produserer elektrisk kraft til kraftkrevende utstyr, får landstrøm. For hel-elektrifiserte plattformer vil et brudd på strømforsyningen bety at alle operasjoner stopper og at kun funksjoner som er definert som sikkerhetskritiske, vil få nødstrøm fra aggregat om bord. Boring og produksjon er meget kraftkrevende aktiviteter og vil derfor bli berørt ved strømutfall fra land. I tillegg vil gasskompressorer som brukes til å holde produksjonen oppe når det naturlige trykket i reservoaret avtar, stoppe. Et strømbortfall fra land vil derfor få umiddelbare alvorlige driftsmessige konsekvenser på de innretninger som får landstrøm.

Når en nødnedstengning skjer på en produksjonsplattform vil all eksport av olje- og gass opphøre fordi anlegget trykkavlastes. Kompressorer som skal øke trykket i rørledningen som fører gassen inn til behandlingsanlegg som f. eks. Kollsnes, vil gå ned. På behandlingsanleggene og Gassco's ledningsnett vil imidlertid kraftforsyningen til gasskompressorene som trykker gassen videre til kontinentet, være sikret mot kraftbortfall ved at anleggene har egen nødstrømsforsyning som kan drives i lang tid, kom det fram i intervjuet med selskapet. Dersom et strømbortfall skulle ramme mottaksanleggene for gass på kontinentet vil det kunne forstyrre distribusjonen av gass i fordelingsnettet fram til forbruker.

Mottakerne av gass på kontinentet er avhengige av stabile leveranser og avvik fra kontraktsfeste leveranser straffes økonomisk. Leveringssikkerhet er derfor et viktig mål for norske petroleumseksportører og norske myndigheter. Bortfall av kraft fra land til norsk sokkel og transportsystemet kan derfor raskt gi negative ringvirkninger i Europa.

### **6.1.2 Konklusjon kapittel 6.1**

Det hersker en betydelig usikkerhet både i fagmiljøene, hos relevante myndigheter og selskaper mht hvilke alvorlige følger en ekstrem solstorm vil kunne ha for kraftforsyningen i Norge. Ingen vet hvor sterk en solstorm kan bli og hva den vil bestå av. NVE skriver i sin veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen at det er særlig viktig å ha

fokus på verste-falls-tilfeller og kaskadeeffekter som er flere uønskede hendelser som skjer etter hverandre.

Ved en elektrifisering av sokkelen vil det måtte anlegges store, nye uttakspunkt som øker sårbarheten og det vil kunne oppstå flaskehals på nettet. Flere felt vil bli avhengig av samme kraftforsyning, noe om øker sårbarheten. Ved en ekstrem kraftig solstorm vil transformatorer langs kysten kunne få problemer. På innretningene vil strømutfall fører til nedstengning av alle kraftkrevende operasjoner som boring, produksjon og transport av olje og gass. I rørledningsnett for gass til kontinentet og Storbritannia vil det ifølge Gassco fortsatt befinne seg store mengder komprimert gass som vil bli transportert til terminalene der. Gasskompressorene på land har egen nødstrømsforsyning som vil sikre gasseksporten i tilfelle av at kraftforsyningen bryter sammen. Et kraftutfall på land vil derfor få direkte følger for operasjonene på elektrifiserte innretninger på sokkelen som ikke har egen nødkraftforsyning som kan kompensere for tapet av landstrøm. Gassleveransene til kontinentet vil sannsynligvis ikke bli berørt i første omgang.

## **6.2 Satellittene og sårbarhet ved ekstreme solstormer**

Petroleumssektoren er en næring med stor strategisk og samfunnsøkonomisk betydning. Satellittbaserte navigasjons- og posisjoneringstjenester er kritiske innsatsfaktorer for utvinning av olje og gass på norsk sokkel. De globale satellittnavigasjonssystemene (GNSS) vil i de neste årene få økt strategisk og samfunnsøkonomisk betydning. Satellittnavigasjon brukt for posisjonering, navigasjon og presis tid (PNT) er kritiske tjenester i vårt høyteknologiske samfunn. Til nrk.no uttalte seniorforsker ved NRS Pål Brekke 29.2.2012 at en ekstrem solstorm som den vi hadde i 1859 er et skrekksenario og at en slik solstorm får etterspill som varer i flere måneder. Det vil potensielt være svært alvorlig, og kan komme til å påvirke systemer som bruker klokkesignaler fra satellittene.

Satellittene som ligger i baner rundt jorden i en høyde på ca. 200-1000 km, har en lav sender-effekt som gjør at de lett forstyrres enten av romvær eller ved vilde skadehandlinger hvor man bruker radioutstyr som kan jamme eller forstyrre signalene på en eller annen måte (42).

Solstormer har forårsaket skader på satellittflåten i milliardklassen de siste tiår. Under den såkalte Halloween-stormen i 2003 ble 2 satellitter ødelagt og 28 opplevde betydelige problemer. Figur 13 viser rapporterte feil på satellitter i 15-årsperioden fra 1993. Sannsynlig-

vis er det store mørketall og underrapportering av satellittfeil blant annet fordi operatørene ikke ønsker å vise sin sårbarhet (22). Det gjør det vanskelig både for myndigheter og forskere å danne seg et mer pålitelig bilde av situasjonen.

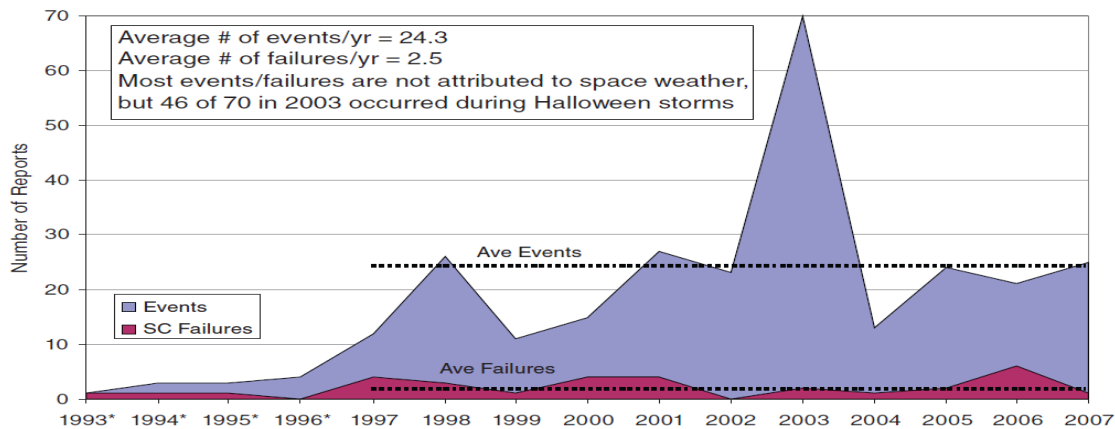


Fig. 13 Rapporterte feil på satellitter Kilde: USA – Severe Space Weather Events 2008

National Academy of Sciences (NAS) i USA skriver i sin rapport ”Storms from the sun” at de forventer en tiltakende konkurranse i rommet av tilbydere av ulike satellittjenester og at dette vil tvinge fram bedre, raskere og billigere satellitter. For å gjøre dem billigere må du gjøres lettere, noe som vil gå ut over muligheten til å lage solid strukturell beskyttelse. Dette vil gjøre dem mer sårbare for solstormer (22). Forsker Peter Neumann sa i en høring i Senatet i 1998 følgende: *”As-yet-undiscovered vulnerabilities may even be greater than those that are known today. Future disasters may involve vulnerabilities that have not yet been conceived, as well as those that are already lurking.”*

Ekstreme solstormer i kategori 5 kan skade satellitter på flere måter. Det kan f. eks. skje ved at sensitive paneler på utsiden blir overladet og kortslutter, elektriske kretser og styrings-systemer blir skadet, signaloverføringen til mottaker blir forstyrret og styring av satellitten vanskeliggjøres slik at den kommer ut av banen. Noen skader kan repareres, men andre er fatale, noen skader skjer umiddelbart, andre kommer etter hvert. En ekstrem sterk storm kan forkorte en satellitts levetid med flere år. Det er mindre sannsynlig at en ekstrem sterk solstorm vil kunne slå ut hele satellittflåten i det globale posisjoneringssystemet GNSS permanent, men den har potensial i seg til å ødelegge mange satellitter samtidig (19). Dersom det skjer vil det kunne ha alvorlige følger for de fleste samfunnsfunksjoner. Mest sannsynlig vil vi oppleve timer eller dager med alvorlige forstyrrelser pga. skader på satellitter. Nyere forskning antyder at effekten av svært kraftige solstormer kan bli langt mer enn kortsiktige skader. De kan gi en vedvarende stråling som kan drepe satellitter i ti år.

En ny rapport slår fast at vi kun har en varslingsstid på 30 minutter før vi vet om en gassky fra solen er kraftig nok til å ramme satellitter, navigasjonssystemer, telekommunikasjon og kraftforsyningssystemer.

I hvilken grad satellittsignalene påvirkes av solstormer avhenger av en rekke faktorer. Ved sterk solaktivitet oppstår stor turbulens i ionosfæren som kan forsinke signalene eller bøye dem. Bredspektret radiostøy kan føre til tap av signaler som kan vare i sekunder og minutter

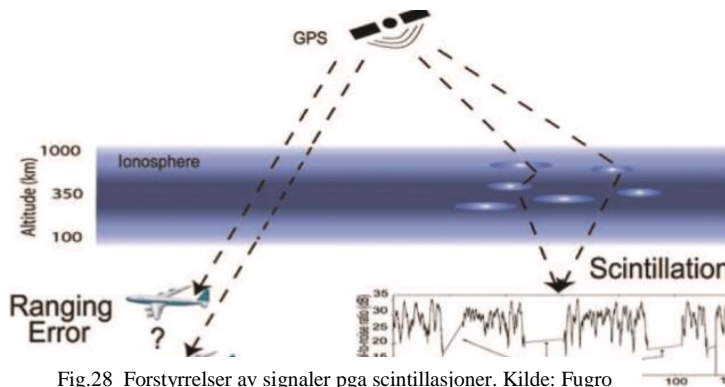


Fig.28 Forstyrrelser av signaler pga scintillasjoner. Kilde: Fugro

og resultere i at mottakerne kan miste sin eksakte posisjonsangivelse. Signaler kan da vise opp til 100 m feil posisjon.

Romvær har spesielle innvirkninger på radionavigasjonssignaler på høye breddegrader.

Ekspertene er uenige fordi de har liten erfaring og lite data fra tidligere kraftige solstormer. Trusselen solstormer har aldri vært større enn i dag fordi store deler av verden er avhengig av sårbar teknologi. Hvilke kaskaderende hendelser som vil oppstå og utarte seg vet vi lite om. NRS uttrykker at sårbarheten hos denne kritiske infrastrukturen vil øke med flere satellitter og i takt med økt aktivitet i nordområdene (7).

