

Nr. _____ av _____



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

GNSS

ROMVÆRS PÅVIRKNING PÅ GNSS

av

Nils-Endre Anglevik Lerø og Andreas Engum Trones

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE, SJØMAKT OG
NAVIGASJON

Antall ord: 8181 ord

Innlevert: Juni 2021

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor

Kadettene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering, vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettene har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Vi erklærer herved at oppgaven er vårt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning. Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 04-06-2021

Bergen, Sjøkrigsskolen, 04-06-2021

(Signatur)

Andreas Trones

(Signatur)

Nils-Einar d. d.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Nils-Endre Lerø og Andreas Engum Trones. Vi har jobbet med oppgaven i perioden fra februar til mai 2021. Denne oppgaven er avsluttende for studiet «Bachelor i militære studier med fordypelse i ledelse, sjømakt og nautikk». Oppgaven er et faglig fordypende arbeid, hvor vi har fått brukt kunnskapen som vi har tilegnet oss gjennom studiet. Dette har vi fått vist gjennom innhenting av relevant informasjon, fordypning og analyse.

Vi ønsker å takke våre informanter i Kartverket for tilsendte artikler og forskningsrapporter som vi har brukt som datagrunnlag.

Vi ønsker samt å takke orlogskaptein Henning Sulen, lærer i militær navigasjon ved Sjøkrigsskolen for god veiledning underveis.

Som kommende navigatører har det vært lærerikt å studere tematikken oppgaven omhandler. Oppgaven har vist oss hvilken betydning romværs påvirkning får for robustheten til GNSS.

Sammendrag

Global Navigation Satellite System (GNSS) blir mer og mer tatt i bruk i ulike samfunnssektorer i den hensikt å benytte seg av PNT (Position Navigation Time) informasjon. GNSS har som mange andre systemer feil og sårbarheter. Flertallet av feilene og sårbarhetene er bundet opp mot det svake satellitt signalet. En av sårbarhetene til GNSS er utilsiktet interferens som forekommer i atmosfæren. Atmosfæren blir påvirket av blant annet romvær. Denne oppgaven tar for seg hvordan romvær påvirker GNSS.

Problemstillingen for oppgaven er:

Hvordan påvirker romvær Global Navigation Satellite System (GNSS)?

Opgaven er besvart ved å analysere og drøfte data fra ulike forskningspublikasjoner og tilhørende teori. Forskningspublikasjonene omhandler hvordan romvær påvirker GNSS og de atmosfæriske forholdene. Den største forstyrrelsen i atmosfæren kommer i form av solstormer som er en type romvær. Solstormer påvirker ionosfæreforholdene på jorden og dette fører til en ustabil ionosfære. Påvirkningen fører og til en økning i elektrontetthet. Dette gir en dårligere signal/støyforhold for GNSS mottakere som kan føre til at posisjonsnøyaktigheten og påliteligheten til systemet synker. Hvis økningen i elektrontettheten er hurtig, kan man miste GNSS posisjonen helt.

Sannsynligheten for påvirkningen fra romvær er større ved høyere breddegrader. Dette er på grunn av de magnetiske polene på jorden. Romværet fører til at man kan få dårligere atmosfæriske forhold på høyere breddegrader og følgelig et degradert GNSS. Avstanden mottakeren har til referansesystem påvirker hvor mye de atmosfæriske forholdene har å si for nøyaktigheten. På bakgrunn av dette konkluderer en studie gjort av Andalsvik og Jacobsen at brukere av GNSS på høyere breddegrader bør forvente verre forhold enn hva de globale atmosfæriske varslende tilsier.

Kort oppsummert påvirker romvær transmisjonsforholdene til GNSS, spesielt ved høyere breddegrader. Hensikten med denne oppgaven er å øke bevisstheten rundt dette hos navigatører, for å gjøre navigasjonen mer robust.

Innhold

Publiseringsavtale.....	2
Plagiaterklæring	2
Forord.....	3
Sammendrag	4
Figurer	7
Forkortelser	8
1 Innledning.....	9
1.1 Bakgrunn	10
1.2 Mål.....	10
1.3 Problemstilling.....	11
1.4 Avgrensninger.....	11
1.5 Struktur.....	11
2. Teori.....	12
2.1 Romvær	12
2.2 Solstorm.....	13
2.3 CME (Coronal Mass Ejection)	13
2.4 Scintillasjon.....	13
2.5 KP / K Index.....	14
2.6 PPP (precise point positioning) service	14
2.7 TEC (Total Electron Content)	14
2.8 ROTI (Rate of TEC Index).....	14
3 Forskningsdesign	15
3.1 Metodevalg.....	15
3.2 Fordeler og ulemper med metodevalg.....	15
3.3 Fremgangsmåte for innsamling av data	16
3.4 Utvalgt datagrunnlag.....	17
4. Resultater og analyse	18

4.1 Ionospheric response to the X9.3 flare on 6 September 2017 and its implications on Navigation Services over Europe	18
4.2 Observed high-latitude GNSS disturbances during a less than minor geomagnetic storm.	26
5 DRØFTING.....	34
5.1 Romværs påvirkning på satellittnavigasjon.....	34
5.2 Global og lokal påvirkning	35
5.3 Sannsynlighet	36
Avslutning.....	38
Referanseliste.....	39

Figurer

Figur 1: Bilde av fenomener forårsaket av eller påvirket av romvær	s.12
Figur 2: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom.	s.19
Figur 3: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom.	s.19
Figur 4: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom.	s.20
Figur 5: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom.	s.20
Figur 6: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom.	s.21
Figur 7: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom.	s.21
Figur 8: ROTI plott under definert tidsrom	s.22
Figur 9: Oversiktplott over VTEC verdier under definert tidsrom.	s.23
Figur 10: PPP plott under definerte tidsrom.	s.24
Figur 11: AIS plott over melding status under definert tidsrom.	s.25
Figur 12: Global Kp indeks fra NOAA/SPWC.	s.27
Figur 13: KP indeks fra Tromsø og Rørvik.	s.28
Figur 14: ROTI plott under definert tidsrom.	s.29
Figur 15: Diagram over fase scintillasjon over Tromsø.	s.30
Figur 16: Diagram over fase scintillasjon over Vega.	s.31
Figur 17: Forholdet mellom støy og posisjonsnøyaktighet over Tromsø.	s.32
Figur 18: Forholdet mellom støy og posisjonsnøyaktighet over Steinkjer.	s.33

Forkortelser

AGU - (American Geophysical Union)

APV1 - (Approach with Vertical Guidance)

GLONASS - (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sist'ema)

GNSS - (Global Navigation Satellite System)

GPS - (Global Position System)

IGS - (International GNSS service)

NOAA - (National Oceanic and Atmospheric Administration)

NTNU - (Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet)

PPP - (Precise Point Positioning)

RAENG - (The Royal Academy of Engineering)

SKSK - (Sjøkrigsskolen)

SWPC - (Space Weather Prediction Center)

TEC - (Total Electron Content)

TECU - (TEC units)

USA - (United States of America)

VTEC - (Vertical Total Electron Content)

1 Innledning

GNSS (Global Navigation Satellite System) har blitt tatt mer og mer i bruk i ulike samfunnssektorer i den hensikt å benytte seg av PNT (Positioning, Navigation and Time) informasjon. På verdensbasis er det fire GNSS systemer i drift; det russiske GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sist'ema), det europeiske Galileo, USAs (United States of America) GPS (Global Positioning System) og Kinas BeiDou. Alle disse systemene har en rekke felles feilkilder og sårbarheter. De fleste feilkildene er bundet opp mot det svake signalet som sendes fra satellittene samt det smale frekvens spekteret.

I mars 2011 publiserte RAENG (The Royal Academy of Engineering) rapporten: "Global Navigation Space Systems: reliance and vulnerabilities". I rapporten ble utvikling innen brukersegmentet, satellitt segmentet og tilsiktet bruk, studert for sårbarheter lokalt og globalt. Sårbarhetene ble kategorisert som isolerte systemfeil, globale systemfeil og eksterne trusler. Av alle sårbarhetene som ble avdekket var omfanget og påvirkningen begrenset til bestemte deler av GNSS, bortsett fra romvær (Dr. Martyn, 2011, s.9). Ifølge rapporten kan romvær påvirke hele GNSS. Fra tidligere kunnskap vet man at romvær påvirker atmosfæren. Dette kan følgelig få påvirkning for GNSS siden det kan skape dårlige signal/støy forhold for mottakeren. Posisjonsutregningene som mottakerne gjennomfører, har to parameter for atmosfærisk påvirkning. Disse påvirkningene kommer i troposfæren og ionosfæren, hvorav ionosfærepåvirkningen vil ha mest utslag for beregningene.

Ifølge rapporten til RAENG kan ionosfæreforholdene føre til den største sårbarheten innen GNSS, hvis den ikke kompenseres for. SWPC (Space Weather Prediction Center) forklarer følgende "The Ionosphere is part of Earth's upper atmosphere, between 80 and about 600 km where Extreme Ultraviolet (EUV) and x-ray solar radiation ionizes the atoms and molecules thus creating a layer of electrons." (SPWC, 2021). Altså romværet fra solen påvirker ionosfæren. Denne oppgaven vil se nærmere på hvordan romvær i form av solstormer påvirker ionosfæreforholdene og hvordan dette får følger på GNSS.

1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for denne oppgaven er hvordan romvær utilsiktet påvirker GNSS.

Satellittsignalet kan bli påvirket av flere årsaker, enten det er jamming, spoofing eller utilsiktet interferens. Oppgaven ønsker å rette et fokus mot den utilsiktede interferensen som blir forårsaket av romvær. Energi fra solen er det som forårsaker romværet og kraftige energiutbrudd danner såkalte solstormer. Et større fokus på romværs påvirkning kan øke bevisstheten hos navigatøren rundt hvilke konsekvenser utilsiktede forstyrrelser vil ha, og sannsynlighet for at de oppstår. Forståelsen av hvilke konsekvenser romvær og da spesielt med tanke på solstormer vil ha på GNSS, vil gjøre navigatøren mer robust.

I rapporten fra RAENG, Global Navigation Space System: reliance and vulnerabilities står det blant annet følgende:

“The variability of the ionosphere, especially at high and low latitudes and at times close to the peak of the sunspot cycle can be highly problematical. This variability of the ionosphere is one manifestation of space weather.” (Dr. Martyn, 2011, s18)

Det kommer frem i rapporten at store variasjoner i ionosfæreforholdene, på grunn av romvær kan skape store utfordringer for GNSS. Spesielt på høyere breddegrader. Navigatører i norden operer mye på høyere breddegrader. Derfor mener vi at en bredere forståelse rundt romværets påvirkning vil føre til en tryggere og mer robust navigasjon.

Fra før vet vi at solstormer påvirker atmosfæren på jorden. Dette kan vi observere i arktiske strøk i form av nordlys. Selv om nordlys er et fascinerende værphenomen, må vi som navigatører være bevisst på konsekvensen av dette og hvordan dette kan påvirke GNSS signalet og følgelig GNSS posisjonen.

1.2 Mål

Målet med denne oppgaven er å belyse hvordan romvær påvirker GNSS. For å nå målet drøfter oppgaven hvordan romvær påvirker GNSS og sannsynligheten for påvirkning. Ved å belyse dette temaet, gir oppgaven leseren en økt bevissthet rundt problemstillingen.

1.3 Problemstilling

Problemstillingen i denne bacheloroppgaven er som følger:

Hvordan påvirker romvær Global Navigation Satellite System GNSS?

Oppgaven tar for seg de mest sentrale og avgjørende delene ved romværs påvirkning på GNSS. Vi skal besvare denne problemstillingen gjennom å analysere og drøfte ulike funn fra studier og rapporter som omhandler romvær.

1.4 Avgrensninger

Oppgaven er avgrenset til å ha et fokus på hvordan romvær påvirker GNSS på den nordlige halvkule. Grunnen til dette er fordi studiene og rapportene som denne oppgaven baserer seg på er gjennomført på nordlige breddegrader.

I oppgaven er romvær avgrenset hovedsakelig til solstormer. Solstormer er det største fenomenet innenfor romvær.

Oppgaven tar utgangspunkt i at leseren har grunnleggende kunnskaper om GNSS systemenes virkemåte, feilkilder og sårbarheter. GNSS systemer er satt sammen av mange kompliserte teknologiske komponenter, derfor prøver vi å holde oppgaven så brukerorientert som mulig.

1.5 Struktur

Oppgaven består av forord, sammendrag og 5 del kapitler samt en avsluttende konklusjon.

Kapittel 1 tar for seg oppgavens innledning, bakgrunn, mål, problemstilling og avgrensninger.

Kapittel 2 presenterer viktig teori som er nødvendige i de neste kapitlene.

