

10007

10022

10023

SBAS og DGPS ytelse langs norskekysten

TN303212 Hovedprosjekt

Mai 2019

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for design

Bacheloroppgave

2019



10007
10022
10023

SBAS og DGPS ytelse langs norskekysten

TN303212 Hovedprosjekt

Bacheloroppgave
Mai 2019

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for design



Kunnskap for en bedre verden



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

TN303212 Hovedprosjekt

SBAS og DGPS ytelse langs norskekysten

10007,10022, 10023

Totalt antall sider inkludert forsiden: 83

Innlevert Ålesund, 28.05.2019

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. **Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.**

<i>Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:</i>		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter NTNUs studieforskrift.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Norvald Kjerstad

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 30.04.2019

Oppgavetekst

SBAS og DGPS ytelse langs norskekysten

Det er stadig mer fokus på mulighetene for utfall av GNSS system (inkl. støttesystemer) og konsekvensene dette kan ha, bl.a. for sivil skipsfart. Topografi og miljø langs norskekysten kan dessuten ha stor innvirkning på støttesystemene som skal bidra til integritet og bedre ytelse. I denne oppgaven skal studentene undersøke og utrede blant annet:

- Gjøre kort rede for forskjellige former for påvirkning av GNSS systemer som gjør at disse kan bli utilgjengelige på skip i kortere eller lengre tidsrom, samt forskjellige former for støttesystem som skal bidra med integritet og bedre ytelse på systemene.
- Undersøke ytelsen og dekningsgraden på SBAS, samt Kystverkets DGPS kjede langs norskekysten. Dette bl.a. basert på data som gjøres tilgjengelig fra Kystverket.
- Undersøke om seilende navigatører bruker DGNSS og om de har opplevd at tjenestene er utilgjengelige.
- Diskutere tiltak for å opprettholde ytelse og integritet på GNSS baserte systemer i dag, og i den nære fremtid

Besvarelsen skal redigeres mest mulig som en forskningsrapport med sammendrag, konklusjon, referanseliste, etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal det legges vekt på å gjøre den så kort og oversiktlig, presis og etterrettelig som mulig. Oppgavens omfang skal reflektere en arbeidsbelastning på ca. 15 studiepoeng for hver av studentene.

NTNU i Ålesund forbeholder seg retten til fritt å kunne benytte oppgaven i undervisning og utviklingsarbeid.

Veileder: Norvald Kjerstad

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende utdanning for studieretningen Nautikk ved institutt for havromsoperasjoner og byggingsteknikk, ved NTNU i Ålesund. Oppgavens problemstilling er utarbeidet av Norvald Kjerstad, dosent ved instituttet, med posisjonsdata gjort tilgjengelig fra Kystverket lagt til grunn.

Vi ønsker å rette en stor takk til:

- Vår veileder Norvald Kjerstad for gode retningslinjer, veiledning og høy tilgjengelighet under oppgaveskrivingen.
- Bjørnar Kleppe fra Kystverket for god hjelp vedrørende posisjonsdata og utarbeidelse av spørreundersøkelsen.
- Per Erik Kvam, Bjørn Digre og Eirik Rensvik fra Kongsberg Seatex for økt forståelse av tema og utstyr.
- Alle navigatører som tok seg tid å svare på spørreundersøkelsen.
- Medstudenter som deltok i pilottest og bidro med konstruktive tilbakemeldinger til spørreundersøkelsen.
- Mannskapet om bord på M/S Polarlys.

Sammendrag

Det er stadig mer fokus på muligheten for utfall av GNSS-system inkl. differensielle støttesystemer og konsekvenser dette kan ha for skipsfarten. I denne oppgaven har vi tatt for oss dekning og ytelse langs norskekysten for de differensielle korreksjonstjenestene, basert på IALA DGPS og SBAS, samt behov og bevissthet rundt dette blant seilende navigatører.

Over en ettårs periode mellom desember 2017 og november 2018 har Kongsberg Seatex, på vegne av Kystverket, gjennomført målinger langs norskekysten. Målingene baserer seg på posisjonsdata, og danner grunnlaget for måleparametere som benyttes for å definere dekning og ytelse. Etter systematisk gjennomgang av tallverdier, grafiske fremstillinger og utregninger har gruppen klart å identifisere avvik, og skaffet seg en oversikt over de to ulike korreksjonstjenestene. På grunn av fundamentalt ulike metoder for distribusjon til mobile mottakere, er resultatene noe ulike. SBAS-tjenesten EGNOS, i likhet med GPS alene leverer høy tilgjengelighet og god nøyaktighet. Kystverkets DGPS basert på IALA guidelines, viser en varierende tilgjengelighet, men god nøyaktighet.

Navigatører sikrer navigasjon gjennom kunnskap og ved hjelp av navigasjonshjelpemidler. Ved å benytte differensielle korreksjonssystemer kan feilkilder reduseres og brukeren får integritet på GNSS-tjenestene. Spørreundersøkelsen viser at bevissthet og kunnskap rundt temaet DGNSS er lav, men de fleste opplever systemene som tilfredsstillende. Den viser også høye forventninger til nøyaktighet, samt høyt fokus på sikker navigasjon, noe som antyder et behov for DGNSS.

Med resultatene fra analyse av posisjonsdata og den gjennomførte spørreundersøkelsen lagt til grunn, har gruppen klart å identifisere avvik og mangler på både Kystverkets DGPS og EGNOS, samt kartlagt bevissthet og behov omkring tjenestene. For å kunne opprettholde og forbedre ytelse og dekningsgrad, er konkrete tiltak fremlagt.

Innhold

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring	I
Publiseringsavtale	II
Oppgavetekst.....	III
Forord.....	IV
Sammendrag.....	V
Akronymer	IX
Kapittel 1 Innledning	1
Kapittel 2 Teori	3
2.1 Kvalitetsbegrepene	3
2.1.1 Nøyaktighet	3
2.1.2 Posisjonssannynlighet	3
2.1.3 Feilellipsen	4
2.1.4 Integritet	5
2.1.5 Kontinuitet	5
2.1.6 Tilgjengelighet	5
2.1.7 Horisontal feil (HE-verdier).....	6
2.1.8 EPE (mottaker).....	6
2.2 Teori om satellittnavigasjon	6
2.2.1 Historie.....	6
2.2.2 Satellittnavigasjon og GPS-systemet	7
2.2.3 IMO	8
2.2.4 P-kode og C/A-kode.....	9
2.2.5 S/A	9
2.3 Feilkilder forbundet med satellittnavigasjon	9
2.3.1 Satellittgeometri	10
2.3.2 Satellitten	10
2.3.3 Signalutbredelse	11
2.3.4 Avstandsfeil	12
2.3.5 Scintillasjoner.....	12
2.3.6 Feil som oppstår i mottakeren	13
2.4 Differensielle systemer	13