Signaler fra GPS-satellittene forstyrres hovedsakelig av 3 ulike typer romvær, radiostøy, scintillasjoner og protonskurer (42). NOAA's Space Weather Prediction Center har i tillegg til geomagnetiske stormer (tabell 4) utarbeidet tabeller med konsekvensene ved "solar radiation storms" og "radio blackouts". Nedenfor er et utdrag av disse tabellene gjengitt:

Radio Blackouts		
<b>R 5</b>	Extreme	<p><b>HF Radio:</b> Complete HF (high frequency**) radio blackout on the entire sunlit side of the Earth lasting for a number of hours. This results in no HF radio contact with mariners and en route aviators in this sector.</p> <p><b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals used by maritime and general aviation systems experience outages on the sunlit side of the Earth for many hours, causing loss in positioning. Increased satellite navigation errors in positioning for several hours on the sunlit side of Earth, which may spread into the night side.</p>

Tabell 6 Styrke og konsekvenser ved radio blackouts. Kilde: NOAA's Space Weather Prediction Center

Solar Radiation Storms		
<b>S 5</b>	Extreme	<p><b>Biological:</b> unavoidable high radiation hazard to astronauts on EVA (extra-vehicular activity); passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk. ***</p> <p><b>Satellite operations:</b> satellites may be rendered useless, memory impacts can cause loss of control, may cause serious noise in image data, star-trackers may be unable to locate sources; permanent damage to solar panels possible.</p> <p><b>Other systems:</b> complete blackout of HF (high frequency) communications possible through the polar regions, and position errors make navigation operations extremely difficult.</p>

Tabell 7 Styrke og konsekvenser ved solar radiation storms. Kilde: NOAA's Space Weather Prediction Center

### 6.2.1 Dynamisk posisjonering (DP) og solstормer

Petroleumsvirksomheten har stort behov for svært nøyaktig posisjonering og er en storbruker av GNSS til dynamisk posisjonering. Satellitnavigasjon inngår dessuten i sikkerhetssystemer for forebygging av ulykker og miljøskader.

Kvaliteten på GPS-signalene og tilgjengeligheten av disse på norsk kontinentalsokkel er generelt god, men i nordområdene støter man på flere utfordringer bl. a. fordi elevasjonen er lav slik at signalene har en lenger vei å gå gjennom ionosfæren. Den teoretiske begrensningen av rekkevidden til geostasjonære satellitter er 81.3° nord, men ustabilitet kan forekomme i områder så langt nede som 70° nord under spesielle forhold (46). Den vertikale nøyaktigheten er dårlig fordi GPS-satellitten ikke lenger er rett opp på himmelen (44). Tap av eller forstyrrelser i satellittsignaler kan være avgjørende for nøyaktigheten og påliteligheten til satellittposisjonering når man bruker enfrekvens GNSS-mottakere. Tofrekvens mottakere eliminerer den ionosfæriske forsinkelsen og gir mer nøyaktig posisjon (42). Feilmarginen kan reduseres ned mot centimeternivå ved å bruke flere satellittbaserte støttesystemer samtidig. Det finnes selskaper som tilbyr slike tjenester. National Research Council mener imidlertid at 2 uavhengige posisjoneringssystemer ikke vil gi noen garanti for pålitelighet i en ekstrem solstorm.

Raske endringer ionosfæren kalt scintillasjoner skjer ofte, spesielt når solaktiviteten er høyest. Ved å bruke signaler fra minst 4 satellitter oppnås vanligvis tilstrekkelig redundans og sårbarheten blir liten (43). Det er utarbeidet 3 klasser for dynamisk posisjonering (DP) som kreves for ulike operasjoner. (Tabell 8) DP-klasse 1 krever to uavhengige referansesystemer for posisjonering. DP-klasse 2 og 3 krever bruk av minimum tre ulike og innbyrdes uavhengige referansesystemer. To av disse kan være differensielle GNSS-systemer som opereres uavhengig. Dersom satellittsignaler faller ut vil det bety at begge disse systemene vil slutte å fungere og man har i praksis bare ett satellittbasert system som virker.

DP-klasser	Konsekvenser av tap av posisjon	Krav til redundans
Klasse 1	Ingen personskader. Små materielle skader og mindre forurensninger.	For visse typer utstyr, inkludert posisjonsreferansesystemer.
Klasse 2	Skade på personell, forurensning, materielle skader med store økonomiske konsekvenser.	For alle typer utstyr.
Klasse 3	Tap av menneskeliv, store forurensninger, materielle skader med alvorlige økonomiske konsekvenser.	For alle typer utstyr. Krav om fysisk adskillelse av redundante komponenter.

Tabell 8 Oversikt over DP-klasser og krav til redundans. Kilde: Norsk Romsenter rapport "Vurdering av sårbarhet..."

Skal sikkerheten opprettholdes ved DP-avhengige operasjoner er man avhengig av lokale, redundante systemer for posisjonsreferanser dersom satellittsignaler skulle gå tapt. Det er utviklet ulike systemer som skal kunne ivareta driftssikkerheten ved bortfall av satellitt-



signaler. Slike systemer er akustiske systemer, gyrokompass, treghetssystemer, mikrobølgesystemer m.fl.

Ved en ekstrem solstorm, kategori 5, (tabell 6 og 7) vil satellittnavigasjonssignaler kunne bli borte i flere timer eller gi feilvisning. Det vil kunne få alvorlige følger for dypvanns bore-rigger som er avhengig av DP for å ligge på lokasjon. Slike plattformer og boreskip har vanligvis 2 eller flere mottakssystemer for å sikre redundans, men dersom forstyrrelsene i ionosfæren er sterke nok, vil mottakeren miste låsingen av signalene for kortere eller lengre tidsrom. Store bevegelser i fartøyet kan føre til at antenner "mister" signaler fra satellitter, eller det kan til og med føre til at antennen "låser" seg til feil satellitter (46).

En flytende boreplattform i boremodus vil kunne oppleve situasjonen dramatisk dersom plattformen plutselig mister posisjoneringen og begynner å drive av lokasjonen. Dette er omtalt i scenarioet i kapittel 4.9 med en boreplattform i Barentshavet. I slike situasjoner kan f. eks. borerøret slites av og man kan miste forbindelse til brønnen og muligheten til å kontrollere den. Selv om satellittsignalene er intakte, kan de være bøyd av scintillasjoner i ionosfæren slik at de kan ha en misvisning på opptil 100 m. Det betyr at man står i fare for ikke å oppdage raskt nok at plattformen driver av.

Alvorligheten ved bortfall av satellittsignalene vil avhenge av flere forhold, bl. a. vind og strømmer, vanddypet, sikten, nærheten til andre installasjoner og naturen av den pågående operasjon. I tilfelle tap av satellittsignaler er man avhengig av lokale, redundante systemer for posisjoneringsreferanse for å kunne opprettholde sikkerheten ved DP-operasjoner.

### **6.2.2 Kommunikasjon og solstormer**

Kommunikasjons- og radionavigasjonssystemer er spesielt utsatt for forstyrrelser i våre nordområder. Radiobølger blir forstyrret av nordlys og elektronskyer og kan påvirke radiokommunikasjon som HF-radio, VHF-sambandet og satellittkommunikasjon. Da stråling fra sola bruker ca. 8 min til å nå jorden, er det vanskelig og varsel satellittnavigasjonsbrukere om faren for radiostøy. Radiokommunikasjon med land og andre innretninger og fartøyer vil kunne falle ut eller svekkes vesentlig i kortere eller lengre tid. Beredskapsmessige funksjoner som er avhengig av ekstern kommunikasjon, vil kunne svekkes. Som tabellene 6 og 7 ovenfor viser vil en ekstrem solstorm i kategori kunne slå ut HF radiokommunikasjon på hele jordens solside i 1-2 dager og påvirke andre radiosamband. I polare strøk vil man kunne oppleve fullstendig blackout på HF. Det eneste satellittkommunikasjonssystemet som i dag gir full



dekning i Arktis er Iridium. MARINTEK som har ledet flere prosjekter med fokus på kommunikasjon i Arktis, har uttrykt at dagens kommunikasjonsinfrastruktur ikke er tilstrekkelig for framtidens maritime operasjoner og den økende aktiviteten i Arktis (46).

På norsk kontinentalsokkel benyttes et lukket fiberkabelnett som de fleste bunnfaste plattformer er tilknyttet. Nettet utgjør totalt ca. 2500 km og har nærmere 170 installasjoner tilknyttet på norsk og britisk sektor. Teleoperatøren Tampnet har ikke erfart noen tekniske eller driftsmessige problemer som kan knyttes til solstormaktivitet. Fiberkabelsystemet har en GPS-antenne for å ta ned klokkesignal for kjøring av synkroniseringsklokker. Denne funksjonen kan være sensitiv for solstormer. For å redusere sannsynligheten for problemer dersom GPS-signalet skulle falle ut, har systemet en internklokke som vil kunne sikre riktig signal en stund. Skulle kraftforsyningen via nettet falle bort, vil batterier kunne serve nettverket opptil ett døgn. Deretter vil et strømsaggregat kunne skaffe strøm i nødvendig tid.

Tampnet drifter også ca. 40 radiolinjer som tilbyr punkt-til-punkt-kommunikasjon til innretninger som ligger opptil 60 km i radius. Disse radiolinjene forstyrres i svært liten grad av solstormaktiviteter da radiolinjene er horisontale.

Normalt legges fiberoptiske kabler på havbunnen som en integrert del av kraftkablene fra land og ut til innretningene. Optiske kabler over en viss lengde krever forsterkere for å kompensere for tap av signalstyrke. Disse forsterkerne får strøm fra terminaler i begge ender av kabelen. Når slike kabler har en metallisk leder som forsyner forsterkerne med strøm, vil disse kunne være mottakelige for grunnindusert strøm. Tampnet vurderer ikke solstormaktivitet til å representere noen vesentlig risiko for stabiliteten av dette kommunikasjonsnettverket.

### **6.2.3 Logistikkoperasjoner og solstormer**

#### Helikopteroperasjoner på norsk sokkel og bruk av GPS

Helikoptertransporten i oljevirksomheten er av største viktighet for næringen både sikkerhetsmessig og operasjonelt. Det er mange faste flyruter mellom land og installasjoner og felt hvor GPS brukes. Det brukes radar til å overvåke flygningen når det er dekning, men utenfor kontrollert luftrom overvåkes flygingen av informasjonssystemet Inmarsat Automatic Dependent Surveillance. Ved landing på plattformer brukes radiofyr, radar og visuell navigasjon.

På grunn av mangelfull utbygging av bakkebasert navigasjonsinfrastruktur utenfor Vest-Finnmark er man avhengig av å bruke GPS ved flygning til plattformer. Tap av satellittsignaler for kortere eller lengre tidsrom vil resultere i avbrudd i funksjonaliteten for GPS og andre satellittbaserte systemer. Dersom satellittsignalene skulle falle bort under flyging er man avhengig av å kunne bruke annet navigasjonsutstyr (kompass, fartsmåler, radar og høydemålere) inntil satellittsignalene kommer tilbake eller at helikopteret kommer under dekning av radiofyr for innflyging på plattformer (42).

Om helikoptertrafikk på Svalbard og i Barentshavet skriver Norsk Romsenter følgende i sin rapport "Vurdering av sårbarhet ved bruk av globale satellittnavigasjonssystemer i kritisk infrastruktur": *"Ustabile forhold i ionosfæren som skyldes romvær kan periodevis gjøre satellittnavigasjon sårbar i polarområdene. Nøyaktigheten i vertikalplanet ved bruk av GPS er dessuten noe redusert i polarområdene. Svalbard og deler av Barentshavet nord for 70 °N ligger utenfor det offisielle dekningsområdet for EGNOS. For operasjoner med helikopter i disse områdene benyttes i dag GPS med RAIM. Helikopteroperasjoner på Svalbard er i dag underlagt restriksjoner på grunn av mangelfullt utbygget bakkeinfrastruktur for radionavigasjon. Ved tap av GPS-signaler er tilgang til bakkebasert navigasjonsinfrastruktur begrenset til nærområder ved flyplassene i Longyearbyen, Ny Ålesund, Svea og ved helikopterlandingsplassen i Barentsburg. Dersom tap av satellittsignaler inntreffer under flyging utenfor disse områdene, er fortsatt flyging i dag basert på navigasjonsutstyr om bord i helikoptrene samt visuell navigasjon."*

Som belyst i scenarioet og drøftet i kapittel 6.2.2 vil all luftfart spesielt i nordområdene kunne oppleve store problemer med kommunikasjonsutstyret. En ekstrem solstorm vil derfor kunne lamme helikoptertrafikken på norsk sokkel i lengre perioder.