Kapittel 3 omhandler forskingsdesignet til oppgaven. Delen tar for seg svakheter og ulemper med designet samt prosessen rundt utvelgelsen av datagrunnlag for denne studien.

I Kapittel 4 blir de ulike funnene som ble gjort gjennom litteraturstudien presentert og analysert. Kapittel 5 drøfter funnene opp mot hverandre og annet relevant litteratur før oppgaven blir avsluttet med en konklusjon.

2. Teori

2.1 Romvær

Store norske leksikon forklarer romvær følgende:

“Romvær er fysiske prosesser i solsystemet som kan ha effekt på moderne teknologi og levesett. Vanligvis brukes begrepet om hvordan forholdene i Jordas øvre atmosfære og området rundt (ionosfæren og magnetosfæren) endres som følge av varierende aktivitet på Sola.” (Danielsen, Johansen ,2020).

Romvær påvirker da navigasjonssystemer, strømforsyninger og radiokommunikasjon på jorden. Romvær er et ganske vidt begrepet som omhandler mange fenomener.

Under ser vi et bilde på alle de fenomener som går under betegnelsen romvær og de ulike delene av atmosfæren som blir påvirket. På solen oppstår det forskjellige typer energiutbrudd som får navn ut ifra hvor kraftige de er. Etter utbruddet på solen går det over til å bli en solstorm/solvind som brer seg utover i universet. Til høyre i bildet ser vi hva som skjer når solvinden treffer magnetfeltet til jorden. Partiklene som blir sendt med solvinden blir påvirket av magnetfeltet og det oppstår geomagnetiske stormer i jordens atmosfære.



Figur 1: Bilde av ulike fenomener forårsaket eller påvirket av romvær (SWPC,2021)

2.2 Solstorm

En solstorm oppstår når magnetisk energi bygger seg opp i solens atmosfære og plutselig blir frigjort ut i rommet. Solstormen inneholder stråling fra hele det elektromagnetiske spektrumet. Alt fra stråling med lang bølgelengde som radiobølger til x-ray og gamma stråling med kort bølgelengde. Til en sammenligning blir det sluppet ut like mye energi i en solstorm som en eksplosjon av 100-megatonn hydrogenbomber samtidig. Grunnen til at solstormen inneholder så mye energi er fordi når solen frigjør den magnetiske energien blir partikler som elektroner og protoner akselerert og varmet opp. (Holman, Benedict, 1996)

2.3 CME (Coronal Mass Ejection)

Coronal Mass Ejection (Koronamasseutbrudd) er store eksplosjoner av plasma i det magnetiske feltet til solen. I en slik eksplosjon blir det slynget ut en sky av ionisert gass på flere milliarder tonn. Hastigheten på en slik eksplosjon varierer fra under 250 kilometer i sekundet til hastigheter opp mot 3000 kilometer i sekundet. De raskeste utbruddene kan treffe jorden etter 15 til 18 timer, mens de tregeste utbruddene kan ta flere dager. (SWPC, 2021)

Koronamasseutbrudd er et av de viktigste lysfenomener som bestemmer romværet. Hvis en CME når jorden påvirker den jordens magnetosfære kraftig og gir opphav til en geomagnetisk storm - den forstyrrer blant annet radio- og kraftoverføringer og kan gi nordlys.

2.4 Scintillasjon

SWPC forklarer scintillasjon følgende:

“Ionospheric scintillation is the rapid modification of radio waves caused by small scale structures in the ionosphere. Severe scintillation conditions can prevent a GPS receiver from locking on to the signal and can make it impossible to calculate a position. Less severe scintillation conditions can reduce the accuracy and the confidence of positioning results.”
(SWPC, 2021).

SWPC forklarer at det finnes to typer scintillasjon fase og amplitude. For å måle fasescintillasjon indeksene (S4) for amplitude og sigma ($\sigma\phi$) for fase. Scintillasjon av satellitt signalet kan føre til en degradering i posisjonsnøyaktigheten og hvis den blir for høy føre til såkalt “lost of lock”.

2.5 KP / K Index

Den mest vanlige måten å måle magnetiske forstyrrelser i atmosfæren på er å bruke Kp Indeksen, noen ganger omtalt som K indeks. Kp indeksen er en logaritmisk skala fra 0-9, hvor 0 er det svakeste og 9 er det sterkeste. Det er NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) som har publisert denne indeksen. Kp indeksen gir en god indikasjon på forstyrrelser i jordens magnetfelt og blir brukt av SWPC for å avgjøre om geomagnetiske farevarsler bør bli sendt ut til befolkningen. (SWPC, 2021)

2.6 PPP (Precise Point Positioning) service

“Precise point positioning (PPP) stands out as an optimal approach for providing centimeter-level error positioning using current and coming GNSS constellations. The Precise Point Positioning (PPP) processes measurements from a single user receiver, using detailed physical models and corrections, and precise GNSS orbit and clock products computed beforehand.” (ESA, 2021).

Precise Point Positioning er en GNSS posisjoneringsmetode som beregner presise posisjoner, med små feil på bare noen få centimeter under gode forhold. Forskjellig til andre presise posisjoneringsmetoder trenger ikke brukeren å ha et referansesystem i nærheten.

2.7 TEC (Total Electron Content)

TEC er den totale mengden elektroner mellom en radiosender og mottakeren. Radiobølgene blir påvirket av elektronene. TEC er målt i antall elektroner per kvadratmeter. “1 TEC unit” (TECU) er det samme som 10^{16} elektroner per kvadratmeter. (SWPC, 2021). VTEC (Vertical Total Electron Content) er den vertikale tettheten av elektroner og kan variere fra noen få TECU til flere hundre. (SWPC, 2021)

2.8 ROTI (Rate of TEC Index)

ROTI er rate of TEC index. ROTI kan bli brukt til å forutsi endringen av partikkeltettheten i ionosfæren. I sammenheng med vår oppgave blir ROTI brukt som dette ved å se på TECU / min. (j. Berderman, 2018, s 1609).

3 Forskningsdesign

3.1 Metodevalg

Denne oppgaven er en tradisjonell litteraturstudie. Ifølge en forelesning publisert av NTNU (Norges Tekniske-Naturvitenskaplige Universitet) er en litteraturstudie definert som “En søkestrategi for å studere litteraturen som finnes rundt ditt forskningsspørsmål eller tema på en omfattende måte” (NTNU, 2018, 0:30). Videre i forelesningen kommer det frem at metoden kan skilles mellom en tradisjonell og systematisk litteraturstudie. Tradisjonell litteraturstudie har som hensikt å skape en bred oversikt og forståelse over temaet/problemstillingen som utforskes. Dette gjøres ved å ha fokus på det “store bilde” når en analyserer tekstene. I en tradisjonell litteraturstudie er det heller ingen bestemte fremgangsmåter for innhenting av litteratur, men den krever en helhetlig vurdering av forfatterens troverdighet. Ifølge forelesningen skal man i analysen og sammendraget gjøre følgende “... sammenligne og drøfte litteratur du har funnet. Her drøfter du litteraturen imot det du vil ha svar på og sammenligner litteraturen med hverandre” (NTNU, 2018, 2:10)

Grunnen til at vi valgte tradisjonell litteraturstudie er for å få en bred oversikt og forståelse over problemstillingen. GNSS er svært komplekse systemer. Dette fører til at tilhørende informasjon ofte trenger mer kompetanse enn hva en gjennomsnittlig bruker innehar. Ved å gjennomføre en tradisjonell litteraturstudie og analysere litteraturen med en “what’s in it for me” tankegang, kan relevante funn bli anvendbare for den menige bruker.

3.2 Fordeler og ulemper med metodevalg

Fordelene med en tradisjonell litteraturstudie er ifølge NTNUs videoforelesing at man tilegner seg et teoretisk perspektiv. Tradisjonell litteraturstudie er og en hensiktsmessig metode for å oppsummere kunnskap.

Metoden passer også bra for å tilegne seg ny kunnskap siden man kan opparbeide seg et stort utvalg av litteratur rundt temaet og problemstillingen. Det at man ikke trenger å gjennomføre forskning og undersøkelser rundt temaet er også en fordel. (NTNU, 2018, 11:40) Siden arbeidstiden med oppgaven er på 3 måneder ble tid en avgjørende faktor for metodevalget. Det at vi ikke trenger å forske rundt problemstillingen sparer oss for mye tid. Metodens fordeler passer også bra opp mot våre målsetninger med oppgaven.

På den andre siden har tradisjonell litteraturstudie en del ulemper. En av ulempene er at man må bruke eksisterende litteratur. Dette kan føre til at egen vinkling rundt temaet eller problemstillingen ikke passer med forfatterens. En annen ulempe med metoden er hvis man ikke er kritisk nok til informasjonen som blir presentert i litteraturen. Henter man ukritisk informasjon og ikke undersøker teksten nøye kan man utelukke viktige nyanser (NTNU, 2018, 11:40). Siden GNSS er et svært komplekst fagområde kan det være fare for at publisert informasjon blir feiltolket eller at kritiske nyanser blir utelukket. Mangel på kompetanse kan også føre til at kunnskapsrelevante artikler blir utelukket i studien. Denne ulempen er noe vi har prøvd å minimere ved å få informasjon og veiledning hos kompetente og anerkjente kilder.

3.3 Fremgangsmåte for innsamling av data

Fremgangsmåten for å besvare problemstillingen var som følger:

Når temaet og problemstillingen var bestemt begynte innhenting av litteraturen. I Norge er det Kartverket som blant annet tar daglige målinger av forholdene i atmosfæren. Kartverket er en seriøs og faglig kompetent organisasjon innenfor vårt tema. Vi tok kontakt med dem og etterspurte informasjon og veiledning. Vi fikk tilsendt en datasky som inneholdt en rekke artikler og publikasjoner gjort av kompetente organisasjoner og forskere. Deretter foretok vi en rekke søk på internett hvor vi fant tilhørende litteratur hos anerkjente nettsider.

Publikasjonene fra kartverket og pensum tilgjengelig gjennom faget NAV 3302-1 Navigasjonssystemer 2 på SKSK (Sjøkrigsskolen) dannet datagrunnlaget for denne studien. Totalt fikk vi tilsendt 21 artikler fra Kartverket.

Etter at datagrunnlaget for studien var samlet inn gikk vi igjennom artiklene og publikasjonene med utvalgte seleksjonskriterier. Seleksjonskriteriene ble dannet med utgangspunkt i problemstillingen og målsetningen med studien. Med å bruke seleksjonskriteriene analyserte vi innledningen og konklusjonen. Ut av datagrunnlaget ble to publikasjoner trukket frem for videre analyse og drøfting.

3.4 Utvalgt datagrunnlag

Den første publikasjonen er casestudien “Ionospheric Response to the x9.3 flare on 6 september 2017 and its Implications for Navigation Services over Europe”. Studien ble publisert 22 oktober 2018 i AGU (American Geophysical Union). AGU er en internasjonal organisasjon som har til hensikt å fremme ny vitenskapelig kunnskap om jorden og verdensrommet. Lederen for studien er Jens Berdermann som leder avdelingen for space weather impact hos det tyske aerospace senteret for solar-terrestrial physics: Neutrelitz Mecklenburg-Western Pomerania. Teksten omhandler hvordan en solstorm påvirker GNSS navigasjonssystemer.

Den andre studien er “Observed high-latitude GNSS disturbances during a less-than minor geomagnetic storm”. Studien ble publisert den 2 desember 2014 i AGU. Dette er også en casestudie av romværs påvirkning på GNSS, men tar for seg en situasjon hvor det var mindre romvær. Målingene var lavere, men romværet fikk allikevel påvirkning på GNSS. Personene bak denne studien er Y.L Andalsvik og K.S Jacobsen. Yngvild Andalsvik er i dag leder for space situational awareness hos norsk romsenter. Andalsvik og Jacobsen jobbet begge for Kartverket når studien ble publisert.