2.4.1	Grunnprinsipp	14
2.5	IALA DGPS	14
2.5.1	IALA DGPS i Norge	15
2.5.2	Virkemåte Kystverkets DGPS.....	16
2.5.3	Utbredelse av radiobølger	17
2.5.4	Mottaker	18
2.6	Satelite based augmentation system	18
2.6.1	SBAS i Europa	19
2.6.2	Virkemåte EGNOS.....	19
2.6.3	SBAS i andre deler av verden	21
2.6.4	Differensielle støttesystemer fra kommersielle selskaper.....	22
2.6.5	Fugro	23
2.7	Fallgruver DGNSS	23
Kapittel 3	Metode.....	25
3.1	Forkunnskap og litteraturstudie.....	25
3.2	Spørreundersøkelsen	26
3.2.1	Utarbeidelse.....	26
3.2.2	Distribusjon	27
3.2.3	Analysering	28
3.2.4	Troverdighet.....	28
3.3	Posisjonsdata	29
3.3.1	Målingene.....	29
3.3.2	Bearbeiding og analysering av data	31
3.3.3	Validitet og reliabilitet	33
Kapittel 4	Spørreundersøkelse og posisjonsdata.....	34
4.1	Spørreundersøkelse	34
4.2	Posisjonsdata	45
4.2.1	Analyse av posisjonsdata	45
4.2.2	Dekning mellom Bergen og Ålesund.....	49
4.2.3	Dekning i Midt/Nord-Norge	53
Kapittel 5	Diskusjon	58
5.1	Ytelse og dekningsgrad	58
5.2	Bevissthet og behov.....	60
5.3	Tiltak for å opprettholde/utbedre ytelsen for tjenesten.....	61

Kapittel 6	Konklusjon	64
Referanser	66
Figurliste	69
Tabeller	71

Akronymer

C/A-koden	Coarse Acquisition- koden
CSV	Comma-Separated Values
DGNSS	Differential Global Navigational Satellite System
DGPS	Differential Global Positioning System
DOP	Dilution Of Precision
DP	Dynamic Position
DRMS	Distance Root Mean Square
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EPE	Estimated Position Error
ESA	European Space Agency
EU	European Union
GANGAN	GPS Aided Geo Augmented Navigation
GEO	Geostationary Equatorial Orbit/Geostasjonær
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision
HE	Horizontal Error
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMO	International Maritime Organization
LAT	Latitude
LON	Longitude
MCC	Mission Control Center
MEO	Medium Earth Orbit
MF	Medium Frequency
MGC	Motion sensor Gyro Compass
MRU	Motion Reference Unit
M/S	Motorskip
MSAS	Multi-Functional Satellite Augmentation System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NLES	Navigation Land Earth Station
NM	Nautical Mile
NTNU	Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet
P-koden	Precise-koden

PPP	Precise Point Position
PRC	Pseudo Range Correction
PRN	Pseudo Range Noise
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RIMS	Range Integrity Monitoring Stations
RoPax	Roll-on/Roll-off Passenger
RRC	Range Rate Correction
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime services
SA	Selective Availability
SBAS	Satellite Based Argumentation System
SNR	Signal Noise Ratio
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
TEC	Total Electron Content
URE	User Range Error
VDOP	Vertical Dilution of Precision
VBS	Virtual Base Station
WAAS	Wide Area Argumentation System
WADGNSS	Wide Area Differential Global Navigational Satellite System
WGS84	World Geodetic System 84

Kapittel 1 Innledning

Trygg og effektiv navigasjon sikres i dag gjennom GNSS. Systemet har sine feilkilder og sårbarheter, men flere av disse kan reduseres ved hjelp av støttesystemer. For å sikre høy nøyaktighet og integritet i satellittnavigasjon benyttes differensielle korreksjonstjenester (DGNSS) som et supplement til GNSS.

I Norge tilbyr Kystverket et DGPS-system basert på IALA guidelines, en anbefaling som setter en internasjonal standard for infrastruktur og ytelse. ESA tilbyr en lignende tjeneste, EGNOS (SBAS), men benytter en ulik metode for korreksjon og distribusjon. Tjenesten til ESA har også et større dekningsområde.

Kystverket drifter i dag 12 DGPS-stasjoner strategisk plassert langs Norges kystlinje. Disse stasjonene skal med tanke på oppbygning, plassering og antall, levere en tilfredsstillende tjeneste til alle seilende fartøy langs norskekysten. For å forsikre seg om dette ønsket Kystverket å kartlegge ytelse og dekning, samt å sammenligne systemet opp mot EGNOS og GPS alene. Prosjektet ble derfor lagt frem som et forslag til bacheloroppgave for nautikkstudenter ved NTNU i Ålesund. Gruppen fant oppgaven interessant og givende, da det er bidrag til en tjeneste som trygger navigasjon for oss fremtidige navigatører og alle sjøfarende. Oppgaven har lagt disse problemstillingene til grunn:

- Gjøre kort rede for forskjellige former for påvirkning av GNSS systemer som gjør at disse kan bli utilgjengelige på skip i kortere eller lengre tidsrom, samt forskjellige former for støttesystem som skal bidra med integritet og bedre ytelse på systemene.
- Undersøke ytelsen og dekningsgraden på SBAS, samt Kystverkets DGPS kjede langs norskekysten. Dette bl.a. basert på data som gjøres tilgjengelig fra Kystverket.
- Undersøke om seilende navigatører bruker DGNSS og om de har opplevd at tjenestene er utilgjengelige.
- Diskutere tiltak for å opprettholde ytelse og integritet på GNSS baserte systemer i dag, og i den nære fremtid

Oppgaven er formet som en forskningsrapport og er systematisk delt inn i kapitlene teori, metode, analyse, diskusjon og til slutt konklusjon. Teoridelen gir en innføring i virkemåte og vanlige feilkilder for GNSS og DGNSS. Delen har den hensikt å forklare hva satellittnavigasjon er, historie og utvikling av GPS, da dette danner grunnlag for behovet for DGNSS.

Arbeidet med spørreundersøkelse og posisjonsdata er uavhengige og resultatene sammen skal danne grunnlag for videre diskusjoner, derfor blir metode og analyse for hver fremlagt separat. Spørreundersøkelsen har som hensikt å belyse et representativt bilde av navigatørers bevissthet og behov av DGNSS langs norskekysten. Hvert enkelt spørsmål vil bli grafisk fremstilt sammen med en skriftlig tolkning. For en objektiv analyse av ytelse og dekning på tjenestene, er det blitt gjort beregninger av tilgjengelighet og nøyaktighet, basert på innsamlet posisjonsdata gjort tilgjengelig fra kystverket.

I diskusjonsdelen tar vi for oss funn fra spørreundersøkelsen og beregninger fra posisjonsdata opp mot krav og behov. Sammenhenger mellom beregninger og antall referansestasjoner blir også knyttet opp mot brukernes opplevelse av systemet. Utfallet av diskusjonen danner videre grunnlag for konkrete tiltak for å opprettholde/utbedre ytelse og dekning på de to DGNSS-systemene Kystverkets DGPS og EGNOS.

Kapittel 2 Teori

«Navigasjon er læren om hvordan man finner veien over havet eller gjennom luften, samt kunsten å praktisere denne lære» (Ording, 2018).