#### Maritime operasjoner på sokkelen og bruk av GPS

GNSS-mottaker er i dag det viktigste posisjoneringssystemet på de fleste typer fartøyer. Pålitelige satellittsignaler er spesielt viktig for fartøyer som nærmer seg en plattform da en kollisjon kan få alvorlige konsekvenser både mht avbrutt operasjon og skader på utstyr. På moderne fartøyer er systemer om bord i stor grad integrert noe som kan føre til en akutt faresituasjon dersom GPS-signaler plutselig skulle bli borte. Dette stiller store krav til operatøren på broen mht å få oversikt over hvordan ulike typer navigasjonsutstyr er påvirket og hvilke alternativer som finnes.

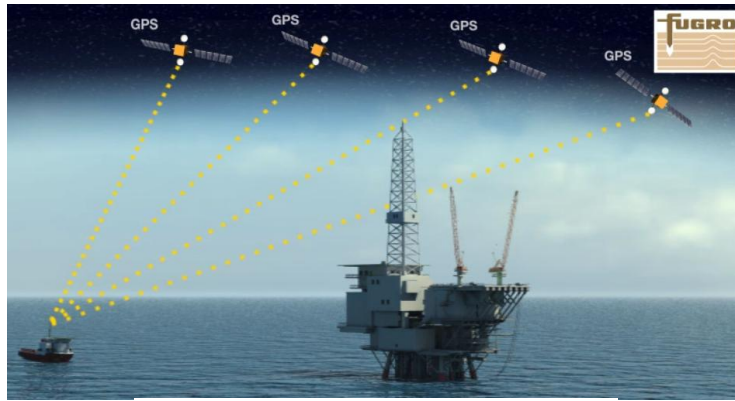


Fig. 29 Navigasjonssatellitter. Kilde: Fugro

En ulykke utenfor Brasil i juli 2005 da et fartøy skulle levere borerør, demonstrerer dette (45). GPS-signalene forsvant plutselig og fartøyet klarte ikke å holde posisjonen selv om man forsøkte å gjøre det manuelt. Det var store dønninger og fartøyet kolliderte med et av beina til riggen. Hendelsen avdekket at mannskapet hadde for liten kunnskap om DP-systemet og hvordan man kan endre operasjonsmodus for å kunne operere sikkert. En slik hendelse er også beskrevet i scenarioet.

Skipstrafikken i Barentshavet er stor og økende pga. turisme, kommersiell skipstrafikk, oljevirkosomhet og fiske. Nordøstpassasjen kan bli en viktig trafikkledd mellom Nord-Amerika, Europa og Asia om noen år. Beparelsene er svært store i forhold til å gå gjennom Suez eller via Sør-Afrika. Navigasjon og kommunikasjon er avgjørende for sikkerheten både for skipene, petroleumsaktiviteten og for den generelle beredskapstjenesten i nordområdene.

#### 6.2.4 Andre konsekvenser ved ekstreme solstørmer

##### Retningsboring

Oljeindustrien bruker geomagnetisk feltinformasjon for å kunne drive retningsboring på sokkelen. Slike operasjoner krever kontinuerlig retningsmålinger for å kunne føre borekronen mot det rette stedet i reservoaret. Metoden som kalles Measurements While Drilling (MWD) er avhengig av jordens magnetfelt i brønnen. Ved en magnetisk storm vil variasjonene i jordens magnetfelt bli mye større og kan måles i grader. For å fjerne denne feilkilden er det tatt i bruk metoder der en bruker data fra magnetiske observasjonspunkter som kan lastes ned på plattformen omtrent i sanntid og hjelpe boremannskapet til å styre boreoperasjonen. På grunn av de store avstandene i Barentshavet er det ikke mulig å bruke referansestasjoner på land til å foreta nøyaktige målinger når det er solstørmer. Ved geomagnetiske stormer vil det derfor bli betydelig feilvisning i måleavlesningene på

magnetometerinstrumenter. Dette kan ha stor betydning hvis en borer nær et reservoar eller andre brønnbaner ved at retningen på borekronen blir feil.

I sin årlige rapport "Sikkerhet – status og signaler" for 2013-2014 skriver Petroleumstilsynet (Ptil) i kapitlet "Barske belastninger" om magnetiske forstyrrelser av retningsdata ved boring på grunn av elektriske strømmer i ionosfæren og at problemet blir større dess lenger nord man kommer. Magnetiske forstyrrelser gir usikkerhet i forhold til godheten av målte retningsdata. Ptil understreker betydningen av å ha gode retningsdata for å kunne plassere brønnbaner riktig, og for å kunne gjenfinne brønnbanen ved boring av en eventuell avlastningsbrønn. Det foregår et arbeid med å utvikle utstyr og metoder som kan gi mer nøyaktige retningsdata. Videre skriver Ptil om viktigheten av å ha spesielt tilpassede operasjonelle prosedyrer for å håndtere de utfordringer man har i nordområdene på grunn av blant annet romværaktivitet.

#### Korrosjon i olje- og gassrørledninger

Geomagnetisk induerte strømmer (GIC) påvirker olje- og gassrørledninger. Flere rapporter, bl. a. Solar Storm Threat Analysis beskriver hvordan korrosjonsraten i rørledninger øker ved GIC, spesielt ved høye breddegrader. Korrosjonsskadene kan føre til materialbrudd og større lekkasje (19). Det er gjort målinger i Finland som viser høye verdier. Det er spesielt flenser som er utsatt for slik korrosjon. Olje- og gassrørledningene i Norge er i all hovedsak lagt på eller under havbunnen og er underlagt periodisk innvendig inspeksjon. Alle skjøter er sveiset slik at man unngår problemet med oppbygging av elektrisk potensial. I følge Gassco vil utvendige offeranoder plassert på rørledningene forebygge korrosjon og gi dem nesten uendelig levetid. Rørledninger på land er påført spenning for å forebygge korrosjon.

#### **6.2.5 Konklusjon kapittel 6.2**

Satellittbaserte navigasjons- og posisjoneringstjenester er kritiske innsatsfaktorer i olje- og gassvirksomheten og betydningen vil øke ytterligere. Sårbarheten i denne kritiske infrastrukturen vil øke med flere satellitter og i takt med økt aktivitet i nordområdene. En ekstrem solstorm i kategori 5 vil kunne skade satellitter både temporært og permanent. Den vil forstyrre signaloverføringen slik at mottakerne kan miste sin eksakte posisjonsangivelse og gi en misvisning på opptil 100 m. Det kan være kritisk i situasjoner der innretninger som benytter dynamisk posisjonering for å holde seg på lokasjonen, beveger seg utenfor toleransene. I slike tilfeller kan man slite av borestrengen og ødelegge sikkerhetskritisk utstyr på havbunnen, noe som kan føre til alvorlige ulykker og miljøutslipp. Tap av eller forstyrrelser i satellittkommunikasjon vil også ha stor betydning for operasjonene i

petroleumsvirksomheten. HF og VHF-sambandet vil falle ut i 1-2 dager på jorden solside eller bli kraftig forstyrret i slike solstormer og ha alvorlige konsekvenser for beredskapsfunksjoner.

For kommunikasjon via fiberoptiske kabler vil en ekstrem solstorm sannsynligvis ha liten effekt. Det er lagt inn barrierer og redundans i systemet som betjener de aller fleste produksjonsinnretningene slik at et strømbortfall fra land til sokkelen ikke vil påvirke det.

Radiolinjer med punkt-til-punkt-kommunikasjon mellom plattformer vil i liten grad bli forstyrret av kategori 5-stormer.

Helikopteroperasjonene på sokkelen vil i en ekstrem solstorm oppleve avbrudd i funksjonaliteten for GPS og andre satellittbaserte systemer. Dette gjelder spesielt i nordområdene hvor man da må bruke annet navigasjonsutstyr. HF og VHF-sambandet vil også kunne falle ut og kunne stanse operasjonene.

For maritime operasjoner vil bortfall av eller forstyrrelser i GPS-signaler kunne få alvorlige konsekvenser som skipskollisjoner eller sammenstøt med plattformer ved lasting og lossing. I nordområdene hvor skipstrafikken er økende, er pålitelige navigasjons- og posisjonerings-signaler fra satellitter av avgjørende sikkerhetsmessig betydning.

Ekstreme solstormer vil også forstyrre jordens magnetfelt og vanskeliggjøre retningsboring som baserer seg på jordens magnetfelt i brønnene. Misvisningen vil bli svært stor, spesielt i nordområdene.

Det kan være en grunn til bekymring at spesielt satellittinfrastrukturen og dens tjenestene i stor grad har fått utvikle seg uten vesentlig innblanding og kontroll fra myndighetene. Det kan ha bidratt til økt sårbarhet og mindre fokus på forebyggende tiltak og konsekvensreduksjon.

For rørledninger som hovedsakelig ligger på eller under havbunnen, vil slike solstormer ikke gi noen nevneverdig økt korrosjonseffekt.

## **7 Hovedkonklusjon**

Oppgavens formål har vært å undersøke hvordan en ekstrem solstorm kan påvirke petroleumsvirksomheten i Norge. Oppgavens problemstilling er:

*100-årsbølger fra verdensrommet. Hvordan kan neste ekstreme solstorm true petroleumsvirksomheten i Norge?*

For å kunne besvare problemstillingen har jeg samlet og analysert data fra en rekke kilder og gjennomført flere intervjuer. Analysen har konsentrert seg om de to kritiske infrastrukturene kraftforsyningen fra land til sokkelen og satellittjenestene og hvordan disse forstyrrelses og påvirker petroleumsaktivitetene boring, produksjon og olje- og gasstransport i rørledninger. Noen konsekvenser for kommunikasjonsfunksjonen og logistikkjenestene er også omtalt.

Sårbarheten på høyteknologisk utstyr ved sterke solstormer er stor og økende i takt med den globale teknologiske utviklingen og integrasjonen av tekniske systemer. Kraftforsyningen er av fundamental viktighet i vårt samfunn, og sammen med satellittene som levere signaler for kommunikasjon, navigasjon og posisjonering, utgjør disse to kritiske infrastrukturer. Lengre nedsatt funksjonalitet og sammenbrudd i disse strukturene vil få svært store konsekvenser og føre til alvorlige økonomiske tap og sikkerhetsrisiko i petroleumsvirksomheten.

### **7.1 Konklusjoner fra analysen**


Dette er en oppstilling av de 15 hovedkonklusjonene fra den kvalitative analysen:




1. Sammenbrudd og/eller forstyrrelser i strømforsyningen i sentralnettet vil resultere i en rekke følgehendelser som vil få alvorlige konsekvenser for elektrifiserte plattformer. Det er et potensial for at hele strømforsyningen i Norge kan falle ut samtidig eller i enkelte regioner som vil kunne påvirke kraftforsyningen til enkelte felt og grupper av felt med samme infrastruktur. Varigheten av strømbruddet kan bli dager og uker.
2. Elektrifiserte plattformer vil ikke kunne produsere olje og gass og all produksjons-boring og brønnvedlikehold vil stoppe. Pumping av gass og olje til mottaksterminaler på land i Norge vil stanse. Bemanningen på plattformene vil bli redusert til et minimum i perioden dersom strømstansen antas å vare flere dager.
3. Logistikkfunksjoner som f. eks. basetjenester og helikoptertransport vil bli berørt umiddelbart ved at utstyr som er avhengig av elektrisk kraft, vil gå ned hvis ikke det finnes redundante kraftsystemer.