4. Resultater og analyse

4.1 Ionospheric response to the X9.3 flare on 6 September 2017 and its implications on Navigation Services over Europe

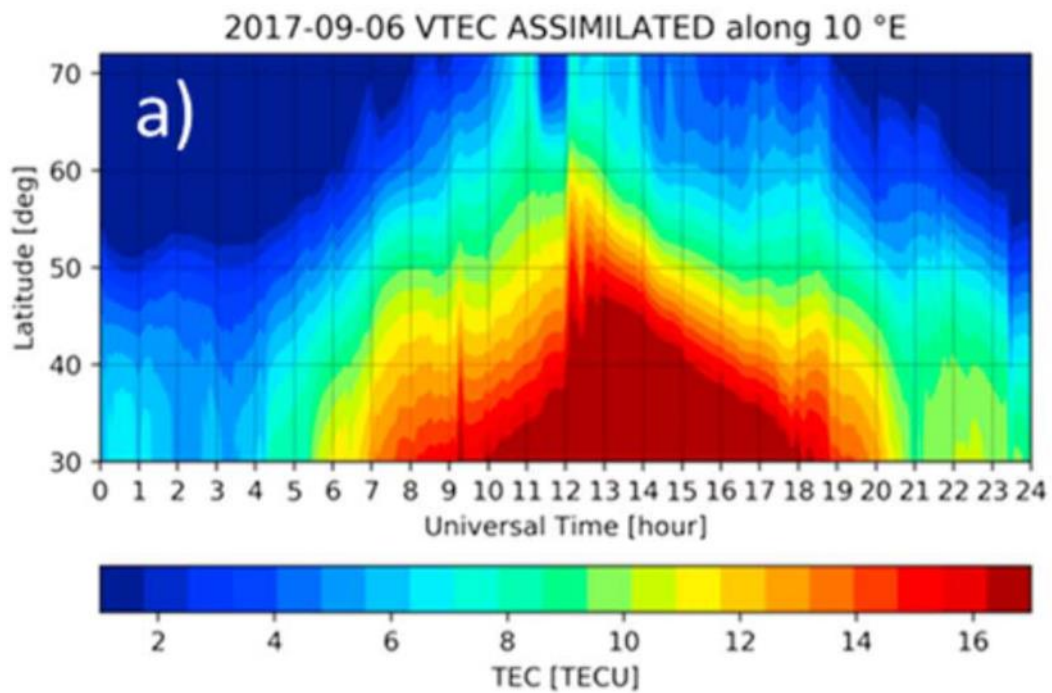
Denne forskningsrapporten tar for seg solaktiviteten i perioden 3.-13 sep. 2017. I perioden var det flere mindre solstormer og en stor storm som ble målt til en styrke på X9.3. Dette tilsvarer en kp verdi på 7-8. Solstormen ble kalt X9.3.

Dette var den største solstormen det siste tiåret. Den gjennomsnittlige solaktiviteten påvirket polområdene og den sterke X9.3 påvirket flere navigasjonssystemer.

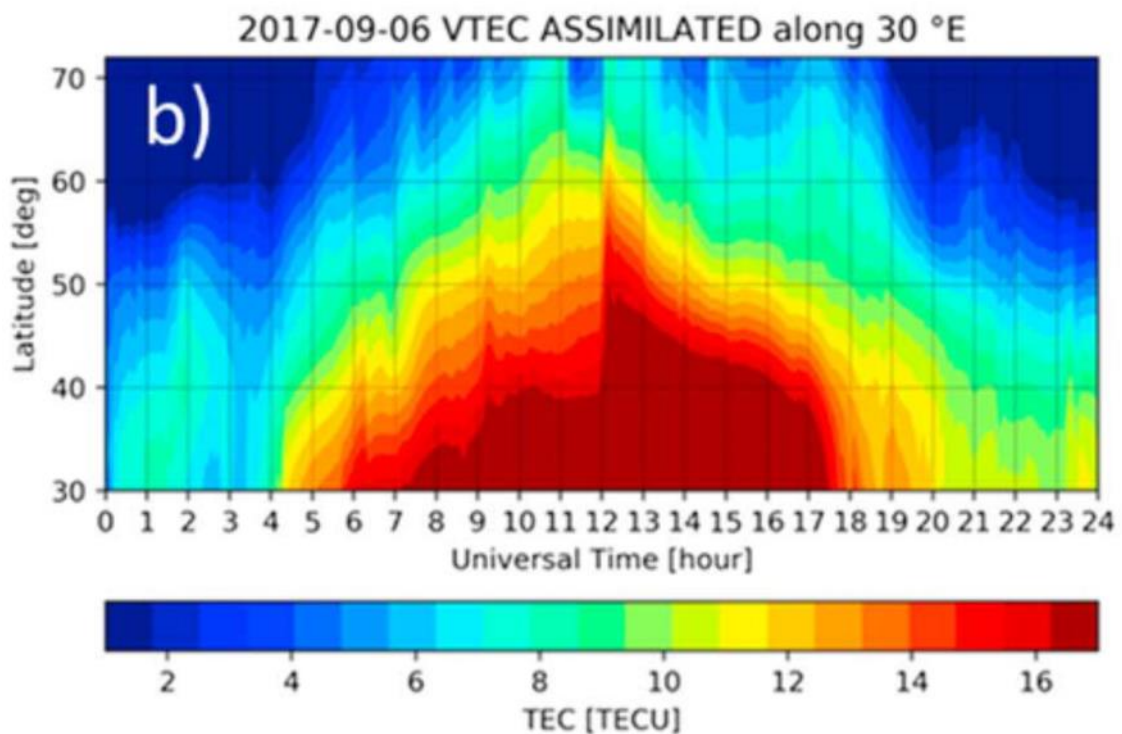
Teksten analyserer data og anvender dette for å gi en forståelse på hvilke konsekvenser de forskjellige styrkene av en solstorm får for infrastrukturen og spesielt navigasjonssystemer. Informasjon fra denne rapporten kan gi en økt kunnskap og forståelse om hvordan romvær kan påvirke GNSS.

Ifølge teksten kan romværs påvirkning på teknologisk infrastruktur grovt bli definert som følgende: Påvirkninger på strømmettet, påvirkninger på rominstallasjoner herunder satellitter og bakkesystemer eksempelvis mottakere. Romværet påvirker også satellittbaner og har en direkte påvirkning på signaler og andre kommunikasjonslinjer. Det vi trekker ut fra dette er at romvær kan potensielt ha en påvirkning på all infrastruktur. Det vil si at GNSS ikke er det eneste som vil og kan bli påvirket i situasjoner med ekstremt romvær. Ekstremt romvær kan også påvirke dagliglivet til den enkelte.

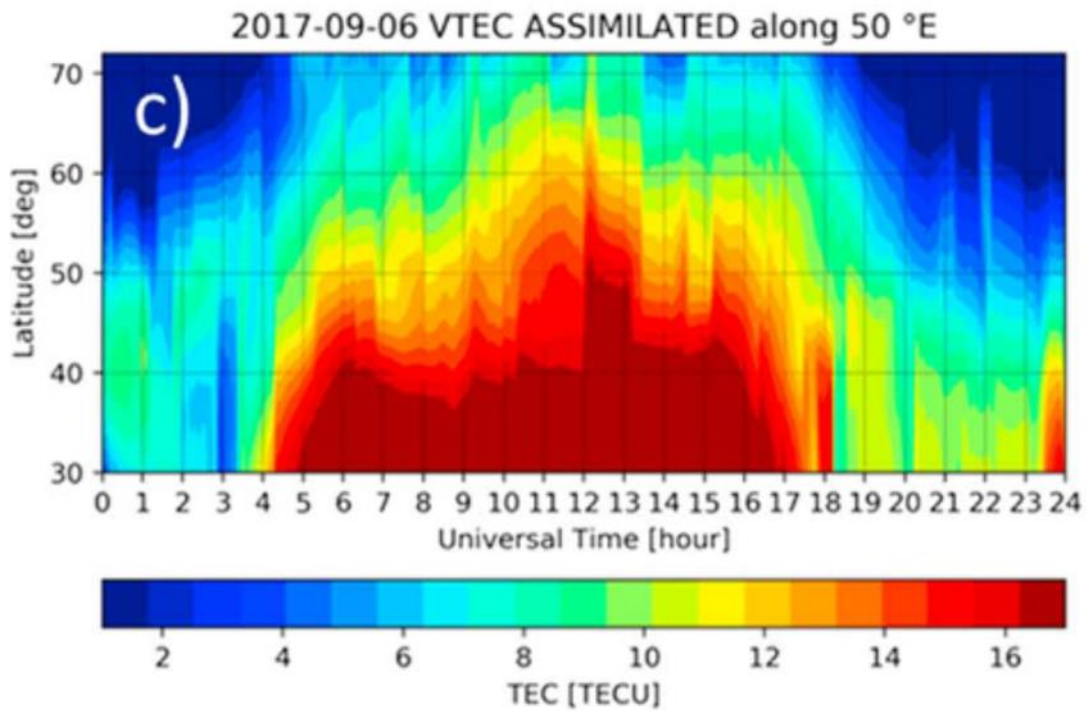
På figurene på side 19-21 er TEC (Total Electron Content) verdier for ulike lengdegrader visualisert igjennom diagramplott. Henholdsvis 10, 30 og 50 grader øst. X-aksen på diagrammene representerer døgnet timer, mens y-aksen representerer breddegrader. Fargeskalaen representerer TECU (Total Electron Content Unit). TECU er et mål på TEC. 1 TECU er det samme som 10^{16} elektroner per kvadratmeter. Figur a til c representerer forholdene under solstormens påvirkning og d til f representerer dagen før påvirkning.



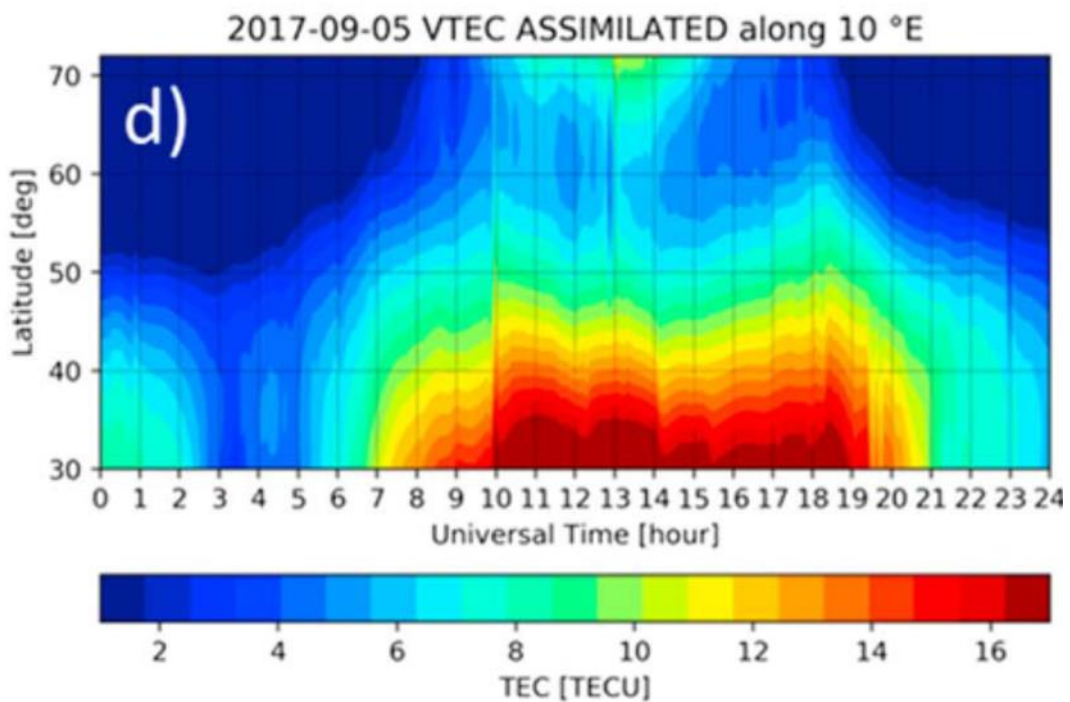
Figur 2: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom ved 10 grader øst
(Berdermann, 2018, s 1609)