Historisk har kunsten å navigere opptatt mennesker i lang tid, i dag (2019) er navigering viktigere enn noen gang. Den konstante strømmen av fly som tar av og lander, skip som navigerer i kystnære farvann, og lastebilene i og mellom de store byene, er avhengig av å vite hvor de er til enhver tid, for å overholde tidsfrister samt unngå ulykker. Det finnes ikke et tilsvarende system som kan levere den samme nøyaktigheten og ytelsen som de globale satellittnavigasjonssystemene leverer. De globale satellittnavigasjonssystemene omtales heretter som GNSS. I denne oppgaven er store deler av faktaopplysningene om systemenes virkemåte hentet fra boken «Elektroniske og Akustiske Navigasjonssystemer» (2015) skrevet av Norvald Kjerstad.

2.1 Kvalitetsbegrepene

Når man beskriver kvaliteten på GNSS-systemene er det en rekke forskjellige begreper som blir benyttet. For å forsikre seg at man har riktig forståelse for hva begrepene betyr, blir kvalitetsbegrepene som benyttes i oppgaven presentert.

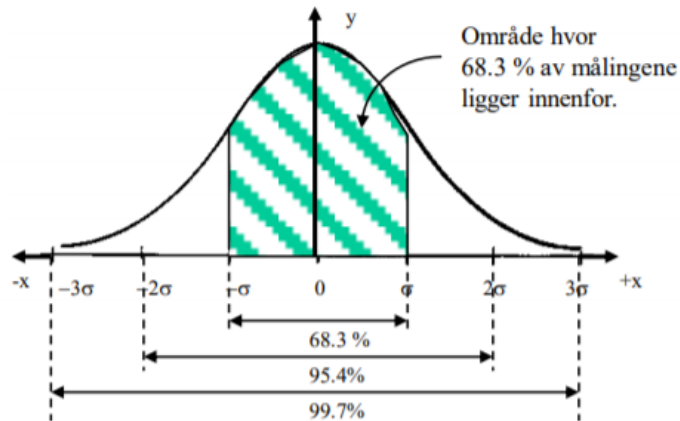
2.1.1 Nøyaktighet

Nøyaktighet er et uttrykk som brukes for å beskrive et systems evne til å beregne den absolutte nøyaktighet. Relatert til posisjonering definerer Kjerstad absolutt nøyaktighet som den sanne posisjonen i kartet (Kjerstad, 2015). I systemet beskrives nøyaktigheten ved hjelp av statistiske verdier og de tilsvarende feilverdiene presenteres som funksjon av sannsynlighet.

2.1.2 Posisjonssannynlighet

Ved å registrere posisjonsverdier og stille dem opp i en normalfordeling, kan man matematisk beskrive sannsynligheten for at posisjonsverdien har en viss nøyaktighet. Middelerdien blant de observerte posisjoner over et gitt tidsrom, er utgangspunktet for

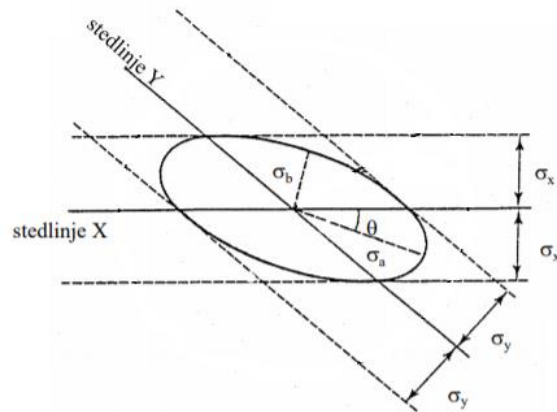
normalfordelingen. Et standardavvik fra middelverdien beskriver de omkringliggende verdienes sannsynlighet. Den greske bokstaven σ brukes normalt om et standardavvik og μ om middelverdi. Ved en normalfordeling vil 1σ gi standardavviket til de ytterste verdiene innenfor 68,3% av målingene, ved 2σ 95,4% av målingene og ved 3σ 99,7% av alle målingene (figur 1). Kravene IMO har satt til radiobaserte systemer, baserer seg også på denne måten å beregne feilverdier (IMO, 2011).



Figur 1. Gausskurve som illustrerer størrelse på standardavvik (σ), middelverdi (y) og sannsynlighet (Kjerstad, 2015).

2.1.3 Feilellipsen

Det er vanlig å presentere nøyaktighet i prosent eller ved hjelp av matematiske figurer. Når man vil presentere nøyaktighet i en 2-dimensjonal figur, hvor sannsynligheten for å befinne seg innenfor figuren er like stor, brukes ellipsen. Basert på flere stedlinjer vil en mottaker kunne beregne en feilfigur med en gitt sannsynlighet for en gitt nøyaktighet (figur 2). Sannsynligheten for nøyaktighet vil være avhengig av hvor stor del av posisjonsverdiene som er innenfor figuren. Om alle registrerte verdier er med i beregningen er nøyaktigheten 100% sannsynlig, men større enn en figur som dekker 50% av verdiene (Kjerstad, 2015).



Figur 2. Illustrasjon av feilellipse med to stedlinjer og posisjonssannsynlighet σ_X og σ_Y (Kjerstad, 2015).

2.1.4 Integritet

Integritet i forbindelse med et system er definert som systemets evne til å varsle om funksjonsfeil. I GNSS-systemene, er integritet spesifikt brukt om systemets evne til å varsle bruker om feil vedrørende en satellittposisjon. «Dette er systemets evne til å varsle brukerne innen et spesifikt tidsrom dersom systemets ytelse skulle falle utenom angitte grenser og således være ubrukelig for navigasjon» (Kjerstad, 2015).

2.1.5 Kontinuitet

Med kontinuitet menes systemets evne til å kontinuerlig opprettholde ytelse over et gitt tidsrom. Gjelder her særlig elektroniske navigasjonssystemer, da forutsatt at det ikke forekommer operatørfeil eller at det er feil i oppkobling av utstyr (mottaker og antenne) (Kjerstad, 2015). IMO stiller eksempelvis generelle krav til kontinuitet på globale radionavigasjonssystemer (IMO, 2011).

2.1.6 Tilgjengelighet

IMO definerer at et system er tilgjengelig dersom systemet opprettholder ytelse og integritet på et gitt tidspunkt. Dersom systemet i kystnære farvann ikke får en integritetsalarm innen 10 sekunder etter tap av ytelse som følge av feil på signalet, oppfyller ikke systemet tilgjengelighetskravet fra IMO. I oppgaven er tilgjengeligheten på en tjeneste et kvalitetsbegrep som brukes for å beskrive dekningsgraden (IMO, 2011).

2.1.7 Horisontal feil (HE-verdier)

I posisjonsdataene blir horisontal feil presentert og kalles HE-verdi, denne oppgis i meter. Dette er en verdi som blir benyttet når man definerer posisjonsnøyaktighet på et posisjonsfix. HE baserer seg på differansen mellom de etterprosesserte Precise Point Position (PPP) «ref. 3.4.1 Målingene» og de målte posisjonene. Når kongsberg regner ut HE-verdier blir formelen $HE = \sqrt{(dn^2 + de^2)}$ brukt, der «dn» er differanse nord og «de» er differanse øst.