4. De plattformer som har et fiberoptisk kommunikasjonsnettverk seg imellom og til landet vil sannsynligvis ikke oppleve vesentlige forstyrrelser dersom nettet støttes av nødstrøm.
5. Eksport av gass til mottaksterminalene på kontinentet og i Storbritannia vil kunne eksportere så lenge det er tilgjengelig gass i lagerhaller på land eller som er pakket i rørledningsnett. Hvor lenge det vil være gass tilgjengelig avhenger av forbruket og fyllingsgraden i rørsystemet. Gasskompressorene i rørledningen har nødstrøm og kan operere på ubestemt tid.
6. Dersom mottaksterminalene for gass i Europa faller ut pga. strømbortfall, men Norge ikke er berørt, kan gassproduksjonen fra sokkelen pågå så lenge det er mulig å pakke gassen i rørsystemet og tilknyttede lagerfasiliteter.
7. Viktige informasjonskanaler og rikskringkastere som radio og TV vil kunne få store forstyrrelser og problemer med å sende hvis det ikke finnes nødstrøm. Informasjonsbehovet generelt vil bli enormt og kommunikasjonskanaler som fungerer vil kunne falle ut pga. overbelastning.
8. Plattformer med egen strømforsyning vil ikke oppleve forstyrrelser bortsett fra i logistikkfunksjoner og i kommunikasjonen som går via satellitt og HF- og VHF-nettet som har begrenset rekkevidde og vil få betydelig reduksjon i kvalitet.
9. Posisjonerings- og navigasjonssatellittene vil kunne skades eller slutte å fungere temporært eller permanent. GPS-signalene kan bli borte, bli ustabile og/eller gi stor misvisning pga. forstyrrelser i ionosfæren. Dette kan føre til kritiske situasjoner for DP-avhengige operasjoner med skip og borerigger, kollisjoner og farlige operasjoner der man er avhengig av presisjonssignaler fra satellitter.
10. Hovedredningssentralene og andre aktører kan bli vesentlig hemmet i sin virksomhet pga. telefoni faller ut og nødnummere slutter å fungere. Dette kan redusere mulighetene for å drive søk og redning offshore med helikoptere.
11. Retningsboring kan ikke utføres pga. store forstyrrelser i jordens magnetfelt over flere dager hvis man ikke har referansedata fra magnetometre på land. Virkningene er spesielt alvorlige i nordområdene.
12. Kommunikasjonssatellittene vil kunne skades eller slutte å fungere permanent eller temporært. Denne infrastrukturen er i utgangspunktet stabil, men utgjør en mulig felles feilkilde for mange tjenester. Kommunikasjon over satellittnettverket vil også kunne falle ut pga. overbelastning.

13. Værvarslingstjenesten vil kunne falle ut dersom de riksdekkende kanalene går ned og satellittene skades eller ødelegges. Dette har stor betydning for planlegging og gjennomføring av maritime operasjoner og boreoperasjoner fra flytende innretninger.
14. Korrosjon i rørledninger kan akselerere kraftig under sterke solstormer og påfølgende elektriske strømmer i grunnen (GIC), men skadevirkningene vil være av liten betydning på sokkelen.
15. Skipstrafikken i Barentshavet er stor og økende pga. turisme, kommersiell skipstrafikk, oljevirkosomhet og fiske. Navigasjon og kommunikasjon er avgjørende for sikkerheten både for skipene, petroleumsaktiviteten og for den generelle beredskapstjenesten i nordområdene.

## 7.2 Sannsynlighetsvurdering for ekstrem solstorm kategori 5







	Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor	Forklaring
Det foreligger en kjent mulighet for at en ekstremt sterk solstorm i kategori 5 vil inntreffe før eller senere.						Det er enighet i fagmiljøer om at slike ekstreme solstormer vil inntreffe igjen, men <u>når</u> vet ingen. Frekvensen anslås til en gang hvert 100-500 år. Siste gang var i 1859. Eksperter anslår en sannsynlighet på 12 % for at dette skal skje i løpet av de neste 10 år. Bakgrunnskunnskapen er svak pga. kort observasjonstid og få tilfeller.

Tabell 9 Liten usikkerhet  Moderat usikkerhet  Stor usikkerhet 

Nedenfor gis en oppstilling i 2 tabeller av de ulike konsekvenser ved strømbortfall og tap av posisjonerings- og navigasjonssignaler, satellittkommunikasjon og atmosfæriske forstyrrelser.







### 7.3 Konsekvensvurdering - bortfall av strøm fra land til sokkelen

	Konsekvenstype	Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor	Forklaring
1	Samtlige elektrifiserte plattformer på sokkelen mister landstrømmen fordi hele sentralnettet og landet mister strømforsyningen.						Alle kraftkrevende operasjoner på elektrifiserte innretninger på sokkelen og pumping av gass og olje til mottaksterminaler på land stopper. Varigheten av strømbruddet varierer i ulike regioner, men kan bli fra timer til uker. Det hersker stor usikkerhet om sårbarheten i nettet og følgene av en ekstrem solstorm.
2	Enkelte elektrifiserte plattformer og felt på sokkelen mister landstrømmen fordi strømforsyningen i enkelte regioner faller ut.						Alle kraftkrevende operasjoner på berørte elektrifiserte innretninger og pumping av gass og olje til mottaksterminaler på land stopper. Varigheten av strømbruddet vil variere i ulike regioner, men kan bli timer og uker.
3	Stopp i logistikkoperasjoner til sokkelen i regioner som mister strømmen.						Helikopteroperasjoner og basetjenester til offshore forstyrres så lenge strømmen er borte. Utskrifning av mannskaper og tilgang på varer og tjenester er vanskelig.
4	Fiberoptisk kommunikasjonsnettverk mellom plattformer og land faller ut.						Plattformer med fiberoptisk kommunikasjonsnettverk vil sannsynligvis ikke få vesentlige forstyrrelser da nettet støttes av nødstrøm og er ikke direkte eksponert for solstormer.
5	Eksporten av gass i rørledninger fra norske behandlingsanlegg til kontinentet og Storbritannia stopper.						Hendelsen inntreffer i november, en årstid med høyt gassforbruk på kontinentet. En stopp i gassleveransen fra sokkelen fører etter noen dager til tømning av lagerbeholdningen og stans i leveransene.
	<b>Samlet vurdering av konsekvenser tabell 10</b>						<b>Totalt sett store til svært store konsekvenser med moderat usikkerhet.</b>

Tabell 10 Forklaring: Liten usikkerhet  Moderat usikkerhet  Stor usikkerhet 

## 7.4 Konsekvensvurdering - bortfall av og forstyrrelser i GPS-signaler m.v.

	Konsekvenstype	Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor	Forklaring
1	Alle posisjonerings- og navigasjonssatellittene i faller ut.						Alle GPS-signaler faller ut. Det vil føre straks til kritiske situasjoner for DP-avhengige operasjoner med skip og borerigger. Operasjonen må stanse. For operasjoner som er avhengig av GPS presisjonssignaler, vil det kunne skje avdrift fra lokasjon, kollisjoner mellom skip og mellom innretninger og skip, miljøutslipp og andre alvorlige situasjoner. Bortfallet av signalene kan vare fra minutter til flere dager.
2	Noen posisjonerings- og navigasjonssatellitter faller ut eller får nedsatt ytelse og funksjoner.						GPS-signaler forsvinner eller forstyrres. Kan føre til kritiske situasjoner for DP-avhengige operasjoner med skip og borerigger. Operasjoner må stoppes. I operasjoner der man er avhengig av GPS presisjonssignaler, vil DP-rigger kunne drive av lokasjon, det kan skje kollisjoner mellom skip og mellom innretninger og skip, miljøutslipp og andre alvorlige hendelser. Bortfallet av satellittsignalene kan vare fra minutter til timer.
3	Stopp i logistikkoperasjoner til sokkelen pga. bortfall av GPS-signaler.						Forsyningsbåter er avhengig av pålitelige GPS-signaler for posisjonering og navigasjon. Hvis signalene forsvinner eller er ustabile vil maritime operasjoner hindres. Helikoptertrafikk og søk/redningsoperasjoner vil hindres eller få nedsatt funksjonalitet.
4	Kommunikasjons-satellittene skades eller slutter å fungere.						Satellittinfrastrukturen for kommunikasjon er sårbar i ekstreme solstormer. Enkelte nettverk vil også kunne falle ut pga. overbelastning da mange etterspør kriseinfo.

5	Radio- og TV-kringkastere faller ut.				●		Innbyggernes behov for informasjon om krisen og håndtering av denne vil være enorm. Mulighetene for myndighetene til å nå ut til næringen er begrenset. De kommunikasjonskanaler som fungerer, vil kunne falle ut pga. overbelastning. Værvarslingstjenesten er kritisk for maritime operasjoner og helikoptertjenester.
6	HF og VHF-sambandet faller ut.			●			HF og VHF-sambandet vil falle ut i 1-2 dager eller bli kraftig forstyrret og få alvorlige konsekvenser for beredskapsfunksjoner. Det er særlig i nordområdene at problemene oppstår. Utfallet på dagsiden er knyttet til flaren, men når CME'en treffer vil problemer med HF og VHF være globale, og vare så lenge stormen varer (dvs. 1-2 dager).
7	Retningsboring kan ikke utføres i nordområdene.		○				Pga. store forstyrrelser i jordens magnetfelt spesielt i nordområdene over flere dager vil retningsboring der måtte stoppes.
8	Rørledninger påføres korrosjonsskader.	○					Neglisjerbart
9	Skade på elektrisk utstyr på bunnfaste plattformer.		●				Hvorvidt GIC vil kunne skade utstyr på bunnfaste plattformer og elektrifiserte plattformer er lite omtalt i litteraturen.
10	Kollisjoner mellom skip og petroleumsinnretninger og tilløp til alvorlige hendelser i Barentshavet pga. bortfall av stabile og pålitelige GPS-signaler.				●		Skipstrafikken i Barentshavet er stor og økende pga. turisme, kommersiell skipstrafikk, oljevirkosmhet og fiske. Stabile og gode posisjonerings- og kommunikasjonssignaler er avgjørende for sikkerheten og beredskapstjenesten i nordområdene.
	<b>Samlet vurdering av konsekvenser tabell 11</b>				●		<b>Totalt sett store konsekvenser med moderat usikkerhet.</b>

Tabell 11 Forklaring: Liten usikkerhet ○ Moderat usikkerhet ● Stor usikkerhet ●

## 7.5 Videre forskning

Ekstreme romværshendelser er lavfrekvent/høykonsekvens hendelser som vil kreve en helt annen oppmerksomhet enn vanlige solstormer med tanke på skadebegrensning. Siden systemer så fort blir avhengig av ny teknologi på en måte som er ukjent og kanskje uventet for både utviklere og brukere, vil sårbarheter i en del av et større system ha en tendens til å spre seg til andre deler av systemet. Derfor er det vanskelig å forstå og å forutse konsekvensene av slike framtidige LF/HC-hendelser. På samme måte er det vanskelig å jobbe med forebyggende tiltak. Stephan Lechner, Institute for the Protection and Security of the Citizen, EU-kommisjonen, fortalte forskning.no at vi ikke vet nøyaktig hvor mye av teknologien og systemene rundt oss som er avhengig av fungerende satellitter. Det er slike andrelinjekonsekvenser vi vet minst om og som kan svi mest, uttalte han. Forskere blir kanskje i noen tilfeller beskyldt for å overdramatisere risikoen for å få mer midler til forskning, mens satellitteiere og involverte leverandører underkommuniserer sårbarheten i denne kritiske infrastrukturen av frykt for å miste ”business”.