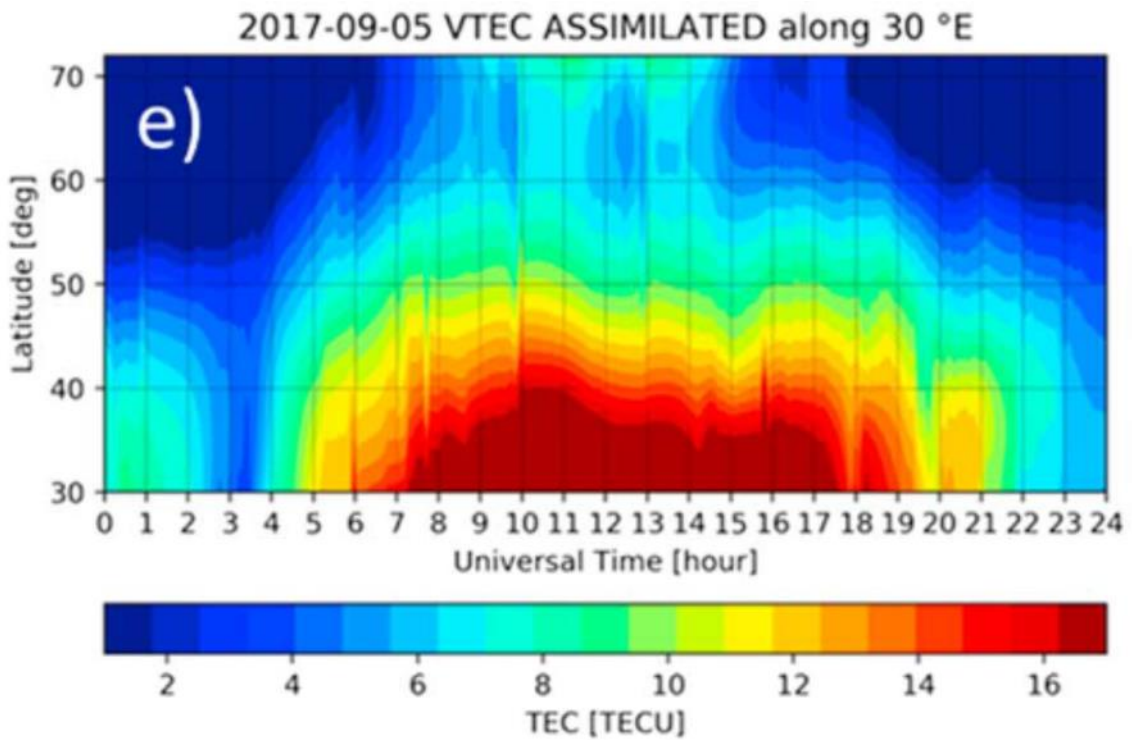
Figur 3: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom ved 30 grader øst
(Berdermann, 2018, s 1609)



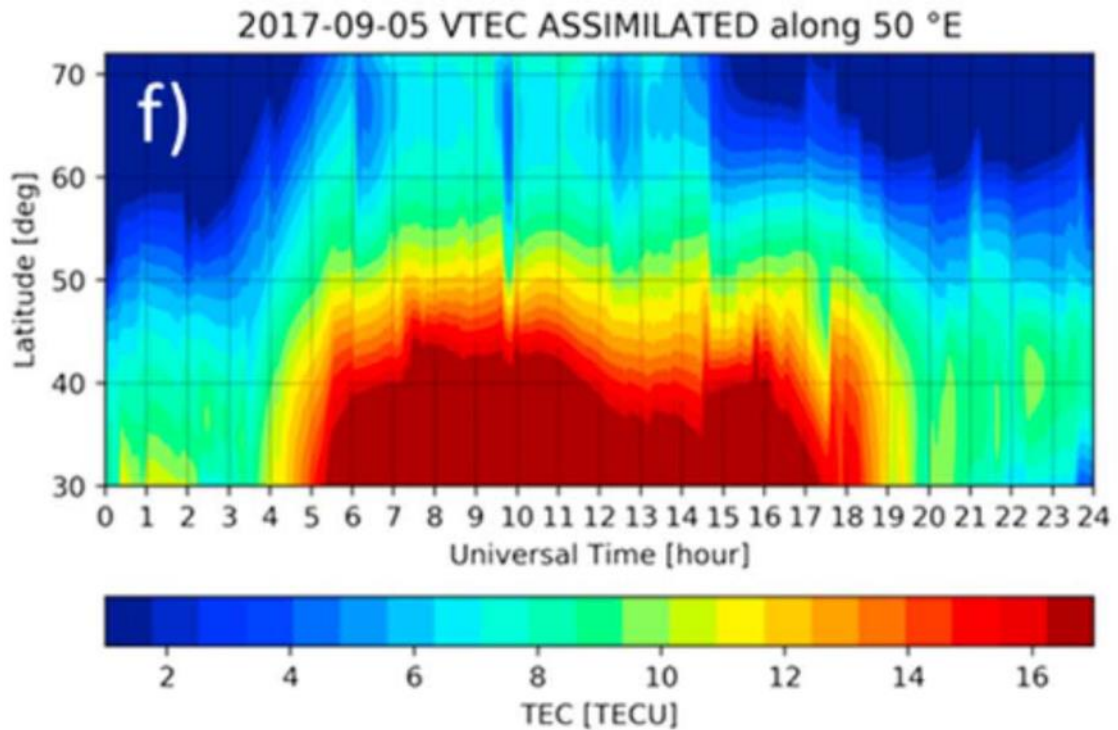
Figur 4: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom ved 50 grader øst
(Berdermann, 2018, s 1609)



Figur 5: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom ved 10 grader øst
(Berdermann, 2018, s 1609)

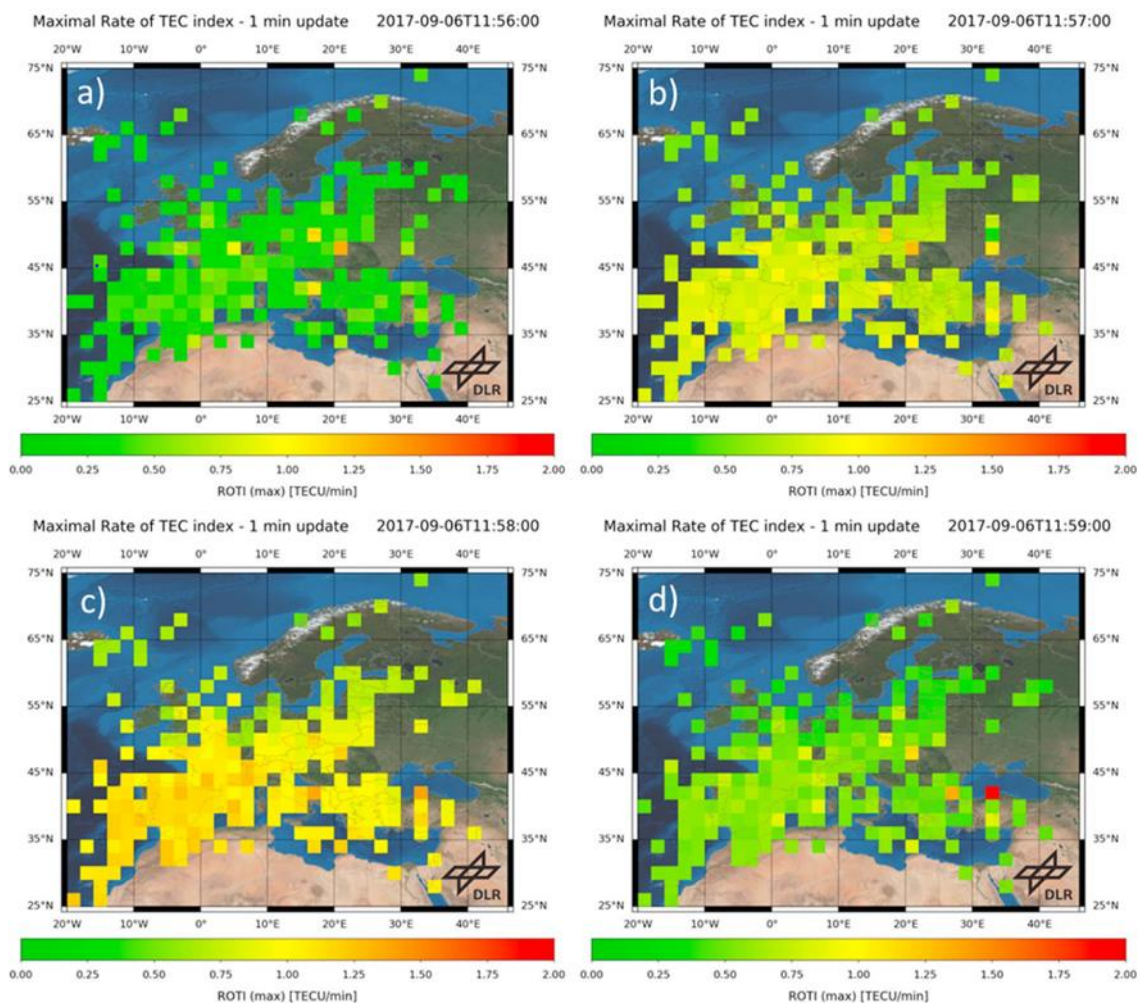


Figur 6: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom ved 30 grader øst
(Berdermann, 2018, s 1609)



Figur 7: TEC plott over antall TECU i ionosfæren under definert tidsrom ved 50 grader øst
(Berdermann, 2018, s 1609)

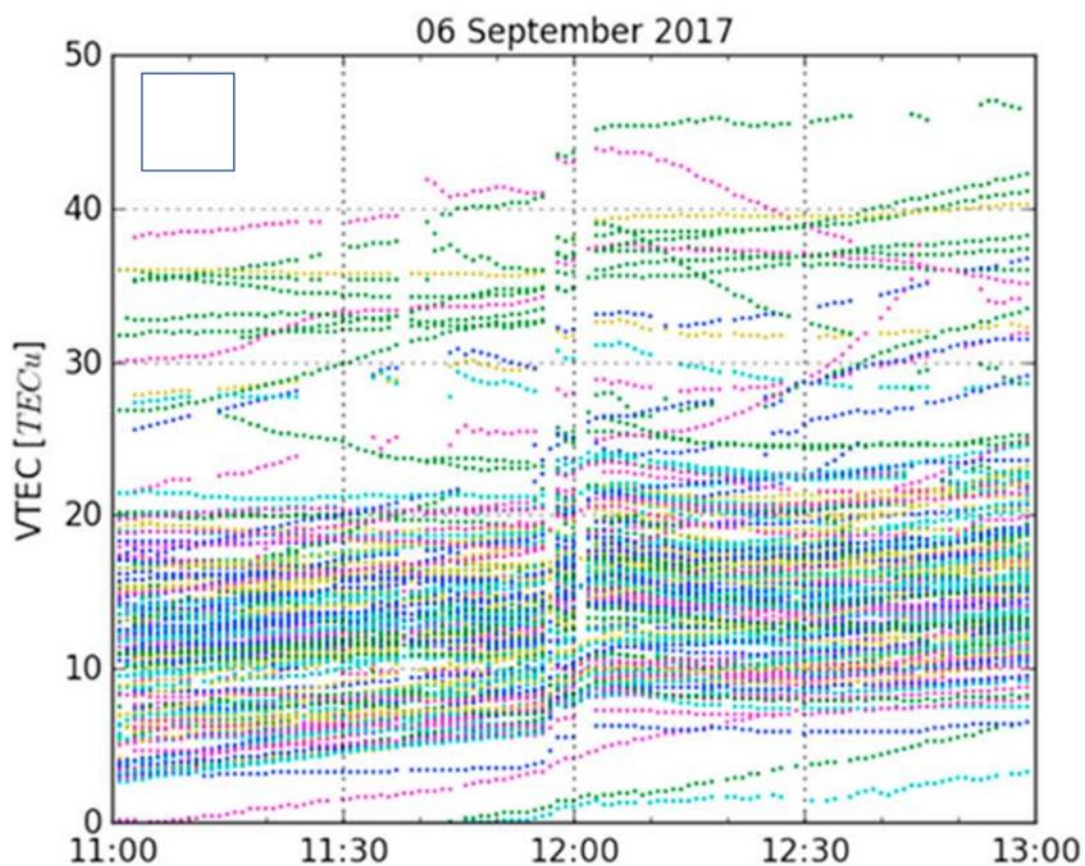
På diagrammene ser vi at solstormens påvirkning på ionosfæren (a-c) opp mot forholdene i ionosfæren dagen før (d-f). Det casestudien vil belyse med diagrammene er at TEC verdiene i ionosfæren øker voldsomt i tidsvinduet solstormen er på sitt sterkeste. Vi ser at ionosfæren plutselig blir kraftig ionisert rundt klokken 12 på diagram a til c. Dette mener de er fordi når solen er på sitt høyeste blir ionosfæren mest påvirket av solaktivitet i tillegg til den pågående solstormen. Ifølge teksten er det ikke selve mengden TEC som skaper problemer for GNSS mottakerne, men den hurtige økningen i TEC.



Figur 8: ROTI plott under definert tidsrom (Berdermann, 2018, s 1608)

Artikkelen bruker også diagrammer over ROTI (Rate Of TEC Indeks) verdier for ionosfæren, som illustrerer hvordan forholdene forandrer seg. Diagramsettet viser hvordan solstormen påvirker den øyeblikkelige forandringen i intensitet av elektroner og stabiliteten i ionosfæreplasmaen. ROTI plottene viser oss at i tidsrommet hvor solstormen inntreffer er

ionosfæren ustabil og man kan få store svingninger i TEC verdier. Det kommer og frem i teksten at ROTI verdier brukes som et grunnlag for å begrense fase og amplitude scintillasjonen i ionosfæren i 2 frekvensmottakere. Videre presiserer de at det ikke er selve elektrontettheten i ionosfæren, men den hurtige endringen av tettheten til elektronene i ionosfæren som fører til degradering i posisjonsnøyaktigheten og påliteligheten til GNSS. Endringen i elektrontetthet i ionosfæren blir forårsaket av romværet. “Note that not the magnitude of TEC itself, but the sudden jump in TEC caused by strong changes in the ionosphere on a very short time scale causes problems for GNSS receiver, which are used for positioning.” (Berdermann 2018, s1609).