2.1.8 EPE (mottaker)

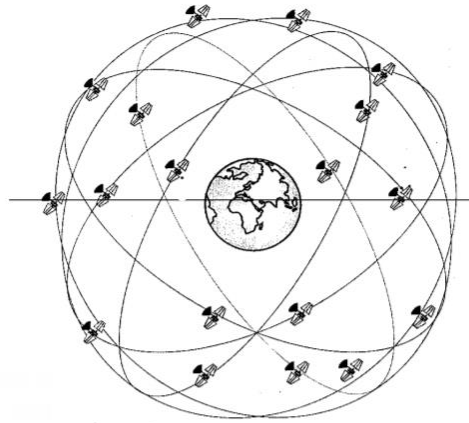
Estimated position error er en verdi som enkelte mottakere kan vise. EPE viser en 95% sannsynlig horisontal feil angitt i meter, basert på geometrien og signalforholdet i øyeblikket (Kjerstad, 2015)

2.2 Teori om satellittnavigasjon

2.2.1 Historie

I 1978 ble den første NAVSTAR-satellitten utviklet i USA av forsvarsdepartementet. Satellitten var revolusjonerende ettersom den baserte seg på tid- og avstandsmålinger mellom flere satellitter og mottaker for å bestemme posisjon. Systemet fikk navn NAVSTAR/Global Positioning System (GPS) men var ikke globalt operativt før 17. juli 1995. Ved å benytte 24 satellitter i MEO-bane, inklinasjon på 55 grader og en omløpstid på cirka 12 timer rundt jorden, sørget GPS for første gang for kontinuerlig global satellitt dekning overalt på jordkloden (figur 3). Det er også i årene siden 1995 flere land som har utformet egne GNSS-system. Sovjetunionen utviklet sitt eget system uavhengig av GPS, kalt GLONASS. Systemet ble erklært operativt med 24 satellitter i 1996. Den europeiske organisasjonen ESA startet også utviklingen av et GNSS-system kalt Galileo, og den første satellitten kom i bane i desember 2005. (Forssell, 2018). Kina har utviklet et eget GNSS-system, BeiDou ble 27. desember 2018 erklært globalt operativt (BeiDou Navigation Satellite System, 2018).

Oppgaven tar for seg dekning og nøyaktighet på de differensielle korreksjonssystemene SBAS og IALA DGPS. Per dags dato (26.02.2019) er GPS det eneste GNSS-systemet som er mulig å kombinere med de aktuelle systemene. Som et resultat er derfor fokuset i denne oppgaven rettet spesielt mot GPS-systemet.



Figur 3. Banekonfigurasjon til GPS. 31 satellitter (2019) går i MEO-baner med en inklinasjon er 55 grader (Kjerstad, 2015).

2.2.2 Satellitnavigasjon og GPS-systemet

I satellitnavigasjon tar man i bruk satellitter som sender sin posisjon og klokkeslett for å bestemme posisjonen til en mobil enhet. Ved å benytte avstandsmålinger til flere satellitter er det mulig for mottakeren å beregne en god posisjon. Man behøver i teorien kun målinger til to satellitter for å finne 2D-posisjon, og ytterligere én satellitt for å bestemme 3D-posisjon. Det er ønskelig å måle så mange satellitter som mulig, hvis man har avstandsmålinger til fire satellitter, vil klokkefeil i mottaker bli eliminert. Signalet eller koden som satellitten sender kalles for PRN (pseudo random noise), koden brukes til å identifisere satellitten og for å følge signalet (Kjerstad, 2015).

En av de største fordelene med satellitnavigasjon er at det er brukbart under alle normale omstendigheter uansett hvor man er i verden. Satellitnavigasjon er i dag en av de mest effektive av de moderne formene for navigasjon som brukes i sivil skipsfart. (Kjerstad, 2015).

Brukernøyaktigheten på GPS kan være vanskelig å fastslå da det avhenger av satellittgeometri, atmosfæriske forhold, mottakerutstyr og blokkering av signal. Likevel garanterer USA at deres GPS-tjeneste skal levere signal der brukeren globalt skal ha en «user

range error» (URE) bedre enn 7,8 meter med 95% sannsynlighet. I praksis leverer tjenesten noe bedre URE enn dette. 11. mai 2016 ble det globalt målt en gjennomsnittlig URE $\leq 0,715$ meter 95% av tiden. Som man ser i figur 4 beskriver ikke URE tjenestens nøyaktighet, men feil i brukerens avstandsmålinger til hver satellitt (U.S. Government, 2017).



Figur 4. Illustrasjon av forskjell på user range error (rød) og user accuracy (blå), URE beskriver ikke tjenestens nøyaktighet, men feil i brukerens avstandsmåling (U.S. Government, 2017).

2.2.3 IMO

International Maritime Organisation (IMO) lager krav til maritime regelverk som medlemslandene forplikter seg til å følge. Regelverket omhandler praktiske, tekniske og operasjonelle krav til skip, samt tjenester medlemslandene skal tilby. Norge er et av landene som har skrevet under på avtalen, og derfor ratifiserte regelverket inn i Norges lovverk. Et av kravene er blant annet at alle handelsskip skal ha en fastmontert mottaker som til enhver tid kan fastslå posisjon automatisk (Forskrift om navigasjonshjelpemidler for skip mv, §15, 2014). IMO stiller også operasjonelle krav til GNSS-systemene, tjenesten skal ha global dekning og kunne brukes av et ubegrenset antall skip. Systemet skal være i stand til å oppdatere den mobile enhetens posisjon minst hvert andre sekund, og satellittsignal bør være tilgjengelig mer enn 99,8% tiden (IMO, 2011).

I «IMO resolution A.1046(27)» stilles det også egne krav til nøyaktigheten og integritet systemet skal levere i forskjellige farvann. I åpent farvann eller ute på verdenshavene skal systemene gi en posisjon med nøyaktighet bedre enn 100 meter, med en sannsynlighet på 95%. Integritetsvarsel skal sendes ut til brukeren så hurtig som mulig via maritim sikkerhetsinformasjon. I kystnære farvann, havneanløp og i havner skal nøyaktigheten være bedre enn 10 meter med en sannsynlighet på 95%. Når systemet er tilgjengelig skal

systemets kontinuitet være bedre enn 99,97% over en periode på 15 minutter, det vil si nærmest konstant oppdatering av posisjon hvert andre sekund. Dersom det oppstår feil på tjenesten skal det sendes integritetsvarsel innen 10 sekunder. Kravene nevnt ovenfor skal møtes ved hjelp av ett eller flere radionavigasjonssystem (IMO, 2011).

2.2.4 P-kode og C/A-kode

Da GPS ble utviklet av forsvarsdepartementet i USA, var det alltid et poeng at det skulle være et militært system, som ikke hvem som helst kunne ta i bruk. Det ble derfor utviklet to signaler/ koder, ett for sivilt bruk (Coarse/Acquisition-code) og ett for militæret i USA (Precise-kode). Nøyaktighet på C/A-koden ble redusert ved å legge inn en klokkefeil, denne funksjonen ble kalt selective availability (SA). Feilen SA utgjorde var cirka 100 meter, og i seg selv stor nok til at sivile produsenter utviklet differensielle korreksjonstjenester, som SBAS og IALA DGPS. P-koden er ikke tilgjengelig for alle, koden er kryptert for å unngå at tjenesten blir misbrukt og forstyrret. Dette betyr at koden kun kan brukes av spesielle mottakere, typisk militære brukere eller andre sivile brukere etter godkjent søknad (Forssell, 2018).