Problemstillingen tilkjennegir en erkjennelse av at jorden før eller senere vil bli rammet av en ekstrem solstorm. Egentlig venter vi på den neste som kan være i samme størrelsesorden eller sterkere enn stormen i 1859. Ekspertene har vurdert en sannsynlighet for at et slikt scenario vil inntreffe innen 10 år til 12 %. Slike naturfenomener inntreffer med ujevne mellomrom og forskere og fagfolk følger nøye med. Det gjøres mye for å utvikle systemer for tidlig varslings. Solen observeres av eksperter kontinuerlig og satellitter er plassert langt ute i rommet for å se hva som skjer til og med på solens bakside.

Denne masteroppgaven har på overordnet nivå analysert de konsekvenser en ekstrem solstorm kan ha for petroleumsvirksomheten i Norge. Oppgaven bør følges opp med videre analyser for å kartlegge hvilke andrelinjekonsekvensene/følgeskader som kan forventes i oljeindustrien i slike hendelser og hvordan risikoen kan reduseres.

## 7.6 Noen refleksjoner til slutt

Å skrive denne oppgaven har vært en spennende ”reise”, en oppdagelsestur i ukjent terreng. Jeg har satt meg inn i nytt stoff og møtt kunnskapsrike mennesker i ulike miljøer som har åpnet mine øyne for en ukjent verden som både er imponerende og skremmende.

Jeg kjenner meg både takknemlig og glad for at jeg har hatt denne mulighet i godt voksen alder til å gjennomføre masterstudiet i risikostyring og sikkerhetsledelse ved Universitetet i Stavanger. Det er sunt og nødvendig å bryne seg på ulike utfordringer i livet og strebe etter ny kunnskap og erkjennelse.

## Vedlegg 1

### TEORI OM ROMVÆR OG SOLSTORMER

Jorden er i størrelse knapt et støvfnugg i universet. I forhold til jorden har solen en masse som er 330 000 ganger større. Avstanden mellom jorden og solen ca. 150 millioner kilometer, nesten 400 ganger lengre enn til månen. Mens sollyset, som beveger seg med en fart på ca. 300 000 km i sekundet, bruker 1,3 sekunder fra månen til jorden, bruker det 8 minutter og 20 sekunder på å tilbakelegge avstanden mellom solen og oss. Avstanden mellom solen og jorden er en grunnenhet i astronomien og kalles en astronomisk enhet (på engelsk "Astronomic Unit" AU). Avstanden fra solen til den ytterste planeten i solsystemet, Neptun, kan være inntil ca. 40 AU.

Temperaturen på solens overflate er ca. 5500 °C. Solens atmosfære strekker seg flere millioner kilometer ut fra solen. Denne atmosfæren kalles korona som består av tynne, lyse buer og trådlignende, nesten radielle strukturer. Utenfor koronaen, i verdensrommet hvor det er absolutt vakuum, kan man ikke snakke om temperatur i normal forstand, men gjenstander vil kunne ha en teoretisk temperatur på ca. minus 270 grader celsius. (15) Solvinden er der alltid fordi solgassen strømmet ut i det kalde vakuum. Jorden har til gjengjeld en gjennomsnittlig temperatur på pluss 15 °C.

#### 1 Solvinden

Solvind er plasma (ekstrem varm, ladd, tynn gass) som strømmet ut i alle retninger i verdensrommet med ganske konstant intensitet og med en normal hastighet nær jorden på mellom 300-400 km/sek. Den bruker 3-4 dager på å nå jorden. Vanlig solvind har lav tetthet, 3-5 partikler per cm<sup>3</sup>.

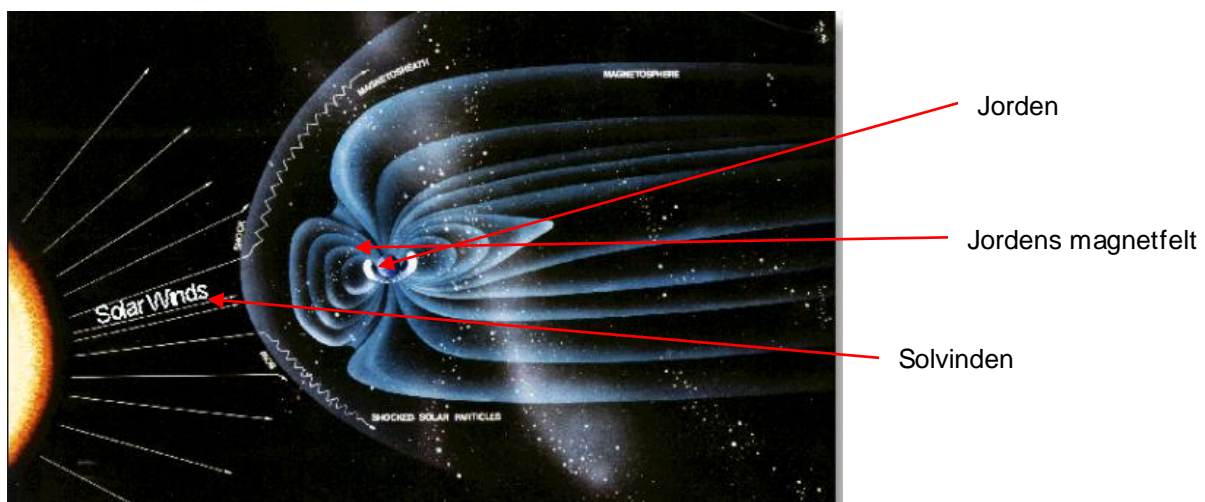


Fig. 30: Solvind. Solen til venstre. Jorden og den magnetfelt til høyre. Kilde: Google

Hele solsystemet er innehyllt i denne uhyre tynne ekspanderende gasskyen som kalles heliosfæren. Enkelte områder i solkoronaen som kalles koronahull og hvor de magnetiske feltlinjene er åpne utover, produserer de kraftigste solvindene.

Når slike kraftige solvinder sveiper forbi jorden, blir de energirike partiklene (elektroner og protoner) i solvinden fanget inn i det jordmagnetiske feltet. De trenger deretter inn i den øvre atmosfæren i polarområdene, og er opphav til nordlys.

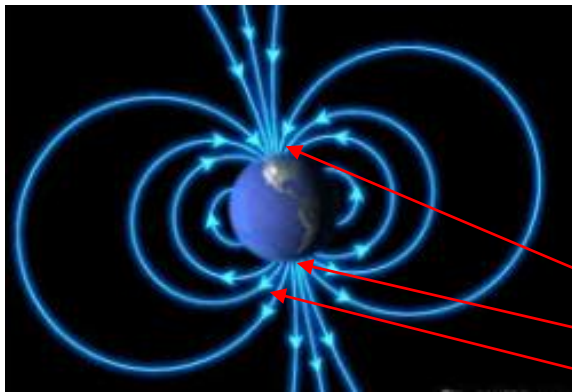


Fig. 31: Solvinden fanges inn i jordens magnetfelt. Kilde:Google

Aktiviteten på solens overflate varierer svært mye og går i sykluser på 22 år der polene på solen endrer retning. Denne syklusen består igjen av to sykluser på 11 år. I de meste aktive periodene skjer stadige enorme eksplosjoner på solen som slynger kolossale skyer ut i verdensrommet med en voldsom hastighet.

Polområdene

Jordens magnetfelt

Noen få treffer jorden, de aller fleste går forbi. Jordens magnetfelt beskytter oss vanligvis godt og solstormene viser seg f. eks. som nordlys. Men når de virkelige 100-årsstormene inntreffer, vil ikke dette superskjoldet greie å beskytte oss tilstrekkelig og jorden kan oppleve alvorlige skadevirkninger på sårbar infrastruktur og annen høyteknologi.

## 2 Ekstraordinære forhold i solvinden

Det er spesielt to fenomener på sola som gir opphav til ekstraordinære forhold i solvinden:

**Koronahull** fremstår som mørke partier som er kaldere enn resten av soloverflaten.

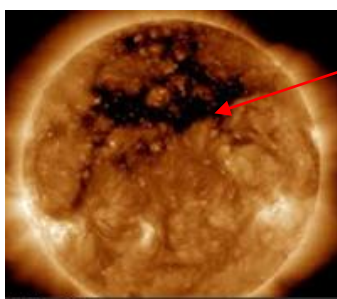


Fig. 32. Bilde av koronahull. Kilde: Google

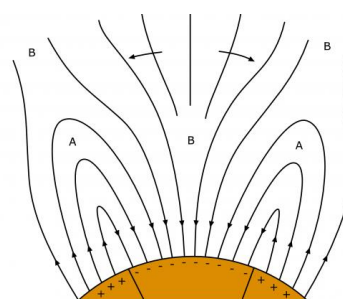


Fig.33 Radielle magnetfelt. Kilde: Google

Et koronahull er et område med radielt magnetfelt, dvs at magnetfeltene strekker seg rett ut fra solen. Ved solar minimum eksisterer ikke disse hullene rundt solens ekvator. Derimot

oppstår enorme polare koronahull. Ved solar maksimum er det motsatt, da er hullene ved ekvator. Solvinden fra slike hull har ekstraordinær hastighet og lav tetthet.

Et koronahull er langlivet og kan vises i f. eks. 3 solrotasjoner som går over 27 dager og varer hver gang 1-3 dager. Disse er derfor meget forutsigbare og kan predikeres med ganske stor nøyaktighet flere uker i forveien til forskjell fra solar flares og CME. Koronahull gir mye nordlys og derav magnetfeltforstyrrelser, forstyrrelser for satellittbasert posisjonering og navigasjon, samt kommunikasjon.

Koronahull avgir vanligvis superraske solvinder som gjerne er dobbelt så rask som vanlig solvind. Når en høyhastighetsvind fra et koronahull når igjen normalvinden, vil det bygges opp en sjokkfront som kan treffe jorden. Sjokkfronten vil gi opphav til ekstraordinære romværforhold på jorden og vil kunne forårsake en geomagnetisk storm som medfører at nordlyset kan vise seg langt sør og være sterkere enn vanlig. Nordlyset er et visuelt avtrykk for de effektene nevnt ovenfor. Effektene vil være kraftigere enn ved normal solvind og ligger typisk i område G1-G3 på NOAA's skala over geomagnetiske stormer. (28)

**Solflekker** er mørke områder på solens overflate som er mye mindre enn koronahull. De største kan være synlig for det blotte øye. Disse mørke flekkene områdene er ”kalde” i forhold til omgivelsene på soloverflaten. En solsyklus går over 11 år og innebærer at antall solflekker



Fig. 34. Bilde av solflekker. Kilde: NASA

pr dag kan over tid variere fra 0 til over 200. Det som kjennetegner solflekkene er at magnetfeltene er komplekse og veldig kraftige. Ved solar maksimum hvert 11 år er det flest solflekker som opptrer i grupper. Solar maksimum var i 2014 og er nå på nedangående. Høyest geomagnetisk aktivitet er statistisk i den nedadgående delen av solsyklusen.

Når to solflekker med motsatt polaritet opptrer veldig nær hverandre kan magnetfeltene gå sammen og resultere i voldsom energi som bli kastet ut i rommet. Dette er en Coronal Mass Ejection (CME).