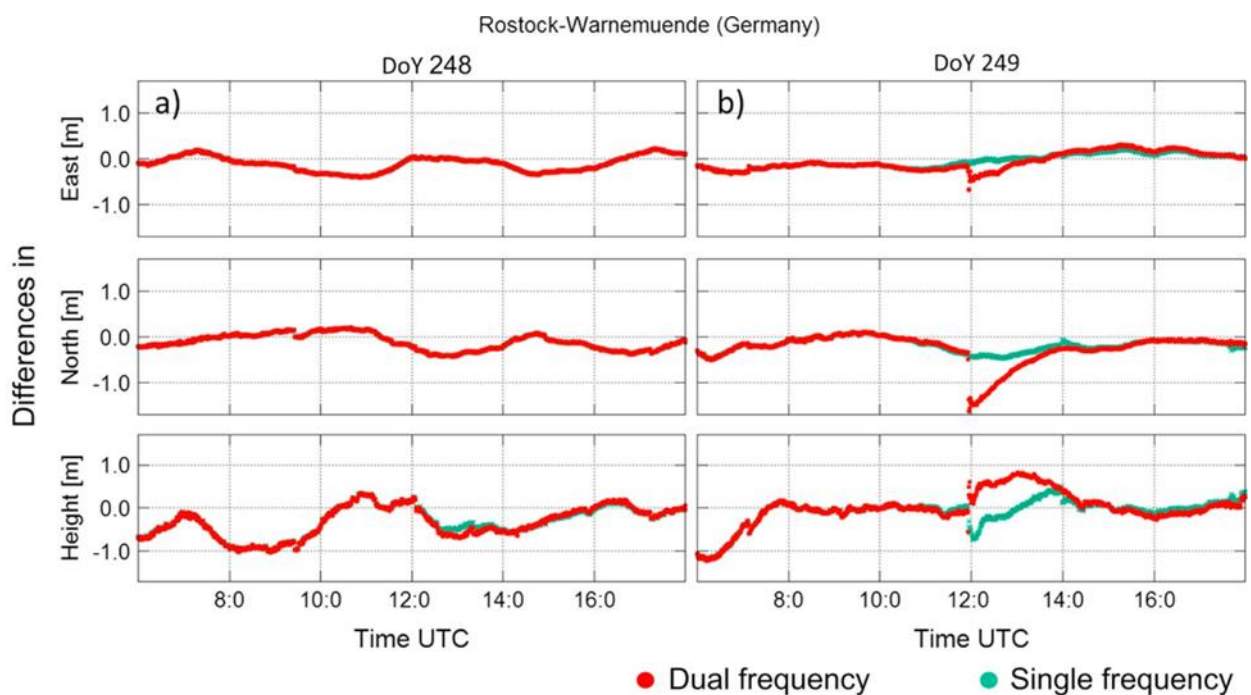


Figur 9: Oversiktsplokk over VTEC verdier under definert tidsrom (Berdermann, 2018, s 1610)

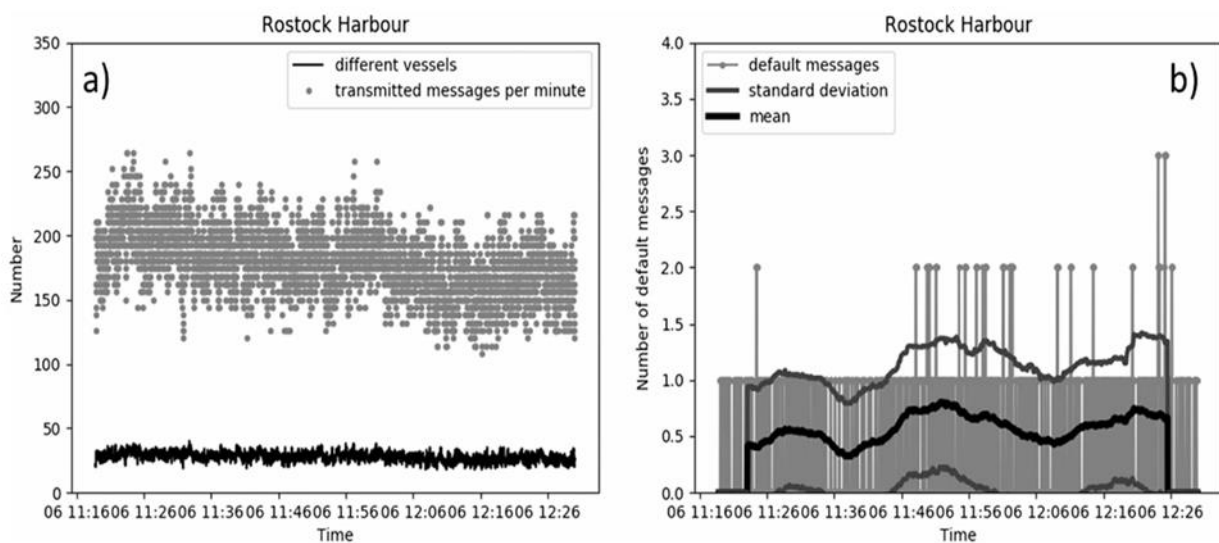
Ved hjelp av et VTEC diagram illustrerer Berdermann hvordan forandringen av forholdene i ionosfæren påvirket GNSS i tidsrommet solstormen inntraff. I diagrammet har de brukt GNSS data fra IGS (International GNSS Service) stasjoner hvor satellittene hadde en elevasjon på

over 60 grader. Diagrammet viser at ved tidspunktene 11:58 og 12:02 mistet mottakerne signalet fra satellittene. Når mottakerne mister signalet fra satellitten kalles det lost of lock. Dette er visualisert ved at vi får to hvite linjer som bryter de prikkete fargelinjene i diagrammet. Vi kan og se at ved tidspunktet 11:35 mistet en del mottakere signalet, men dette kan ikke kobles til solstormen presiseres det. Grunnen til dette kan muligens være andre tekniske eller naturlige årsaker.

Studien kommer med eksempler på hvordan romværet påvirket forskjellige satellittnavigasjons tjenester. Nedenfor ser vi to diagrammer som viser PPP (Precise Point Positioning) plots hentet fra GPS stasjonen WARN Rostock (Tyskland). Diagrammet er delt inn i tre dimensjoner, en for øst, nord og høyde. For hver av diagrammene er y-aksen verdien på hvor stor feilen er i den respektive dimensjonen. X-aksen er tidsforløpet for dagen. Diagrammet til venstre (a) er for dagen før X9.3 inntraff, mens det til høyre (b) er for dagen solstormen inntraff. Rundt kl.12, da solstormen inntraff, får posisjoneringssystemet avvik i posisjonsnøyaktigheten. Vi kan se utslagene for posisjonsberegningene er forskjellige mellom en og 2 frekventmottakerne. Posisjonsberegningene er ulike frem til ca. 14:00 før de begynner å stabilisere seg.



Figur 10: PPP plott under definerte tidsrom (Berdermann, 2018, s 1611)



Figur 11: AIS plott over melding status under definert tidsrom (Berdermann, 2018, s 1613)

Det kommer også frem i casestudien at solstormen påvirker AIS (Automatic Identification System). Teksten belyser dette ved å analysere to diagrammer av AIS data. Diagram a viser AIS meldinger utsendt per minutt av 30 fartøyer mens b viser antall feilmeldinger på 0,1 sekund under samme tid. Analysen kommer frem til at under solstormen er den gjennomsnittlige feilmeldingsraten på 0,5 feilmeldinger per 0,1 sekund. Dette er en betydelig større feilrate enn ved optimale forhold. Det kommer og frem i studien at ionosfære forstyrrelsene grunnet solstormen kan ha en lengre påvirkning på AIS.

Casestudien belyser også at solstormen påvirket tilgjengeligheten til GNSS støttesystemet EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Under tidsintervallet når solstormen var på sitt sterkeste mellom klokken 11 UT og 13 UT mistet GNSS brukere 10 % tilgjengelighet av EGNOS. Det påpekes i rapporten at reduksjonen av tilgjengelighet var så stor at den kan hindre bruk av systemet under livskritiske operasjoner. Et eksempel på dette som blir trukket frem er luftoperasjoner hvor luftfartøyer skal fly nærme hverandre.

4.2 Observed high-latitude GNSS disturbances during a less than minor geomagnetic storm.

I denne studien kommer det frem at romvær kan i stor grad påvirke GNSS og GNSS støttesystemer. Dette kan igjen føre til dårligere pålitelighet i forbindelse med GNSS funksjoner. De påpeker at romværs påvirkning er størst rundt ekvator og polene. Studien forklarer at følgende er årsaken til at romvær påvirker GNSS

“The interaction of the solar wind with the magnetic field and atmosphere of the Earth causes, among other effects, disturbances in the ionosphere. As satellite signals from GNSS pass through the ionosphere, they are refracted and diffracted by these disturbances. The resulting rapid variations of signal amplitude and phase that are observed by a receiver on the ground may cause loss of lock or cycle slips. Even if none of those effects occur, it will increase the noise of the phase measurements”. (Andalsvik, Jacobsen, 2014, s 1)

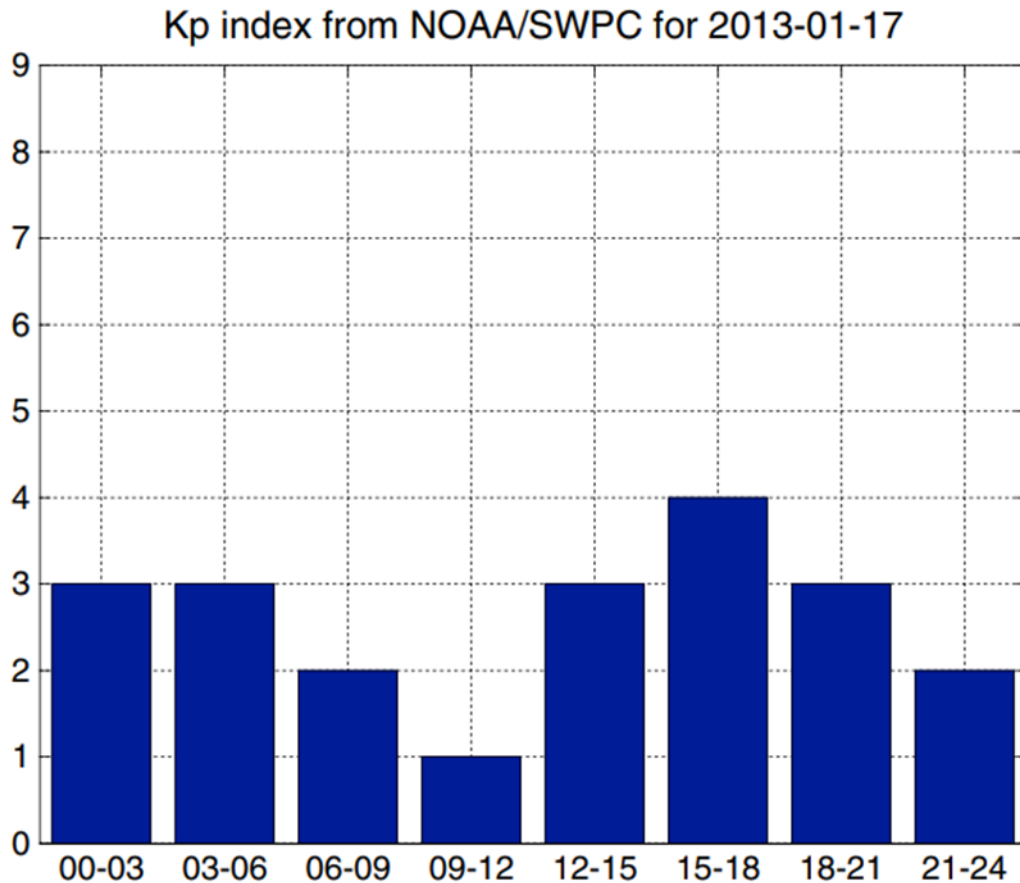
I studien forklarer de at styrken på fase og amplitude forstyrrelsene på signalet måles ved hjelp av scintillasjons indeksene S4 og sigma $\sigma\phi$. De påpeker også at scintillasjon ved høyere breddegrader er forbundet med nordlyset og den magnetiske nord pol. Det kommer også frem at fase scintillasjon fremkommer oftere enn amplitude scintillasjon, samt at sannsynligheten for scintillasjon er større på dager hvor de geomagnetiske forholdene i atmosfæren er ustabile. Det er og en større sjanse for scintillasjon midt på dagen og midt på natten.