2.2.5 S/A

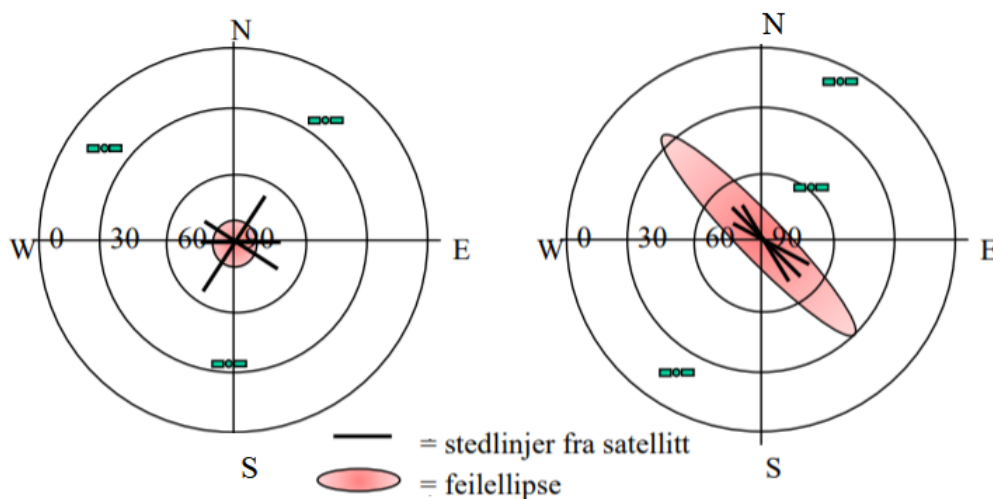
I år 2000 ble SA avskrudd som et resultat av sivil teknologisk utvikling av tjenester for å korrigere for SA-feilen, samt konkurranse fra andre GNSS-system. I 2005 ble det i forbindelse med oppskytning av andregenerasjons GPS-satellitter implementert en ny militærkode (M-kode) og det kom et nytt sivilt signal på L2-frekvensen. Bruk av to frekvenser åpner for at avanserte sivile mottakere kan korrigere mesteparten av ionosfærefeilen «ref. 2.2.9 Signalutbredelse» i egen mottaker (Forssell, 2018).

2.3 Feilkilder forbundet med satellittnavigasjon

Etter at mottaker og antenner er installert om bord er satellittnavigasjonssystemene relativt enkle å bruke og nøyaktigheten er god. Det finnes likevel feilkilder det er viktig at navigatøren har god kjennskap til, for å operere systemet sikkert. Feilene som oppstår kan vi knytte opp mot komponentene i systemet; i mottakeren, under signalutbredelsen og i satellittene (Forssell, 2018).

2.3.1 Satellittgeometri

Dilution of precision (DOP) er i seg selv ikke en feilkilde, men et mål på geometriens innvirkning på posisjonsnøyaktigheten. Lave DOP-verdier er et tegn på god satellittgeometri, og gir en større sannsynlighet for at posisjonen er god. Med satellittgeometri mener man satellittenes plassering på himmelkulen, og det geometriske forholdet mellom satellittene og mottakeren. På sjøen vet vi alltid hvor vi er i det vertikale planet og det er derfor viktigere med satellitter som gir en lav horisontal DOP-verdi (HDOP) enn lav vertikal DOP-verdi (VDOP). For optimale geometriske forhold, ønsker man å ha minimum tre satellitter med middels eller relativt lav elevasjon, helst ikke under 10° , med innbyrdes vinkel på 120° (figur 5). De lave satellittene fordelt omkring den mobile enheten vil sørge for at stedlinjene hver satellitt gir har et godt krysningspunkt. Det er lett å lese av DOP-verdier på mottakeren for å kontrollere satellittgeometrien, man kan også definere maskevinkelen for å sikre at mottaker ikke benytter for lave satellitter (Kjerstad, 2015).



Figur 5. Til venstre er det illustrert stedlinjegeometri med god HDOP-verdi, man ser tre relativt lave satellitter med en innbyrdesvinkel på 120° . Til høyre ser man eksempel på dårlig HDOP som følge av både lave og høye satellitter med liten spredning (Kjerstad, 2015).

2.3.2 Satellitten

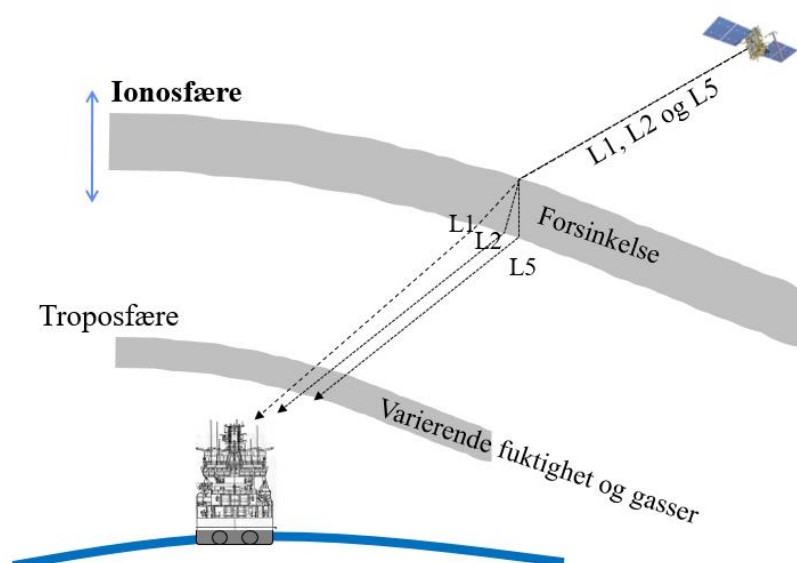
Satellitten har to kilder til feil med betydelig størrelse. Som nevnt tidligere baserer satellittnavigasjon seg på å måle avstanden til satellitten ved hjelp av fart og tid. For at mottakeren skal kalkulere enhetens posisjon er den nødt å motta informasjon om satellittens posisjon, i tillegg til tidspunktet for sending.

En av feilkildene er satellittens klokke. Satellittene som brukes til navigasjon er utstyrt med svært nøyaktige atomur, men likevel oppstår det små avvik mellom tiden i satellittklokken og GPS referansetid. Feil tid vil gi feil avstand etter beregning, dette resulterer i en dårligere avstandsmåling og posisjon.

Den andre feilen handler om satellittens posisjon og banedata. Dersom satellittens posisjon avviker fra den posisjonen mottakeren har fått informasjon om, vil det følgelig også føre til en unøyaktighet i avstandsmålingen. Feilen avstandsmålingen gir vil være avhengig av retningen til satellitten i forhold til oss (Kjerstad, 2015).