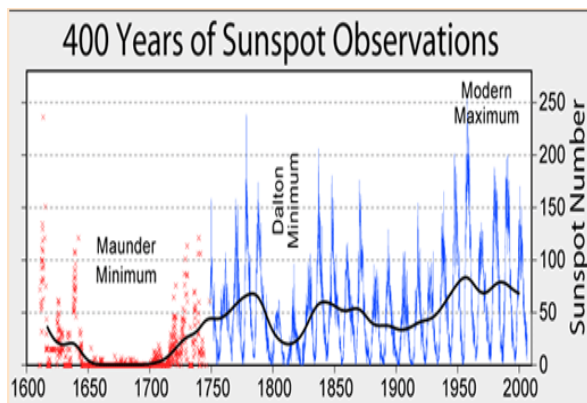


Fig.: 35 Solflekkobservasjoner fra 1600-2000. Kilde: (16)

I perioden fra år 1645 til 1715 var i følge NASA solflekkaktiviteten uvanlig liten, noe som påvirket klimaet og omtales som *Den lille istid* fordi det da var en langvarig kuldeperiode i det nordlige Europa. Nåværende syklus begynte i januar 2008 og hadde sitt maksimum i 2013. I følge NASA var dette det svakeste solmaksimum på 100 år.



Fig: 36: Bilde av CME. Kilde: Google

En CME er en utblåsning fra en enorm boble av plasma som består av elektroner, protoner og ioner som kastes ut i verdensrommet fra sola med en enorm hastighet etter et spektakulært utbrudd på solen, ofte i forbindelse med solar flares. Vekten av materialene i utblåsningen kan utgjøre så mye som 100 milliarder tonn. (23)

CME har kraftig magnetfelt og en tetthet som kan være større enn 100 partikler pr cm<sup>3</sup>. Den når jorden i løpet av 1-4 dager, men betydelig raskere ved ekstreme utbruddshastigheter, kanskje 13 timer. Den vil pløye seg vei gjennom den normale solvinden og skape sjokkbølger.

Dersom to CME opptrer etter hverandre, vil den andre opptre mye kraftigere på jorden enn den første fordi den ikke bremses ned av den ordinære solvinden. CME vil kunne gi stormer med styrke fra G1-G5. (28) For å få maksimal skadevirkning må en CME treffe rett på jorden. De fleste CME bommer fordi jorden er liten i det store universet.

En CME som har sørover magnetfelt, utgjør størst risiko for teknologi på jorden fordi jordens magnetfelt er nordover. Ca. 50 % er sørover. En ekstra sterk CME vil gi et voldsomt sterkt nordlys som vil bevege seg gradvis lenger og lenger sørover i løpet av et par timer og dekke store deler av jorden, også nattsiden. Denne nordlysaktiviteten vil kunne vare i flere timer og komme i bølger og dekke stadig mer areal. Ofte observeres samtidig også en flare som er en elektrisk utladning og består av hvitt lys, røntgen og gammastråler og ulike andre bølgelengder.



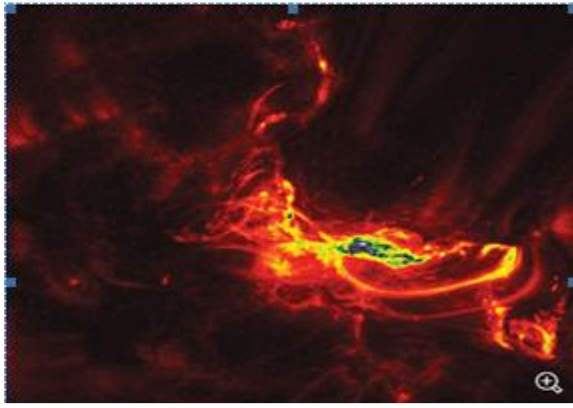


Fig: 37: Bilde av X-flare som er den største og kraftigste typen.  
Kilde: NASA

**Flares** beveger seg med lysets hastighet og varer fra noen minutter til flere timer. Hvis jorden befinner seg i skuddlinjen, vil en kunne observere en **protonskur** i jordens nære verdensrom. Disse protonene er så høyenergetisk at de tar veien fra solen til jordens polområder i løpet av ca 10 min.

Energiene til disse protonene er mye høyere enn andre partikler i solvinden og vil derfor trenge nærmere bakken (f. eks. 50 km eller lavere) i motsetning til vanlige elektronene som danner nordlyset og som trenger inn til ca. 90 km.

Disse protonene ioniserer atmosfæren og forstyrrer radiobølger i polare strøk. Det som er mest alvorlig er at når protonene bremses opp, oppstår sekundære nøytroner som kan nå ned til 10 km høyde. De gir igjen strålingsdoser på interkontinentale flyruter over polområdene som kan overstige grenseverdiene. Dette skjedde f. eks. i 2003 i forbindelse med Halloween-stormen 29.10. da alle interkontinentale flyruter som normalt går over polområdene, ble omdirigert. (20) Det er imidlertid ikke snakk om dødelige doser, men kan gi langtidseffekter som kreft. En annen effekt er radiostøy som forstyrrer satellittbasert posisjonering, navigasjon og radiobasert teknologi.

## Vedlegg 2

Ref	Aktør/kilde	Tittel	Utgitt
1	National Research Council, USA	Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economic Impacts <a href="http://www.nap.edu/read/12507/chapter/1">http://www.nap.edu/read/12507/chapter/1</a>	2009
2	NRK	Monsterbølgen ingen trodde fantes. <a href="http://www.nrk.no/viten/monsterbolgene-ingen-trodde-fantes-1.1851157">http://www.nrk.no/viten/monsterbolgene-ingen-trodde-fantes-1.1851157</a>	2003
3	Wikipedia	Hva er en 100-årsbølge? <a href="https://no.wikipedia.org/wiki/Hundre%C3%A5rsb%C3%B8lge">https://no.wikipedia.org/wiki/Hundre%C3%A5rsb%C3%B8lge</a>	
4	Ansys-blog.com	Ocean Waves – A Nightmare for Offshore Structures <a href="http://www.ansys-blog.com/ocean-waves-nightmare-offshore-structures/">http://www.ansys-blog.com/ocean-waves-nightmare-offshore-structures/</a>	04/2014
5	www.offshore.no	Monsterbølgen har blitt verdensberømt <a href="http://offshore.no/sak/32155_monsterboelgen_har_bliitt_verdensberoemt">http://offshore.no/sak/32155_monsterboelgen_har_bliitt_verdensberoemt</a>	16.03.2011
6	Petroleumstilsynet	BP får avslag på søknad om samtykke... <a href="http://www.ptil.no/samtykker/bp-faar-avslag-paa-soeknad-om-samtykke-til-levetidsforlengelse-for-valhall-qp-article11039-714.html">http://www.ptil.no/samtykker/bp-faar-avslag-paa-soeknad-om-samtykke-til-levetidsforlengelse-for-valhall-qp-article11039-714.html</a>	19.12.2014
7	Norsk Romsenter	Romværinfrastruktur i Norge <a href="file:///C:/Users/OLAVHA~1/AppData/Local/Temp/NRS/Romvrrap-1.pdf">file:///C:/Users/OLAVHA~1/AppData/Local/Temp/NRS/Romvrrap-1.pdf</a>	04/2012
8	Pål Brekke	Den stormfulle sola. www.solarmax.no	2013
9	TV2	Oppdaget at nordlys lager en underlig lyd. <a href="http://www.tv2.no/a/3831197">www.tv2.no/a/3831197</a>	2012
10	Aftonbladet	Solflamma slog ut flygtrafiken <a href="http://www.aftonbladet.se/nyheter/article21704013.ab">http://www.aftonbladet.se/nyheter/article21704013.ab</a>	4.11.2015
11	HAL	Space weather effects on drilling accuracy in the North Sea <a href="https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00317996/">https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00317996/</a>	2005
12	National Oceanic and Atmospheric Admin.	NOAA SPACE WEATHER SCALES <a href="http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation">http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation</a>	01/2016
13	House of Commons	Developing Threats: Electro-Magnetic Pulses (EMP) <a href="http://www.publications.parliament.uk/pa/cm201012/cmselect/cmdfence/1552/1552.pdf">http://www.publications.parliament.uk/pa/cm201012/cmselect/cmdfence/1552/1552.pdf</a>	8.2.2012
14	NASA Science	Near Miss: The Solar Superstorm of July 2012 <a href="http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/">http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/</a>	23.7.2014
15	Illustret vitenskap	Kan verdensrommet ha en temperatur? <a href="http://illvit.no/universet/kan-verdensrommet-ha-en-temperatur">http://illvit.no/universet/kan-verdensrommet-ha-en-temperatur</a>	8/2006

16	www.popularmechanics.com	The Looming Threat of a Solar Superstorm <a href="http://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a7433/the-loomng-threat-of-a-solar-superstorm-6643435/">http://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a7433/the-loomng-threat-of-a-solar-superstorm-6643435/</a>	01/2012
17	www.kriseinfo.no	Hva er en solstorm? <a href="http://www.kriseinfo.no/Vaer-og-natur/Solstorm/Hva-er-en-solstorm/">http://www.kriseinfo.no/Vaer-og-natur/Solstorm/Hva-er-en-solstorm/</a>	14.12.2011
18	www.solarstorms.org	Number of satellites and value <a href="http://www.solarstorms.org/Ssatellites.html">http://www.solarstorms.org/Ssatellites.html</a> Vulnerability of satellites. <a href="http://www.solarstorms.org/Svulnerability.html">http://www.solarstorms.org/Svulnerability.html</a>	
19	James A. Marusek, USA	Solar Storm Threat Analysis <a href="http://projectcamelot.org/Solar_Storm_Threat_Analysis_James_Marusek_Impact_2007.pdf">http://projectcamelot.org/Solar_Storm_Threat_Analysis_James_Marusek_Impact_2007.pdf</a>	2007
20	www.space.com	Giant Halloween Solar Storm Sparked Earth <a href="http://www.space.com/23396-scary-halloween-solar-storm-2003-anniversary.html">http://www.space.com/23396-scary-halloween-solar-storm-2003-anniversary.html</a>	30.10.2013
21	www.nasa.gov	Near Miss: The Solar Super Storm of July 2012 <a href="http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/">http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/</a>	2014
22	The National Academies Press	Storms from the sun: The Emerging Science of Space Weather. <a href="http://www.nap.edu/catalog/10249/storms-from-the-sun-the-emerging-science-of-space-weather">http://www.nap.edu/catalog/10249/storms-from-the-sun-the-emerging-science-of-space-weather</a>	2002
23	Peter Riley	"On the probability of occurrence of extreme space weather events" <a href="http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011SW000734/full">http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011SW000734/full</a>	23.2.2012
24	Fugro	Solar Activity and the Effect on Positioning Systems	2011
25	Gassco	<a href="https://www.gassco.no/media/nyheter/Leveranserekord-i-2015/">https://www.gassco.no/media/nyheter/Leveranserekord-i-2015/</a>	2016
26	ABC Nyheter	Statoil går for gigantprosjekt i Barentshavet <a href="http://www.abcnyheter.no/penger/naeringsliv/2016/01/19/195194713/statoil-gar-gigantprosjekt-i-barentshavet">http://www.abcnyheter.no/penger/naeringsliv/2016/01/19/195194713/statoil-gar-gigantprosjekt-i-barentshavet</a>	19.1.2016
27	Oljedirektoratet	Kraft fra land til norsk sokkel <a href="http://www.npd.no/global/norsk/3%20-%20publikasjoner/rapporter/pdf/kraft%20fra%20land%20rapport.pdf">http://www.npd.no/global/norsk/3%20-%20publikasjoner/rapporter/pdf/kraft%20fra%20land%20rapport.pdf</a>	2008
28	Space Weather Prediction Center	NOAA SPACE WEATHER SCALES <a href="http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation">http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation</a>	
29	DIY Space Exploration	Space Radiation Effects on Electronic Components in Low Earth Orbit <a href="http://www.diyspaceexploration.com/space-radiation-effects-on-electronic-components-in-low-earth-orbit/">http://www.diyspaceexploration.com/space-radiation-effects-on-electronic-components-in-low-earth-orbit/</a>	
30	Petroleumstilsynet	"Sikkerhetsstatus og signaler 2014-2015"	2014-2015
31	GLONASS	<a href="http://www.makeuseof.com/tag/lonass-gps-alternative-never-knew-existed/">http://www.makeuseof.com/tag/lonass-gps-alternative-never-knew-existed/</a>	2015