Videre kommer det frem at påvirkningen scintillasjon har på GNSS, i noen grad avhenger av kvaliteten på mottakerne. Noen mottakere er bedre til å oppdage det forstyrrende satellitt signalet, men det presiseres at ingen mottakere kan eliminere fase forstyrrelsene. Hvis forstyrrelsene blir for store kan det føre til såkalt cycle slip og loss of lock som forklart i avsnittet over. Cycle slips kan føre til at man får en unøyaktig tidsberegning i mottakeren og kan følgelig føre til store feil hvis det ikke blir kompensert for. Hvis man får loss of lock på en satellitt fører det til at man ikke klarer å gjøre en posisjonsberegning. Fase forstyrrelser vil føre til degradering i posisjonsnøyaktigheten til GNSS.

I studien tar forskerne for seg en langt svakere solstorm enn tidligere nevnte X9.3. Solstormen X9.3 tilsvarer en Kp-verdi på 7-8. Solstormen i denne studien fikk en styrke på 4 Kp-indeksen, som er under NOAAs (National Oceanic and Atmospheric Administration) skala for styrke på geometriske stormer. På den neste siden er et diagram over NOAA/SWPC sine målinger gjennom dagen den 17.jan 2013. Y-aksen viser hvilken grad på kp-indeksen

målingene fikk. X-aksen viser klokkeslettene på dagen med et tre timers intervall.

Diagrammet viser at når solstormen er på sitt sterkeste mellom 15 og 18 får den en styrke på 4.

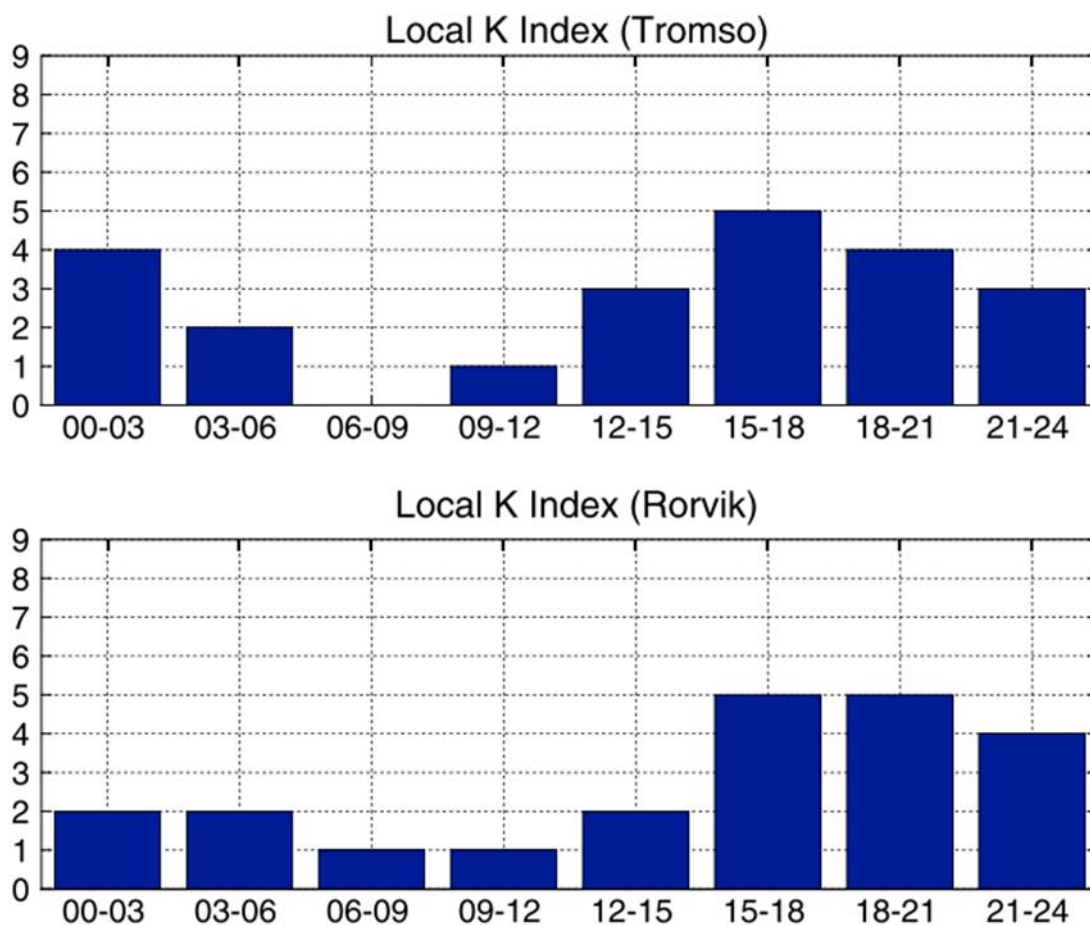


Figur 12: Global Kp indeks fra NOAA/SPWC for 2013-01-07

Andalsvik og Jakobsens studie sier følgende om den varslede styrken på solstormen 17. januar

“Based on that alone, this event could be considered a nonevent, and in most geographic locations this would be the case. Local K indices provided a more appropriate indication of the disturbances in the ionosphere, indicating greater disturbances during the time interval of GNSS disruptions. However, the description of impacts given in Poppe [2000] for a Kp level of 5 does not indicate that there should be any problem for satellite navigation.” (Andalsvik, Jacobsen, 2014).

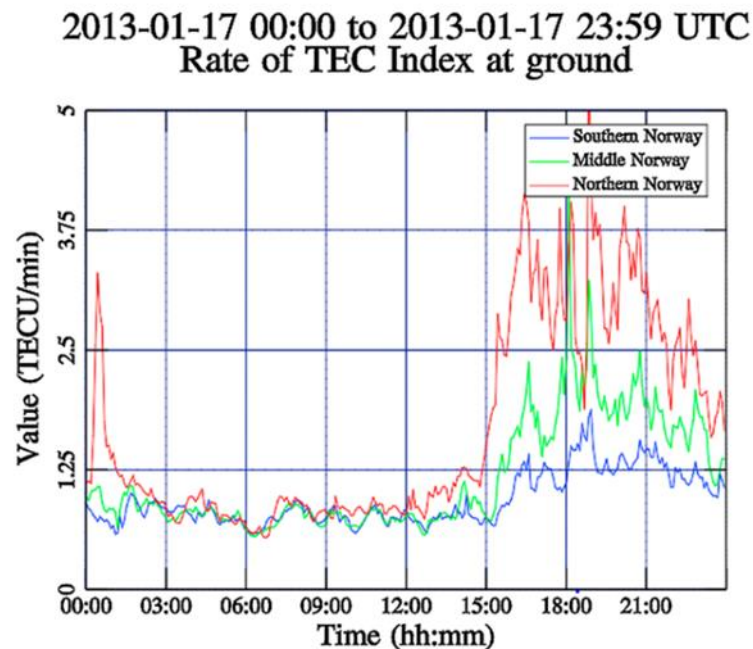
Dette betyr at selv om det geometriske varselet fikk en styrke på 4 Kp-indeks, målte studien enkelte steder i Norge en lokal styrke på 5. Studien trekker frem målinger gjort i Tromsø og på Rørvik. I diagrammene under er den lokale Kp indeksen visualisert på y-aksen mens x-aksen viser klokkeslett med et tidsintervall på tre timer. Det kommer frem i studien at det i teorien ikke skal være noe utfordringer med satellittnavigasjon under geometriske forhold med en styrke på 5. Studien konkludere med at brukere av GNSS på høye breddegrader ikke skal ha for stor tiltro til det globale Kp varslet. En egen tilnærming til varselet er anbefalt.



Figur 13: Kp indeks fra Tromsø og Rørvik for 2013-01-17

Det presiseres i studien til Andalsvik og Jacobsen at selv om det hevdes at en kp verdi på 5 ikke vil forårsake utfordringer for satellittnavigasjon, fikk man forstyrrelser på GNSS. Det kommer videre frem at de største GNSS forstyrrelsene kom når de geometriske forholdene var på sitt sterkeste. Forstyrrelsene ble målt ved hjelp av ROTI og sigma $\sigma\theta$. Sigma $\sigma\theta$ er

indeksen som blir brukt for å måle fasescintillasjonen. De største forstyrrelsene som ble målt var i Nord-Norge. På bakgrunn av dette stiller de spørsmål om hvor anvendbare beskrivelsene av påvirkningen de ulike kp verdiene er ved høyere breddegrader

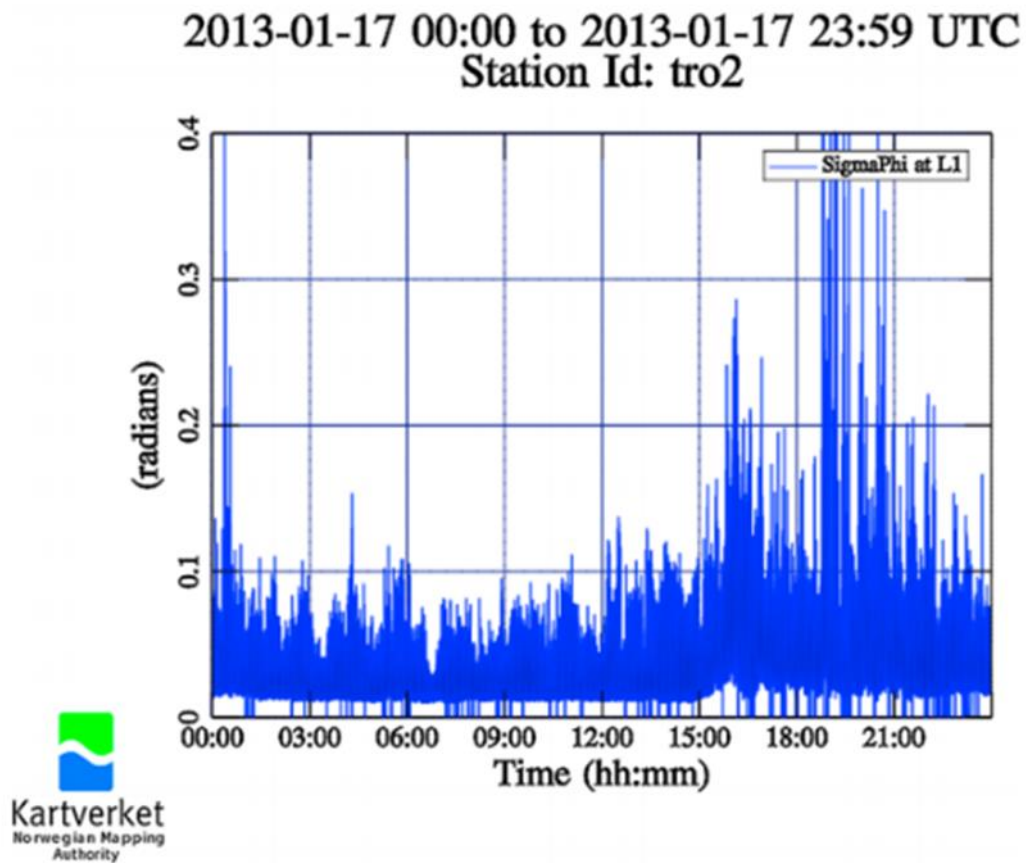


Figur 14: ROTI plott under definert tidsrom (Andalsvik, Jacobsen, 2014, s 6)

Når solstormen nådde sitt maksimale ved 15 UT illustrerer de påvirkning den hadde på GNSS med et ROTI-diagram (vist over avsnittet). ROTI verdiene gir oss en indikasjon på hvordan ionosfæreforstyrrelsene var under solstormen i Norge. Rødt symboliserer Nord-Norge, grønt Midt-Norge og blått Sør-Norge. Diagrammet illustrerer at ved 15 UT får man en signifikant økning i TECU verdier i ionosfæren.