2.3.3 Signalutbredelse

En av de mest vesentlige feilkildene i satellittnavigasjon er signalenes gang gjennom jordens atmosfære. Jordens atmosfære er det man kaller luftlaget rundt jorden. Luftlaget består av en blanding av gasser og blir tynnere desto lengre man kommer fra jordoverflaten, til det gradvis går over i vakuum (verdensrom) (Olafsson, 2018). Feil vedrørende signalutbredelse oppstår hovedsakelig i ionosfæren og troposfæren (figur 6). Troposfæren er den laveste delen av jordens atmosfære, ionosfæren er den delen av atmosfæren som er ioniserende og ligger omkring 60 – 1000 km over jordoverflaten. At ionosfæren er ioniserende betyr at gassene i ionosfæren inneholder frie elektroner og ioner, denne tilstand kaller man plasma (Olafsson, 2009).



Figur 6. Illustrasjonen viser forsinkelsene som påvirker signalutbredelsen til satellittsignalet når det går gjennom ionosfæren og troposfæren (Kjerstad, 2015).

2.3.4 *Avstandsfeil*

Feilkilden som oppstår er feilberegning av avstand mellom den mobile enheten (mottakeren) og satellitten. Radiosignaler beveger seg med lysets hastighet, men kun når målt i vakuum. Den virkelige avstanden til satellitten vil derfor bli feil ettersom det er vanskelig for mottakeren å avgjøre hvilken hastighet signalet har brukt gjennom ionosfæren og troposfæren. Ionosfærefeilen vil variere med radiosignalets frekvens og inngangsvinkel. For å få en riktig posisjon kan mottakeren ha opplysning fra satellitt om signalet hastighet gjennom atmosfæren, gjerne i form av en ionosfæremodell. Alternativet til slike modeller er bruk av flerfrekvent mottaker. Ved å motta to forskjellige signal fra samme satellitten, kan mottakeren kalkulere ionosfærefeilen selv. Andre måter problemet tas hensyn til er ved valg av egnet frekvens for satellittsignal. For moderne mottakere som ikke benytter seg av flere frekvenser er ionosfærefeilen den største feilkilden. For å korrigere for denne feilen kan man ta i bruk differensielle korreksjonstjenester (Forssell, 2018).

2.3.5 *Scintillasjoner*

Plasma i ionosfæren opprettholdes av stråling fra solen, og ionosfæremodellen vil derfor variere etter hvor man er på jorden. Det kan være stor forskjell på ionosfærelaget når det er dag eller natt, og avhengig av årstid og graden av solaktivitet. «*Problemer med forstyrrelser på satellittsignalets fase og styrke som følge av forstyrrelser fra solen kalles gjerne scintillasjoner*» (Kjerstad, 2015). Fenomenet er spesielt problematisk ved polene og ved magnetisk ekvator, og kan føre til redusert nøyaktighet eller tap av posisjon. Ved høy solaktivitet menes utbrudd fra solen eller økt solflekaktivitet.

Et utbrudd fra solen er en stor eksplosjon i solens atmosfære, store mengder materie kastes ut. Når energi på en slik størrelse treffer jorden vil dette føre til mer støy, og dermed en reduksjon i signal noise ratio (SNR) som kan observeres på mottaker. SNR er forholdet mellom styrken til satellittsignalet og støy, det vil være vanskeligere for mottakeren å oppfatte satellittsignalene dersom SNR er lav/ redusert. I etterkant av et stort utbrudd vil elektrisk utstyr kunne bli slått ut og i dagene etter utbruddet vil økningen av elektrontettheten i ionosfæren (TEC) kunne føre til at SNR blir såpass redusert at man kan få problem med å følge signaler fra satellittene (Kjerstad, 2015).

2.3.6 Feil som oppstår i mottakeren

Feilkildene som oppstår i mottakeren omhandler hovedsakelig feil i mottakerens beregninger av posisjon og uheldig signalgang som fører til refleksjonsproblem eller det som gjerne kalles multipath.

Mottakerantennen fanger opp radiosignalene satellitten sender. Refleksjonsproblem oppstår når indirekte bølger reflektert fra omgivelsene treffer antennen og skaper tvetydighet. Dersom fasen på direkte og indirekte signal har en forskjell på 180° , kaller vi refleksjonsproblematikken destruktiv interferens, som betyr at signalene vil destruere hverandre. Er problematikken av den type at vi mottar det samme signalet to ganger kalles det flerveis interferens (eng: Multipath). Refleksjonsproblem er ofte mulig å unngå, eventuelt redusere, ved å plassere antennen i en posisjon hvor kun direkte signaler når frem. For GNSS er problemet med flerveis interferens særlig gjeldene ved refleksjon fra flater innenfor en avstand på 300 meter. Problemet er normalt særlig gjeldene for signaler fra satellitter med lav elevasjonsvinkel. Refleksjon er generelt et problem for radionavigasjonssystemer som baserer seg på mikrobølger (Kjerstad, 2015).

Mottakeren er avhengig av et klart og tydelig signal for å følge satellittsignalet. Indre og ytre støykilder vil redusere mottakerens evne til å følge signalet. Særlig dersom lave satellitter benyttes er signalets reiseavstand gjennom ionosfæren så lang at uønsket støy vil kunne føre til tap av signal. En svært god indikasjon på støyproblemer er å overvåke mottakerens SNR-verdi (Kjerstad, 2015).

2.4 Differensielle systemer

Differensielle korreksjonssystemer er støttesystem (argumentering-system) utviklet for å øke nøyaktighet og sikre integritet på GNSS-system. I dag kalles slike støttesystemer generelt for DGPS og DGNSS. Støttesystemene ble i utgangspunktet utviklet for å forbedre GPS-systemet for sivile brukere, før SA ble fjernet. Støttesystem vil ikke bare kunne korrigere klokkefeilen i satellitten, men også ionosfære-, troposfære- og banefeil. Hvilke av disse feilene som korrigeres for kan variere mellom forskjellige støttesystemer. Dette gjør at selv om SA er avslått, vil man i de fleste tilfeller få en mer nøyaktig posisjon og mulighet for å få integritetsvarsel dersom man benytter differensielle korreksjoner på et GPS-signal (Kjerstad, 2015).

2.4.1 Grunnprinsipp

Det finnes flere typer støttesystem som fungerer på ulike måter, likevel er grunnprinsippene det samme. Grunnprinsippet for et støttesystem er at de består av en- eller et nettverk av flere referansestasjoner (bakkestasjoner). Referansestasjonene innehar en GNSS-mottaker montert på et trigonometrisk punkt. Referansestasjonen vil da ha mulighet til å finne avvik mellom beregnet og observert avstand til alle satellittene over dens horisont. Avviket brukes videre til å beregne korreksjonsfaktorene. Hvilke faktorer som korrigeres varierer ut ifra hvilket system man benytter. Referansestasjonen videresender informasjon om korreksjonen til brukerens mobile mottakere. De ulike støttesystemene bruker forskjellige metoder til å distribuere korreksjonssignalet. Metodene for distribuering som er mest brukt i dag er radiolink i mellombølge-båndet eller å sende det via andre kommunikasjonssatellitter. Noen av støttesystemene benytter etterprosessering, dette er ofte betalingstjenester og vil til gjengjeld gi cm-nøyaktighet (Kjerstad, 2015).