32	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap	Publikasjon ”Nasjonalt risikobilde 2014” <a href="http://www.dsb.no/Ansvarsomrader/Nasjonalt-beredskap/Aktuelt-Nasjonalt-beredskap/Nasjonalt-risikobilde-2014/">http://www.dsb.no/Ansvarsomrader/Nasjonalt-beredskap/Aktuelt-Nasjonalt-beredskap/Nasjonalt-risikobilde-2014/</a>	2014
33	Energiteknikk	”Kritisk søkelys på tilstanden i kraftnettet” <a href="http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/KALENDER/Foredrag%202011/Nettkonferansen%202011/2%20%201145%20Tilstanden%20i%20Kraftnettet%20Bakken.pdf">http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/KALENDER/Foredrag%202011/Nettkonferansen%202011/2%20%201145%20Tilstanden%20i%20Kraftnettet%20Bakken.pdf</a>	2004
34	MakeUse Of.com	GLONASS – The GPS Alternative You Never Knew Existed <a href="http://www.makeuseof.com/tag/glonass-gps-alternative-never-knew-existed/">http://www.makeuseof.com/tag/glonass-gps-alternative-never-knew-existed/</a>	9.1.2015
35	Arbeidstilsynet m. fl.	Publikasjon ”Kontroll med risiko gir gevinst”	9.11.2009
36	Ole Andreas Engen	KS-høstkonferansen. ”Hva er samfunnssikkerhet?”	1.11.2013
37	NVE	Veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen. <a href="http://publikasjoner.nve.no/veileder/2010/veileder2010_02.pdf">http://publikasjoner.nve.no/veileder/2010/veileder2010_02.pdf</a>	2010
38	Society for Risk Anal.	<a href="http://www.sra.org/resources">http://www.sra.org/resources</a>	
39	North American Electric Reliability Corporation	Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk Power System <a href="file:///C:/Users/Olav%20Harald/Documents/Delte%20Dokumenter/Masteroppgaven/Litteratur/58%20Effects%20of%20Geomagnetic%20Disturbances%20on%20the%20Bulk%20Power%20System.pdf">file:///C:/Users/Olav%20Harald/Documents/Delte%20Dokumenter/Masteroppgaven/Litteratur/58%20Effects%20of%20Geomagnetic%20Disturbances%20on%20the%20Bulk%20Power%20System.pdf</a>	2012
40	Dag Ingvar Jacobsen	Hvordan gjennomføre undersøkelser	2005
41	Steinar Kvale og Svend Brinkmann	Det kvalitative forskningsintervju	2015
42	Norsk Romsenter	Vurdering av sårbarhet ved bruk av globale satellittnavigasjonssystemer i kritisk infrastruktur <a href="http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Rapport-om-saarbarhet-ved-bruk-av-satellitnavigasjon">http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Rapport-om-saarbarhet-ved-bruk-av-satellitnavigasjon</a>	2013
43	Edvard Befring	Forskningsmetode, etikk og statistikk	2002
44	Teknisk Ukeblad	Kommunikasjonsutfordringer for næringsvirksomhet i nordområdene <a href="http://www.tu.no/it/2013/09/28/kommunikasjons-utfordringer-for-naringsvirksomhet-i-nordomradene">http://www.tu.no/it/2013/09/28/kommunikasjons-utfordringer-for-naringsvirksomhet-i-nordomradene</a>	28.9.2013
45	Stephanie Stoughton	Who Turned Out the Lights? The Coming Mega Sun Storm <a href="http://www.bloomberg.com/bw/articles/2014-07-03/u-dot-s-dot-plans-for-power-grid-crippling-sun-storms">http://www.bloomberg.com/bw/articles/2014-07-03/u-dot-s-dot-plans-for-power-grid-crippling-sun-storms</a>	3.7.2014
46	Marintek	Hva er problemet med kommunikasjon i Arktis <a href="http://www.sintef.no/marintek/prosjekter/maritim/hva-er-problemet-med-kommunikasjon-i-arktis/">http://www.sintef.no/marintek/prosjekter/maritim/hva-er-problemet-med-kommunikasjon-i-arktis/</a>	?
47	NOAA	Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale <a href="http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php">http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php</a>	?
48	FFI	Scenarioer for samfunnssikkerhet og nasjonalt bereds. <a href="http://www.ffi.no/no/Rapporter/11-00648-2.pdf">http://www.ffi.no/no/Rapporter/11-00648-2.pdf</a>	2011

## Vedlegg 3 NOAAs tabeller of styrke og konsekvenser av romvær

Category		Effect	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
Scale	Descriptor	Duration of event will influence severity of effects		
<b>Geomagnetic Storms</b>				
<b>G 5</b>	Extreme	<b>Power systems:</b> widespread voltage control problems and protective system problems can occur, some grid systems may experience complete collapse or blackouts. Transformers may experience damage. <b>Spacecraft operations:</b> may experience extensive surface charging, problems with orientation, uplink/downlink and tracking satellites. <b>Other systems:</b> pipeline currents can reach hundreds of amps, HF (high frequency) radio propagation may be impossible in many areas for one to two days, satellite navigation may be degraded for days, low-frequency radio navigation can be out for hours, and aurora has been seen as low as Florida and southern Texas (typically 40° geomagnetic lat.)**.	Kp=9	4 per cycle (4 days per cycle)
<b>G 4</b>	Severe	<b>Power systems:</b> possible widespread voltage control problems and some protective systems will mistakenly trip out key assets from the grid. <b>Spacecraft operations:</b> may experience surface charging and tracking problems, corrections may be needed for orientation problems. <b>Other systems:</b> induced pipeline currents affect preventive measures, HF radio propagation sporadic, satellite navigation degraded for hours, low-frequency radio navigation disrupted, and aurora has been seen as low as Alabama and northern California (typically 45° geomagnetic lat.)**.	Kp=8, including a 9-	100 per cycle (60 days per cycle)
<b>G 3</b>	Strong	<b>Power systems:</b> voltage corrections may be required, false alarms triggered on some protection devices. <b>Spacecraft operations:</b> surface charging may occur on satellite components, drag may increase on low-Earth-orbit satellites, and corrections may be needed for orientation problems. <b>Other systems:</b> intermittent satellite navigation and low-frequency radio navigation problems may occur, HF radio may be intermittent, and aurora has been seen as low as Illinois and Oregon (typically 50° geomagnetic lat.)**.	Kp=7	200 per cycle (130 days per cycle)
<b>G 2</b>	Moderate	<b>Power systems:</b> high-latitude power systems may experience voltage alarms, long-duration storms may cause transformer damage. <b>Spacecraft operations:</b> corrective actions to orientation may be required by ground control; possible changes in drag affect orbit predictions. <b>Other systems:</b> HF radio propagation can fade at higher latitudes, and aurora has been seen as low as New York and Idaho (typically 55° geomagnetic lat.)**.	Kp=6	600 per cycle (360 days per cycle)
<b>G 1</b>	Minor	<b>Power systems:</b> weak power grid fluctuations can occur. <b>Spacecraft operations:</b> minor impact on satellite operations possible. <b>Other systems:</b> migratory animals are affected at this and higher levels; aurora is commonly visible at high latitudes (northern Michigan and Maine)**.	Kp=5	1700 per cycle (900 days per cycle)

\* Based on this measure, but other physical measures are also considered.

\*\* For specific locations around the globe, use geomagnetic latitude to determine likely sightings (see [www.sec.noaa.gov/Aurora](http://www.sec.noaa.gov/Aurora))

<b>Solar Radiation Storms</b>			Flux level of $\geq 10$ MeV particles (ions)*	Number of events when flux level was met**
<b>S 5</b>	Extreme	<b>Biological:</b> unavoidable high radiation hazard to astronauts on EVA (extra-vehicular activity); passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.*** <b>Satellite operations:</b> satellites may be rendered useless, memory impacts can cause loss of control, may cause serious noise in image data, star-trackers may be unable to locate sources; permanent damage to solar panels possible. <b>Other systems:</b> complete blackout of HF (high frequency) communications possible through the polar regions, and position errors make navigation operations extremely difficult.	$10^5$	Fewer than 1 per cycle
<b>S 4</b>	Severe	<b>Biological:</b> unavoidable radiation hazard to astronauts on EVA; passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.*** <b>Satellite operations:</b> may experience memory device problems and noise on imaging systems; star-tracker problems may cause orientation problems, and solar panel efficiency can be degraded. <b>Other systems:</b> blackout of HF radio communications through the polar regions and increased navigation errors over several days are likely.	$10^4$	3 per cycle
<b>S 3</b>	Strong	<b>Biological:</b> radiation hazard avoidance recommended for astronauts on EVA; passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.*** <b>Satellite operations:</b> single-event upsets, noise in imaging systems, and slight reduction of efficiency in solar panel are likely. <b>Other systems:</b> degraded HF radio propagation through the polar regions and navigation position errors likely.	$10^3$	10 per cycle
<b>S 2</b>	Moderate	<b>Biological:</b> passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to elevated radiation risk.*** <b>Satellite operations:</b> infrequent single-event upsets possible. <b>Other systems:</b> effects on HF propagation through the polar regions, and navigation at polar cap locations possibly affected.	$10^2$	25 per cycle
<b>S 1</b>	Minor	<b>Biological:</b> none. <b>Satellite operations:</b> none. <b>Other systems:</b> minor impacts on HF radio in the polar regions.	10	50 per cycle

<b>Radio Blackouts</b>			GOES X-ray peak brightness by class and by flux*	Number of events when flux level was met; (number of storm days)
<b>R 5</b>	Extreme	<b>HF Radio:</b> Complete HF (high frequency**) radio blackout on the entire sunlit side of the Earth lasting for a number of hours. This results in no HF radio contact with mariners and en route aviators in this sector. <b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals used by maritime and general aviation systems experience outages on the sunlit side of the Earth for many hours, causing loss in positioning. Increased satellite navigation errors in positioning for several hours on the sunlit side of Earth, which may spread into the night side.	X20 ( $2 \times 10^{-3}$ )	Fewer than 1 per cycle
<b>R 4</b>	Severe	<b>HF Radio:</b> HF radio communication blackout on most of the sunlit side of Earth for one to two hours. HF radio contact lost during this time. <b>Navigation:</b> Outages of low-frequency navigation signals cause increased error in positioning for one to two hours. Minor disruptions of satellite navigation possible on the sunlit side of Earth.	X10 ( $10^{-3}$ )	8 per cycle (8 days per cycle)
<b>R 3</b>	Strong	<b>HF Radio:</b> Wide area blackout of HF radio communication, loss of radio contact for about an hour on sunlit side of Earth. <b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals degraded for about an hour.	X1 ( $10^{-4}$ )	175 per cycle (140 days per cycle)
<b>R 2</b>	Moderate	<b>HF Radio:</b> Limited blackout of HF radio communication on sunlit side, loss of radio contact for tens of minutes. <b>Navigation:</b> Degradation of low-frequency navigation signals for tens of minutes.	M5 ( $5 \times 10^{-5}$ )	350 per cycle (300 days per cycle)
<b>R 1</b>	Minor	<b>HF Radio:</b> Weak or minor degradation of HF radio communication on sunlit side, occasional loss of radio contact. <b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals degraded for brief intervals.	M1 ( $10^{-5}$ )	2000 per cycle (950 days per cycle)

\* Flux, measured in the 0.1-0.8 nm range, in  $W \cdot m^{-2}$ . Based on this measure, but other physical measures are also considered.