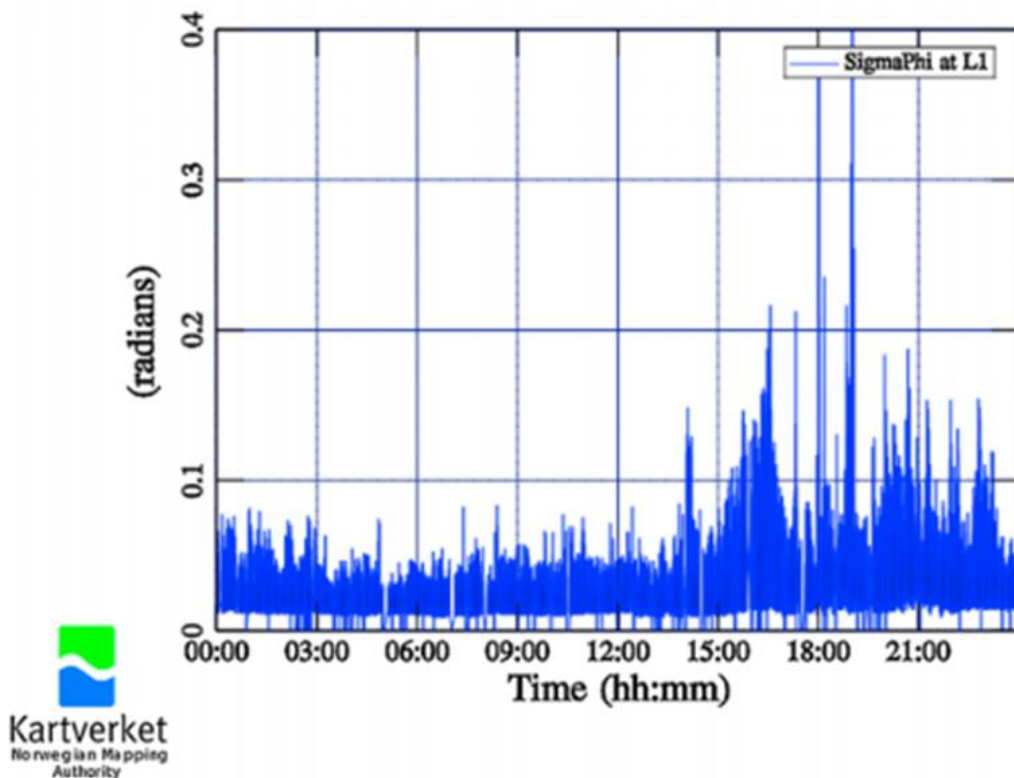
Studien viser også at målinger av fase scintillasjonen korrelerer med forstyrrelsene i det geomagnetiske område. Målingene av fase scintillasjonen ble gjort ved forskjellige breddegrader. Under posisjonskonferansen til kartverket torsdag 18.mars fortalte Yngvild L. Andalsvik ved Norsk Romsenter at de største påvirkningene av romvær skjer ved ekvator og ved polområdene. I rapporten viser målingene av fase scintillasjon at mottakeren ved Tromsø gir et høyere utslag på sine målinger enn mottakeren ved målestasjonen på Vega (Se bildet

under). Y-aksen til diagrammene viser fase scintillasjonen GPS signalet L1 målt i radianer. X-aksen viser tiden når målingene ble gjort.



Figur 15: Over ser vi $\sigma\Phi$ indeks for L1 fra målestasjonen i Tromsø. Diagrammet viser data fra satellitter med dekning over stasjonen.

2013-01-17 00:00 to 2013-01-17 23:59 UTC
Station Id: veg2

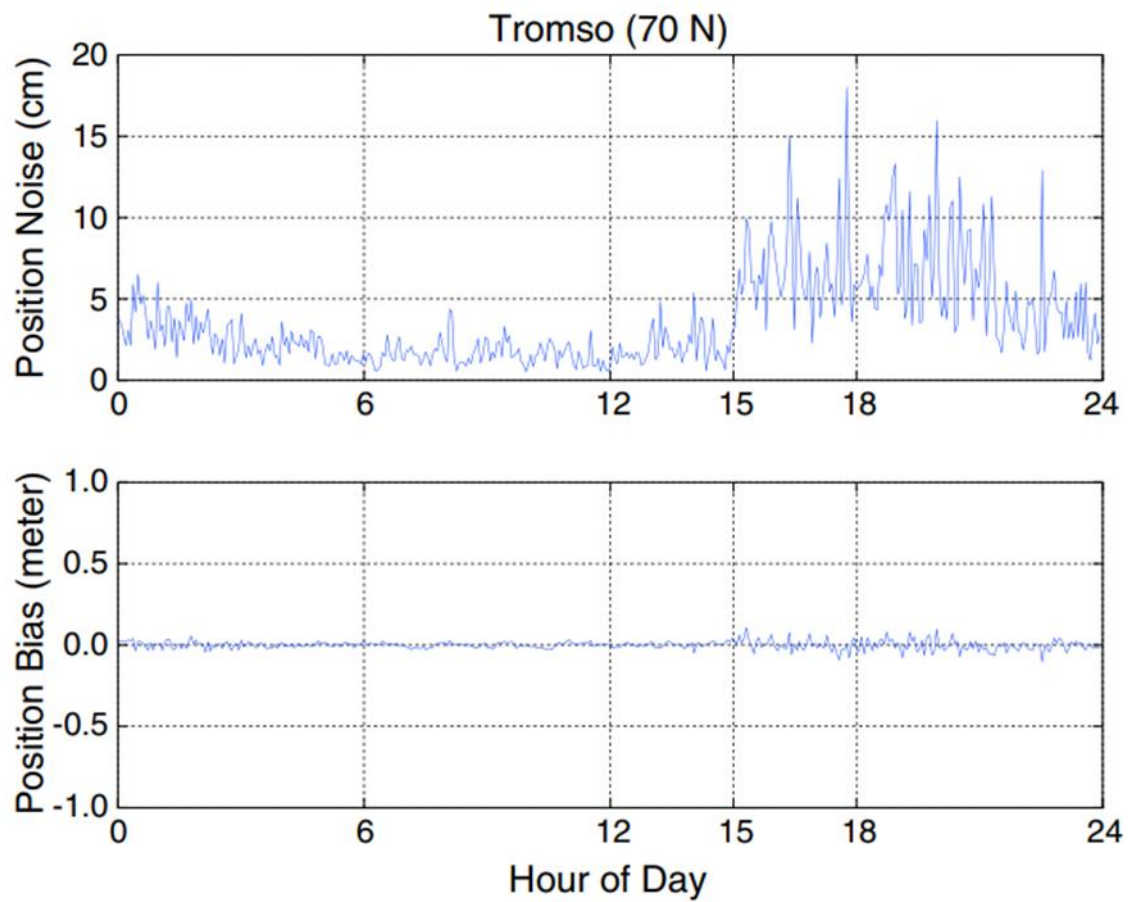


Figur 16: Over ser vi $\sigma\Phi$ indeks for L1 fra målestasjonen i Vega. Diagrammet viser data fra satellitter med dekning over stasjonen.

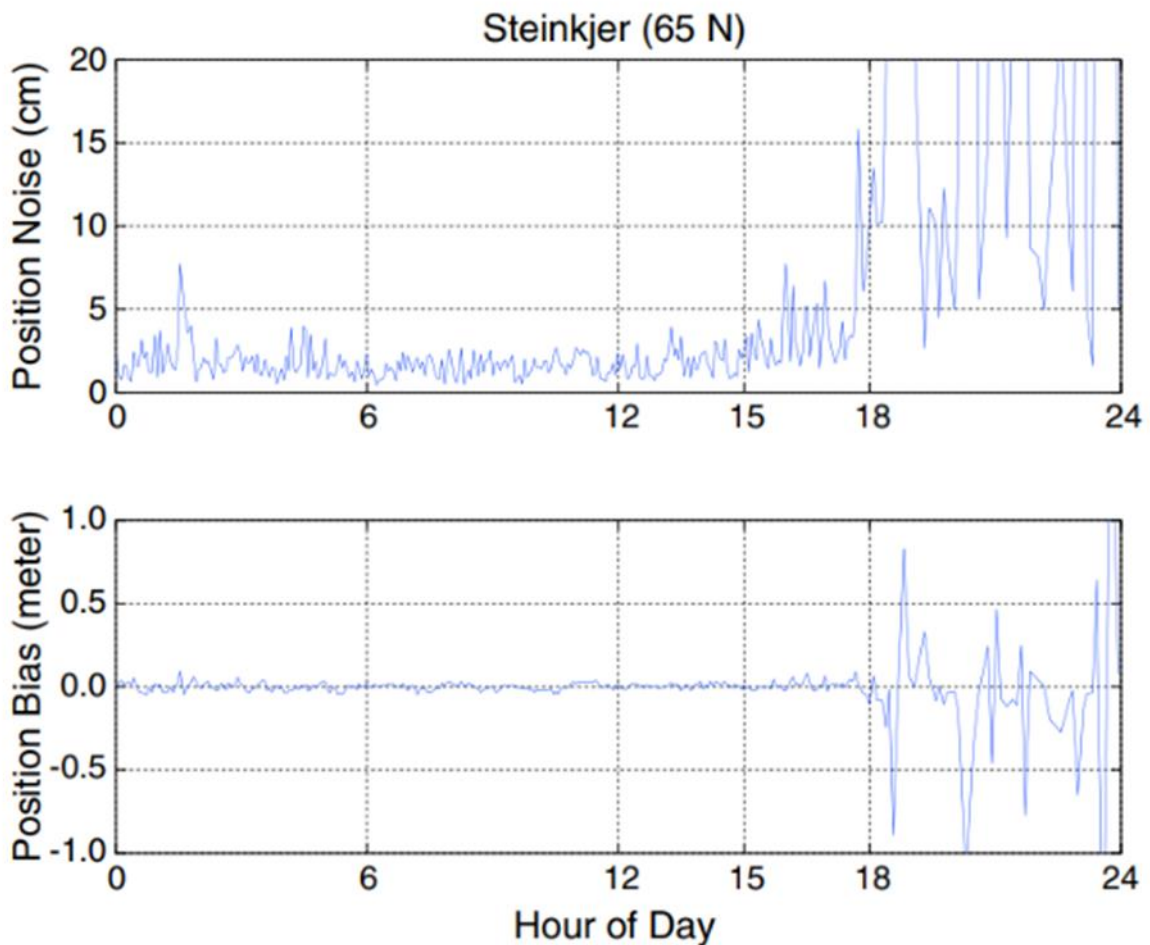
Målestasjonen på Vega befinner seg lengre sør enn Tromsø. Diagrammene viser at målingene ved de to stasjonene følger hverandre jevnt uten de store forskjellene. Det som skiller de fra hverandre er en forskjell i de maksimale målingene. Tromsø gir et gjennomsnittlig høyere utslag enn ved Vega. I dette tilfellet viser det at fase scintillasjonen er jevnt over større lengre nord.

Et annet interessant funn fra rapporten er målinger gjort på forholdet mellom støy og posisjonsnøyaktighet gjort ved Tromsø (70N) og Steinkjer (65N). I rapporten kommer det frem at stasjonen på Steinkjer fikk mindre scintillasjons- og nettverkforstyrrelser enn Tromsø. Den fikk på tross av dette størst utslag på posisjonsnøyaktigheten. Dette er illustrert i diagrammene på neste side. Målingene som ble gjort i Tromsø kommer øverst, deretter målingene i Steinkjer. Det er gjort to forskjellige målinger ved målestasjonene. Det øverste diagrammet viser støy på posisjonsberegningen i centimeter. Det andre diagrammet viser feil i

posisjonsberegningen i meter. X-aksen på begge diagrammene symboliserer klokkeslettet for målingene.



Figur 17: Viser forholdet mellom støy og posisjonsforstyrrelser i Tromsø 17.januar 2013



Figur 18: Viser forholdet mellom støy og posisjonsforstyrrelser i Steinkjer 17.januar 2013

Det som er interessant med disse målingene er at stasjonen ved Steinkjer (65N) fikk de dårligste posisjonsnøyaktighetene på tross av at den befinner seg 5 grader sør for Tromsø (70N). Andalsvik og Jacobsen forklarer at grunnen til at Steinkjer får en dårligere posisjonsnøyaktighet er fordi stasjonen befinner seg lengre vekk fra referansesystemer.

Studien viser ved sammeling av ENGOS availabilities APV1 (Approach with Vertical Guidance) kart fra dagen før solstormens påvirkning på GNSS. Her kommer det frem at EGNOS tilgjengelighet blir mindre enn 99 % i flere deler av nordområdene. Tilgjengeligheten må være over 99% for at referansesystemet kan bli tatt i bruk. (Andalsvik & Jacobsen, 2014, s.9). Etter å ha studert hvordan romværet den 17.januar 2013 påvirket GNSS, konkluderer forskerne at dager med mindre romvær kan få store lokale påvirkninger ved høyere breddegrader. De konkluderer også med at forstyrrelsene kan bli forsterket hos mottakere som befinner seg langt vekk fra referanse systemer.

5 DRØFTING

5.1 Romværs påvirkning på satellittnavigasjon

I boken Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer for maritime studier kommer det frem under kapittelet 3.4 «*Feilkilder i satellittnavigasjon*» at ionosfæren blir påvirket av romvær fra solen. Romværet øker elektrontettheten (TEC) i ionosfæren som følgelig skaper dårlige signal-/ støyforhold for GNSS. Dette kan føre til “lost of lock” noe som hindrer mottakerne å gjøre en posisjonsberegning. Videre kommer det frem at hvis man har en 2 frekvent mottaker med eksempelvis en L1 og L2 bånd vil man miste L2 signalet først. Dette er fordi L2 signalet er det svakeste. Når mottakeren mister et av signalene vil den ikke være i stand til å beregne ionosfærefeilen og derav få en degradering i posisjonsnøyaktigheten (Kjerstad, 2019, s1-51).