2.5 IALA DGPS

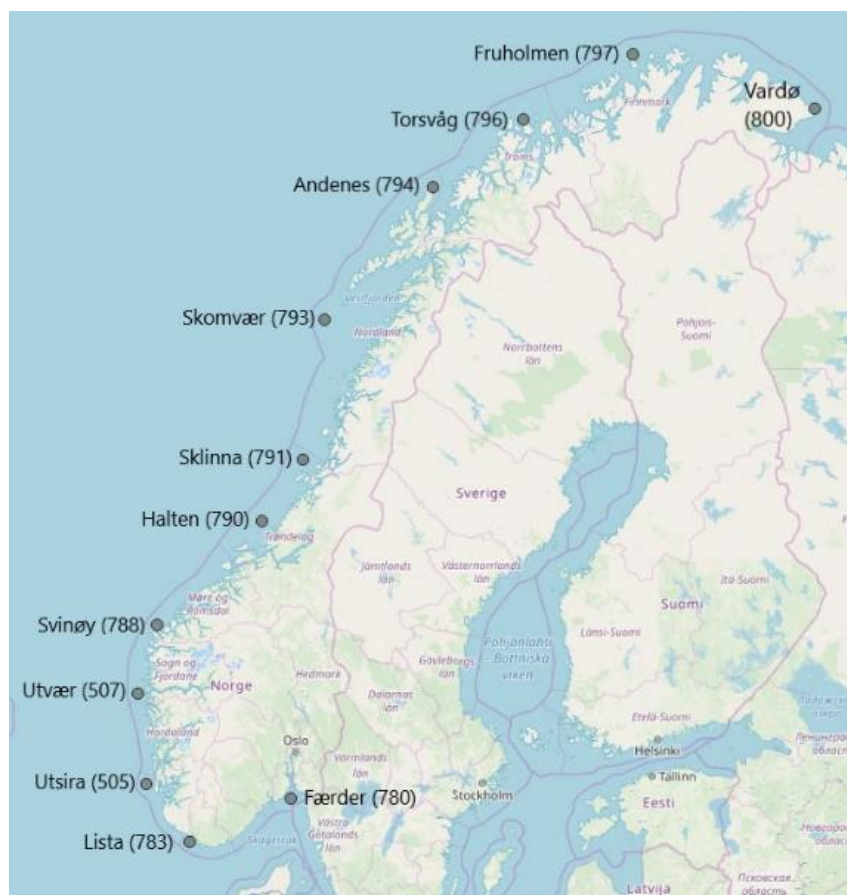
Organisasjonen IALA (International Association of Lighthouse Authorities), jobber i hovedsak med å standardisere hjelpemidler for navigasjon til sjøs. Et av rådene IALA har gitt til sine medlemsland er at det bør bygges ut radionavigasjonssystemer med referansestasjoner som sender ut differensielle korreksjoner for GPS/GNSS. I den forbindelse har IALA utarbeidet retningslinjer (guideline 1112) som omhandler ytelse og monitorering av tjenesten. Disse retningslinjene møter kravene til nøyaktighet, integritet og kontinuitet som IMO res. A.1046(27) beskriver (tabell 1). Referansestasjonene kalles for IALA-Beacons eller DGPS-stasjoner, mens systemet i seg selv er mest kjent som IALA DGPS eller bare DGPS (IALA, 2015).

Tabell 1. Krav for radionavigasjonssystem etter IMO A.1046(27) (IALA, 2015).

	System Level				Service Level	
	Absolute Horizontal Accuracy (95%)	Integrity			Availability (2 years)	Continuity (over 15 minutes)
		Alarm Limit	Time to Alarm ¹	Integrity Risk		
Area / unit	m	m	s	%	%	%
Ocean	≤ 100	N/A	N/A	N/A	≥ 99.8	N/A
Harbour entrances, harbour approaches and coastal waters	≤ 10	25	10	10 ⁻⁵	≥ 99.8	99.97

2.5.1 IALA DGPS i Norge

I Norge er det Kystverket som har ansvaret for å drifte IALA DGPS. Systemet kalles i Norge for Kystverkets DGPS-tjeneste. Når IALA DGPS-tjenesten omtales i denne oppgaven er det Kystverkets DGPS-tjeneste langs norskekysten det refereres til. Totalt har Kystverket 12 DGPS-stasjoner som er levert av Kongsberg Seatex. I figur 7 ser man at DGPS-stasjonene er strategisk plassert på de tidligere radiofyrene langs norskekysten. Fra stasjonene distribueres korreksjonsmeldinger gratis. Ved å benytte de tidligere radiofyrene behøver DGPS-stasjonen bare å modulere de differensielle korreksjonene før de distribueres på MF-frekvensbåndet 283.5-325 kHz med en bitrate på 200 bps, i RTCM-format. I tabell 2 ser man hvilke meldinger som sendes og tidsintervallene. Brukerne kan normalt bare motta korreksjoner fra en DGPS-stasjon om gangen. På Kystverkets hjemmeside opplyses det at brukerne av systemet kan forvente posisjonsnøyaktighet bedre enn 10 meter (2 drms, 95% sannsynlighet). Men i praksis vises det at nøyaktigheten ligger rundt 1-3 meter. Over en 2-års periode skal Kystverkets DGPS-tjeneste ha en tilgjengelighet i sitt dekningsområde på 99,5% (Kystverket, 2016).



Figur 7. Oversikt over Kystverkets 12 DGPS-stasjoner presentert med navn og ID-nummer.

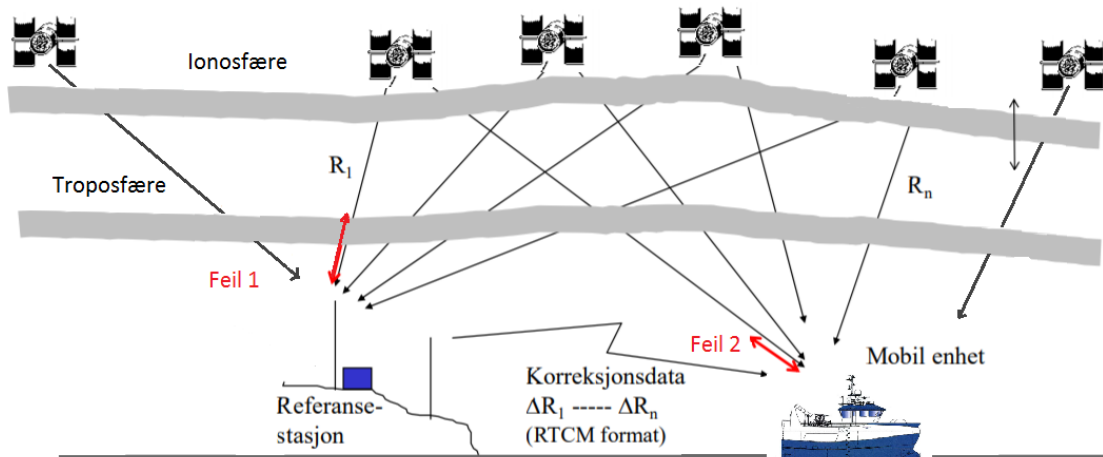
Tabell 2. Oversikt over RTCM-meldinger Kystverkets DGPS-stasjoner sender ut (Kjerstad, 2015).