\*\* Other frequencies may also be affected by these conditions.

URL: [www.sec.noaa.gov/NOAAScales](http://www.sec.noaa.gov/NOAAScales)

March 1, 2005

## Vedlegg 4

### Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale

Category	Sustained Winds	Types of Damage Due to Hurricane Winds
1	74-95 mph 64-82 kt 119-153 km/h	<b>Very dangerous winds will produce some damage:</b> Well-constructed frame homes could have damage to roof, shingles, vinyl siding and gutters. Large branches of trees will snap and shallowly rooted trees may be toppled. Extensive damage to power lines and poles likely will result in power outages that could last a few to several days.
2	96-110 mph 83-95 kt 154-177 km/h	<b>Extremely dangerous winds will cause extensive damage:</b> Well-constructed frame homes could sustain major roof and siding damage. Many shallowly rooted trees will be snapped or uprooted and block numerous roads. Near-total power loss is expected with outages that could last from several days to weeks.
3 (major)	111-129 mph 96-112 kt 178-208 km/h	<b>Devastating damage will occur:</b> Well-built framed homes may incur major damage or removal of roof decking and gable ends. Many trees will be snapped or uprooted, blocking numerous roads. Electricity and water will be unavailable for several days to weeks after the storm passes.
4 (major)	130-156 mph 113-136 kt 209-251 km/h	<b>Catastrophic damage will occur:</b> Well-built framed homes can sustain severe damage with loss of most of the roof structure and/or some exterior walls. Most trees will be snapped or uprooted and power poles downed. Fallen trees and power poles will isolate residential areas. Power outages will last weeks to possibly months. Most of the area will be uninhabitable for weeks or months.
5 (major)	157 mph or higher 137 kt or higher 252 km/h or higher	<b>Catastrophic damage will occur:</b> A high percentage of framed homes will be destroyed, with total roof failure and wall collapse. Fallen trees and power poles will isolate residential areas. Power outages will last for weeks to possibly months. Most of the area will be uninhabitable for weeks or months.

Kilde: <http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>



## Vedlegg 5

### Noe litteratur om solstormer og romvær som er lest

Nr	Dok.type	Artikkelnavn etc	Lenke til artikkel
1	Artikkel	Big solar storm hitting Earth By Amanda Barnett, CNN. Updated 1613 GMT (2313 HKT) September 16, 2014	<a href="http://edition.cnn.com/2014/09/11/tech/innovation/solar-storm/">http://edition.cnn.com/2014/09/11/tech/innovation/solar-storm/</a>
2	Artikkel	NASA Quick Reference FAQ	<a href="http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/#.VKo5RyvF9Cg">http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/#.VKo5RyvF9Cg</a>
3	Artikkel	Solar storm of 1859	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_storm_of_1859">http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_storm_of_1859</a>
4	Artikkel	Space Weather. What impact do solar flares have on human activities?	<a href="http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/spaceweather.htm">http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/spaceweather.htm</a>
5	Artikkel	The Day the Sun Brought Darkness. March 13, 1859 to the entire province of Quebec. Dr. Sten Odenwald - NASA Astronomer	<a href="http://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html#.VK5MsvF_uM">http://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html#.VK5MsvF_uM</a>
6	Artikkel	Solar Superstorm of September 1-2, 1859 NASA	<a href="http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/23oct_superstorm/">http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/23oct_superstorm/</a>
7	Artikkel	Can We Predict Solar Flares? Public Article	<a href="http://www.popularmechanics.com/science/space/deep/can-we-predict-solar-flares-and-protect-our-satellites-17341922">http://www.popularmechanics.com/science/space/deep/can-we-predict-solar-flares-and-protect-our-satellites-17341922</a>
8	Artikkel	Who turned out the lights? The coming mega sun storm.	<a href="http://www.bloomberg.com/bw/articles/2014-07-03/u-dot-s-dot-plans-for-power-grid-crippling-sun-storms">http://www.bloomberg.com/bw/articles/2014-07-03/u-dot-s-dot-plans-for-power-grid-crippling-sun-storms</a>
9	Rapport	The Looming Threat of a Solar Superstorm Storm and Effects of October 28-29, 2003	<a href="http://www.popularmechanics.com/science/space/deep/the-looming-threat-of-a-solar-superstorm-6643435">http://www.popularmechanics.com/science/space/deep/the-looming-threat-of-a-solar-superstorm-6643435</a>
10	Artikkel	Kan bli strømbrudd i månedsvis	<a href="http://forskning.no/fysikk-universet-stjerner-samferdsel-elektronikk-informasjonteknologi/2012/08/kan-bli-strombrudd-i">http://forskning.no/fysikk-universet-stjerner-samferdsel-elektronikk-informasjonteknologi/2012/08/kan-bli-strombrudd-i</a>
11	Artikkel	What would happen if all satellites stopped working?	<a href="http://www.bbc.com/future/story/20130609-the-day-without-satellites">http://www.bbc.com/future/story/20130609-the-day-without-satellites</a>
12	Artikkel	On the probability of occurrence of extreme space weather events13Pete Riley. Article first published online: 23 FEB 2012	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011SW000734/full">http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011SW000734/full</a>
13	Artikkel	Space Weather Service for the Offshore industry	<a href="http://www.geomag.bgs.ac.uk/documents/estimate_iifr.pdf">http://www.geomag.bgs.ac.uk/documents/estimate_iifr.pdf</a>
14	Artikkel	Space Weather and GPS Systems	<a href="http://www.swpc.noaa.gov/impacts/space-weather-and-gps-systems">http://www.swpc.noaa.gov/impacts/space-weather-and-gps-systems</a>
15	Artikkel	Severe Space Weather--Social and Economic Impacts	<a href="http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan_severespaceweather/">http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan_severespaceweather/</a>

16	Rapport	Solar Storm Threat Analysis	<a href="http://projectcamelot.org/Solar_Storm_Threat_Analysis_James_Marusek_Impact_2007.pdf">http://projectcamelot.org/Solar_Storm_Threat_Analysis_James_Marusek_Impact_2007.pdf</a>
17	Artikkel	Impacts of solar storms on energy and communications technologies	<a href="http://scholarsresearchlibrary.com/aasr-vol4-iss4/AASR-2012-4-4-1825-1832.pdf">http://scholarsresearchlibrary.com/aasr-vol4-iss4/AASR-2012-4-4-1825-1832.pdf</a>
18	Rapport	Scenarier for samfunnssikkerhet og nasjonal beredskap	FFI
19	Rapport	Utdrag fra FFI-rapport om solstorm og elektronikk	FFI
20	Artikkel Multimedia	A Perfect Storm of Planetary Proportions By John Kappenman. Posted 24 Jan 2012   21:29 GMT	<a href="http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/a-perfect-storm-of-planetary-proportions">http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/a-perfect-storm-of-planetary-proportions</a>
21	Ref	Referanser	<a href="http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan_severespaceweather/">http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan_severespaceweather/</a>
22	Multimedia	August 31, 2012 Magnificent CME Not heading to earth, but glancing us.	<a href="http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=11095">http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=11095</a>
23	Rapport	Solar Storm Disaster Preparedness Plan	
24	News Paper Article	Solar storm passes without incident 8 March 2012	<a href="http://www.bbc.com/news/science-environment-17295337">http://www.bbc.com/news/science-environment-17295337</a>
25	Statistical Forecast	SolarMonitor Flare Prediction System	<a href="http://www.solarmonitor.org/forecast.php">http://www.solarmonitor.org/forecast.php</a>
26	Video	Nova Sun Storm 2013	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=6ZuvzuIbFD4">https://www.youtube.com/watch?v=6ZuvzuIbFD4</a>
27	Video	The Sun, Documentary. 44min	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=C2FETG7tCF0">https://www.youtube.com/watch?v=C2FETG7tCF0</a>
28	Video	Oil Rig and Dynamic Positioning System	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=y6Hol0qpB2E">https://www.youtube.com/watch?v=y6Hol0qpB2E</a>
29	Artikkel	Characterizing and predicting the magnetic environment leading to solar eruptions. Tahar Amari, Aurélien Canou & Jean-Jacques Aly	<a href="http://www.nature.com/nature/journal/v514/n7523/full/nature13815.html">http://www.nature.com/nature/journal/v514/n7523/full/nature13815.html</a>
30	Artikkel	News Snippets of the 1859 Solar Events	<a href="http://www.solarstorms.org/SS1859.html">http://www.solarstorms.org/SS1859.html</a>
31	Rapport	Geomagnetic Storms – Reducing the threat to critical infrastructure in Canada	<a href="http://www.solarstorms.org/CanadaPipelines.html">http://www.solarstorms.org/CanadaPipelines.html</a>
32		Legal background paper: Environmental Regulation of Oil Rigs in EU Waters and Potential Accidents	<a href="http://www.clientearth.org/reports/marine-protection-clientearth-briefing-on-legal-implications-of-oil-rigs.pdf">http://www.clientearth.org/reports/marine-protection-clientearth-briefing-on-legal-implications-of-oil-rigs.pdf</a>
33		Sun Solar Status&Updates	<a href="http://www.swpc.noaa.gov/">http://www.swpc.noaa.gov/</a>
34	Multimedia	Images of past flares. NASA	<a href="http://svs.gsfc.nasa.gov/Gallery/SunNews.html">http://svs.gsfc.nasa.gov/Gallery/SunNews.html</a>
35	Multimedia	Everything about Solar Storms	<a href="http://www.solarstorms.org/index.html">http://www.solarstorms.org/index.html</a>
36	Artikkel	The Looming Threat of a Solar Superstorm	<a href="http://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a7433/the-looming-threat-of-a-solar-superstorm-6643435/">http://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a7433/the-looming-threat-of-a-solar-superstorm-6643435/</a>



37	Artikkel	What would happen if all satellites stopped working?	<a href="http://www.bbc.com/future/story/20130609-the-day-without-satellites">http://www.bbc.com/future/story/20130609-the-day-without-satellites</a>
38	Artikkel	Jorda kan oppleve enorm solstorm før 2020	<a href="http://www.nrk.no/viten/vi-kan-fa-enorm-solstorm-for-2020-1.8016880">http://www.nrk.no/viten/vi-kan-fa-enorm-solstorm-for-2020-1.8016880</a>
39	Artikkel	A Perfect Storm of Planetary Proportions	<a href="http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/a-perfect-storm-of-planetary-proportions">http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/a-perfect-storm-of-planetary-proportions</a>
40	Rapport	Nasjonalt risikobilde 2014 (DSB)	<a href="file:///C:/Users/Olav%20Harald/Documents/Delte%20Dokumenter/Masteroppgaven/Litteratur%20-%20Kopi/29%20Nasjonalt%20risikobilde%202014.pdf">file:///C:/Users/Olav%20Harald/Documents/Delte%20Dokumenter/Masteroppgaven/Litteratur%20-%20Kopi/29%20Nasjonalt%20risikobilde%202014.pdf</a>
41	Rapport	The Solar Superstorm of July 2012	<a href="http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/">http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm/</a>