I Andalsvik og Jacobsen sin casestudie kommer det frem at romvær påvirker satellittsystemer på den måten at elektroner fra romværet treffer jordens magnetfelt og ionosfæren. Dette fører til en fortetting av elektroner rundt jorden samt at det endrer forholdene i ionosfæren.

Påvirkningen vil være størst rundt polene og ekvator. Det svake satellittsignalet blir som følge av dette forstyrret. Signalet kan både oppleve fase og amplitude scintillasjon samt faseforstyrrelser. Dette fører til en degradering i posisjonsnøyaktigheten til GNSS. Det kommer også frem i studien til Berdermann at det ikke bare er denne fortetningen av elektroner alene som fører til en degradering av posisjonsnøyaktigheten til GNSS. De presiserer i sin studie at det er den hurtige endringen av TEC i ionosfæren på kort tid som skaper utfordringer for GNSS mottakerne. Studien har brukt ROTI verdier for å si noe om endringen i elektrontettheten (TEC) og forholdene i ionosfæren.

Ifølge Berdermann sin studie er det ikke mengden elektroner i ionosfæren som er problemet, men den hurtige økningen av TEC og ioniseringen. Resultater fra begge studiene bygger opp mot denne påstanden, hvor man kan se at de største forstyrrelser på GNSS forekommer når ROTI indeksen er på sitt høyeste (Som illustrert i Figur 8 og 14). I «Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer for maritime studier» kommer det ikke frem at det er den raske endringen i elektrontetthet som forårsaker “lost of lock” slik Berdermanns casestudie presiserer. På den andre siden samsvarer læreboken og studienes generelle forklaring om hvordan romvær påvirker GNSS.

5.2 Global og lokal påvirkning

I boken «Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer for maritime studier» kommer det og frem under kapittelet 3.4 «Feilkilder i satellittnavigasjon» at den hurtige endringen i solens magnetfelt vil forstyrre ionosfæren og da spesielt ved høyere breddegrader rundt 60-65 breddegrad.

“Hurtige variasjoner i solens magnetfelt kan også skape forstyrrelser i ionosfæren i form av såkalte “geomagnetiske stormer”. Slike vil skape størst problemer i nordlyssonen som ligger ved ca. 60-65 magnetisk bredde (N/S) og ved magnetisk ekvator. Styrken på de geomagnetiske stormene beskrives med “K-indeks” på en skala fra 0-9.” (Kjerstad, 2019, s.1-51).

I casestudien gjennomført av Andalsvik og Jacobsen ble det først registrert forstyrrelser ved magnetometrene lengst nord i Norge. De magnetiske forstyrrelsene utvidet seg sørover til Midt-Norge. Den geometriske stormen nådde sitt maksimale 15UT og vedvarte resten av dagen. Det som var spesielt med denne stormen var at den globalt ble målt til en Kp-verdi på 4, som er under NOAAs skala for styrke på geometriske stormer. Fra det globale diagrammet vist gjennom figur 6 kommer det fram at kl.15-18 var Kp-verdien på 4. Den lokale Kp indeksen viste seg igjennom studien å ha en styrke på 5 presentert i figur 7. Dette er noe som samsvarer med Kjerstads beskrivelse om at romvær har en større påvirkning på satellittposisjonering ved høyere breddegrader.

Ifølge Kjerstad vil geometriske stormer med en verdi mellom 4-5 på Kp indeksen gi middels aktivitet. Studien til Andalsvik og Jacobsen viser at selv om de geometriske forholdene tilsier middels aktivitet kan man forvente at påliteligheten til GNSS posisjonsberegninger blir degradert. En kp verdi på 5 skal ifølge NOAA ikke ha noen påvirkning på satellittnavigasjon, men studien til Andalsvik og Jacobsen viser at forholdene påvirket ROTI og Sigma $\sigma\theta$. Høye ROTI og sigma $\sigma\theta$ verdier gjør at mottakerne fortere får dårlige posisjonsberegninger samt mister “Lock” på satellitten lettere. Dette fører følgelig til at påliteligheten til GNSS faller. På bakgrunn av Andalsvik og Jacobsens ROTI og Sigma $\sigma\theta$ målinger kan det hevdes at forstyrrelser på GNSS selv med lave eller moderate Kp verdier er sannsynlig.

På den andre siden ble det også tatt målinger fra GNSS stasjoner i Midt-Norge som opplevde lite scintillasjons forstyrrelser illustrert i figur 17 og 18. Det bemerkelsesverdige med disse målingene var at denne stasjonen opplevde størst degraderingen i posisjonsnøyaktighet. Andalsvik og Jacobsen forklarer at grunnen til dette er fordi stasjonen var lokalisert lengst vekke fra GNSS referansestasjoner. Dette funnet er med på å gjøre det uklart om det er

breddegraden man befinner seg på eller avstand til GNSS referansestasjoner som har størst betydning for posisjonsnøyaktigheten. Altså romværet får en større påvirkning på ionosfæreforstyrrelsene ved høyere breddegrader. GNSS påliteligheten kan følgelig bli degradert, men nærhet til referansestasjoner kan minimere påvirkningen av romværet. Når det er sagt viser begge studiene at EGNOS også vil bli degradert som følge av en solstorm.

5.3 Sannsynlighet

Hva som forårsaker forstyrrelser i ionosfæren og hvilke konsekvenser det får for posisjonen er viktig for brukeren å ha en bevissthet til. Er det mulig å forutsi når romværet kommer til å påvirke atmosfæren?

Under posisjonskonferansen 18.mars fortalte forsker Tom Arild Blix ved FFI (Forsvarets Forsknings Institutt) at solen har en syklus på ca. 11 år mellom hver gang solaktiviteten når sitt mest aktive. I Kjerstad kommer det frem at neste gang syklusen er på sitt maksimale er i 2024. Da vil aktiviteten være høyest, og det kan oppstå flere solstormer. Sannsynligheten store solstormer er høyere når syklusen er på topp. Dette er med på å kunne forutsi når det vil være større sannsynlighet for når en solstorm vil inntreffe og påvirke GNSS.

På den andre siden blir det nevnt i studien til Andalsvik og Jacobsen at vi kun har forsket på solaktiviteten i 400 år. Dette er bare er en brøkdel av solens lange liv. I studien nevner de at den antatt største solstormen som har vært, oppdaget av Richard Carrington 1.september 1859. Det hevedes at dagen etter solstormen traff jorden kunne man se nordlys så langt sør som Cuba ved 23 grader nord. Stormen var så kraftig at den slo ut telegrafer verden over (Bell. Phillips, 2021).

Selv om denne hendelsen er over 150 år gammel, vet vi ikke om dette er det kraftigste romværet som kan oppstå. Tatt i betraktning den relative korte tiden mennesker har observert romværsfenomener, kan vi til en viss grad kunne forutse aktiviteten igjennom solens 11 års syklus. På den andre siden kan vi aldri være 100% skikker på om dette vil vedvare i fremtiden. Hvis en slik solstorm som i 1859 treffer i dag kan det tenkes at all høyteknologisk infrastruktur vil bli påvirket.

Det som forårsaket de geometriske forstyrrelsen på jorden 17.januar 2013, var en solstorm av typen CME (Coronal Mass Ejection) på solen den 13.januar. Solstormen oppstod altså 4 dager før de geometriske forstyrrelsene påvirket GNSS.

I Elektroniske og Akustiske navigasjonssystemer for maritime studier står det følgende

“Ca. to dager etter røntgenstrålene kommer partiklene som vil ionisere av magnetfeltet – spesielt i nordlyssonen. Dette vil kunne medføre en reduksjon i SNR (Signal/ -støyforhold) på 5-6, noe som kan gjøre det vanskeligere å følge satellittene og ha en stabil posisjon”
(Kjerstad, 2019, s.1-51).

Sammenligner man Kjerstad og tilfellet i casestudien til Andalsvik og Jacobsen kan det hevedes at det vil ta ca. 2 til 4 dager før en solstorm skaper forstyrrelser for GNSS. Når det er sagt vil det alltid være en utfordring å hindre de fysiske påvirkningene solstormen har på systemet. På den andre siden kan man hevde at man vil kunne få atmosfæriske påvirkninger uten en solstorm. Dette er noe vi kan se i Andalsvik og Jacobsens studie.

Avslutning

I denne bacheloroppgaven har vi besvart følgende problemstilling:

Hvordan påvirker romvær Global Navigation Satellite System (GNSS)?

Målet med denne oppgaven var å belyse hvordan romvær påvirker GNSS. I den hensikt å øke bevisstheten til navigatører rundt problemstillingen. Med hensyn i oppgavens størrelse valgte vi å ha et overordnet perspektiv på problemstillingen. Dette har vi gjort ved å analysere to studier gjort innenfor tematikken i oppgaven. Funnene ble drøftet opp mot hverandre samt opp mot tidligere kunnskap og teori.

Ifølge publikasjonene påvirker romvær GNSS på en slik måte at partikler fra solen forstyrrer forholdene i atmosfæren. Dette fører til at blant annet elektrontettheten i ionosfæren øker, noe som kan skape dårlig signal/støyforhold for mottakerne. Den hurtige økningen i elektrontetthet fører til at mottakerne ikke klarer å beregne riktig ionosfærefeil og følgelig får en dårligere posisjon. Dette kan i enkelte tilfeller føre til at mottakeren får såkalt lost of lock og mister posisjonen helt. Det kommer og frem i Andalsvik og Jacobsen at globale varsler på atmosfæriske forhold ikke alltid er like nøyaktige. Spesielt rundt polene. Dette krever at brukeren av GNSS i disse områdene har et annet forhold til varslene og kan forvente større lokale forstyrrelser.

Solstorm aktiviteten er styrt av solfleck syklusen som er på 11 år. Dette gjør at man kan predikere hvordan aktiviteten på solen vil være. Når det er sagt vet vi fortsatt lite om hvordan man kan forutse de største solstormene. Vitenskapen vet heller ikke hvor store solstormer vi kan forvente eller deres innvirkning på Jorden. Videre forskingen innen GNSS kan være hvordan kan GNSS bli mer robust mot romvær spesielt med tanke på solstormer.

For navigatører som navigerer med GNSS ved høyere breddegrader, kan det være hensiktsmessig å ha kunnskap om hvordan solstormer påvirker GNSS. Solaktiviteten kan man følge med på ved å gå inn på SWPC sine sider, her legger de ut varsler om romværet. Har du mot formodning glemte å sjekke dette, er nordlys en indikator på at atmosfæriske forstyrrelser kan forkomme som følgelig påvirker GNSS.

Referanseliste

- Andalsvik Y.K, J.S Jacobsen (2014) “Observed high latitude GNSS disturbances during a less –than – minor geomagnetic storm.”
- Dr. Martyn Thomas, (mars, 2011). Gobar Navigation Space Systems: reliance and vulnerabilities. Hentet fra: global-navigation-space-systems (raeng.org.uk)
- Danielsen, V, Gullikstad Johansen, M. (2020, 5. Juni). Romvær. Hentet fra: romvær – Store norske leksikon (snl.no)
- Gordon Homan, Sarah Benedict. Nasa. (23 September 1996). What is a solarflare. Hentet fra: Solar Flares (nasa.gov)
- J. Berdermann, M. Krigel, D. Banyas, F Heymann, M.M Hoqe, V. Wilken N. Jakowski. (2018). “Ionospheric Response to the X9.3 Flare on 6 September 2017 and Its Implication for Navigation Services Over Europe”
- Norvald Kjerstad, (2019). “Elektroniske og Akustiske Navigasjonssystemer for maritime studier” 6. Utgave, Bergen: Fagbokforlaget.
- NTNU, Geir Andre Pedersen (2018, 19 desember). Litraturstudie som metode. Hentet fra: Litteraturstudie som metode - YouTube
- SPWC, (mai, 2021). Ionosphere. Hentet fra: Ionosphere | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center
- SPWC, (mai, 2021). Space weather phenoma. Hentet fra : Space Weather Phenomena | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center
- SPWC, (mai, 2021). Ionospheric scintillation. Hentet fra: Ionospheric Scintillation | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center
- SPWC, (mai, 2021). Total Electron content. Hentet fra: Total Electron Content | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center
- Trudy. E Bell, Dr. Tony Phillips, (2021). A Super Solar Flare. Hentet fra: A Super Solar Flare | Science Mission Directorate (nasa.gov)