RTCM TYPE	Informasjon	Frekvens	Varighet
1/9	Diff. GPS korreksjoner	Så ofte som mulig	Kontinuerlig
2	Delta diff. Korreksjoner	Hvert minutt	10 min
3	Ref. stasjoner	Hvert 5. minutt	Kontinuerlig
5	Systemstatus (helse)	Hvert 20. minutt	Kontinuerlig
6	Null status (feilmelding)	Etter behov	
7	Stasjonsdata (egen + nabostasjon)	Hver time	Kontinuerlig
16	Spesialmelding	Hvert minutt	En time

2.5.2 Virkemåte Kystverkets DGPS

På alle Kystverkets DGPS-stasjoner er det montert to GPS-mottakere. Disse har unike ID-nummer. Kun en av mottakerne er koplet opp mot radiosenderen, og den andre står klar som reserve. For å ha muligheten til å overvåke integritet på DGPS-stasjonen blir reservemottakeren brukt til å sammenligne målingene til den aktive mottakeren. I tillegg har stasjonene en nærfeltsmonitor som overvåker og gir alarm om det er feil på utsendt signal. Dersom stasjonen registrerer noen form for feil på eget system vil den sende ut integritetsalarm innen 10 sekund (Kystverket, 2016).

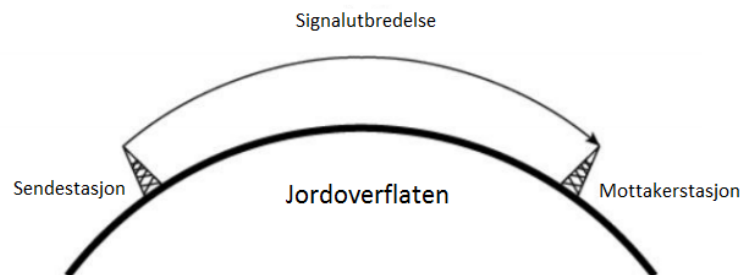
For å beregne korreksjonens størrelse må mottakeren i referansestasjonen følge alle satellittene som er over dens horisont. Dette avviket kalles pseudo range korreksjon (PRC), og beregnes for hver enkelt satellitt. Videre beregner mottakeren hvordan denne endres, dette kalles avstandsrate (RRC). RRC er nødvendig for at mottakeren til brukerne skal kunne korrigere posisjon frem til den mottar neste korreksjonsmelding. For at korreksjonene skal gi best mulig resultat må brukeren oppleve de samme feilkildene som DGPS-stasjonen måler. Et radiosignal i mellombølgebåndet kan nå langt, følgelig vil systemets rekkevidde reduseres dersom brukeren opplever andre ionosfære- og troposfæreforhold, eller ikke ser de samme satellittene som stasjonen (figur 8).



Figur 8. Illustrasjon av virkemåte Kystverkets DGPS-tjeneste, feil 1 må være lik feil 2 (rød pil) (Kjerstad, 2015).

2.5.3 Utbredelse av radiobølger

For distribusjon av Kystverkets DGPS-signal benyttes radiobølger i mellombølge-båndet 283.5-325 kHz. Disse radiobølgene vil utfolde seg som direkte bølger, det vil si radiobølger som går langs jordoverflaten (figur 9). Bølgene vil følge jordkrumningen og gå direkte fra sender til mottaker, men være begrenset av optiske hindringer eller tap som følge av avstand.



Figur 9. Figuren viser en radiobølge som følger jordkrumningen (Mit Polytecnic, 2018).

Det er flere faktorer som påvirker bølgeutbredelsen. Den største påvirkningen får vi når signalet utbredes langs jordoverflaten. Når en radiobølge er i kontakt med overflaten vil signalet bli dempet og dette vil ha en direkte påvirkning på rekkevidden til radiobølgen. Hva som avgjør i hvilken grad radiobølgen blir dempet er overflatens konduktivitet (ledningsevne). Norskekystens landskap består typisk av fjell, vegetasjon og is/snø, som er overflater med dårlig konduktivitet. Med andre ord vil bølgeutbredelsen kunne være utfordrende langs norskekysten, og derfor vil plassering av sendestasjoner være avgjørende.

En overflate med god konduktivitet er sjøvann, det betyr at dersom radiobølgen går over sjøen vil man ha en betydelig lengre rekkevidde. I tillegg vil signalets utbredelse være avhengig av hvilken tid på døgnet og hvilken årstid signalet sendes ut, radiobølgene vil normalt ha best rekkevidde på natten og vinterstid (Kjerstad, 2015).

2.5.4 Mottaker

For at brukeren skal kunne motta differensielle korreksjoner fra IALA DGPS på sin GPS-mottaker må brukeren ha en mottaker og antenne som støtter IALA DGPS. Noen mottakere kan også kople en ekstern DGPS-modul til GPS-mottaker, modulen mottar da korreksjonssignal fra referansestasjonen via en egen antenne, og sender den videre til GPS-mottaker. «IMO performance standards for GPS receiver equipment» sier at alle GPS-mottakere skal ha mulighet til å prosessere DGPS-korreksjoner i RTCM-standard. GPS-mottakeren skal også ha enten en integrert DGPS-modul, eller mulighet til å kople inn en ekstern DGPS modul (IMO, 2000).

2.6 Satellite based augmentation system

Satellite Based Augmentation System (SBAS) eller Wide Area Differential GNSS (WADGNSS) er en samlebetegnelse på de offentlige regionale støttesystemene som har et mye større dekningsområde enn for eksempel Kystverkets DGPS, og som blant annet benytter geostasjonære kommunikasjonssatellitter for å distribuere korreksjonssignal. Tanken med dette systemet er å kunne distribuere GNSS-korreksjoner enklere og til flere brukere ved å benytte færre referansestasjoner. Flere land har eller er i ferd med utviklingen av sitt eget SBAS-system (Kjerstad, 2015).

Et SBAS-system består av et nettverk med referansestasjoner. Det finnes allerede flere typer system med forskjellige virkemåter. Hovedforskjellene ser vi i hvordan bakkesegmentet er bygd opp, hvilke GNSS-system som korrigeres og hvilken kommunikasjonssatellitt som blir brukt til distribusjon. Systemene er i utgangspunktet utviklet for flyindustrien da GPS alene ikke tilfredsstillte International Civil Aviation Organisation (ICAO) sine krav til nøyaktighet og integritet (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2016).

SBAS fungerer godt innenfor andre segment enn luftfart og begynner å bli utbredt ved navigasjon til sjøs. Selv om SBAS er godkjent til luftfart av ICAO er det fortsatt ikke godkjent av IMO (Kjerstad, 2015).

SBAS-systemene har mulighet til å splitte opp korreksjonene som blir hentet ut fra avstandsmålingene. Feilene blir delt opp og presentert i bestemte kategorier, brukeren har da bedre mulighet til å benytte kun de korreksjonene det er behov for. Kategoriene for feil er; Satellittklokkefeil, banefeil, ionosfærefeil og troposfærefeil. Videre blir korreksjonene videresendt til en geostasjonær kommunikasjonssatellitt i RTCM-format (Kjerstad, 2015).

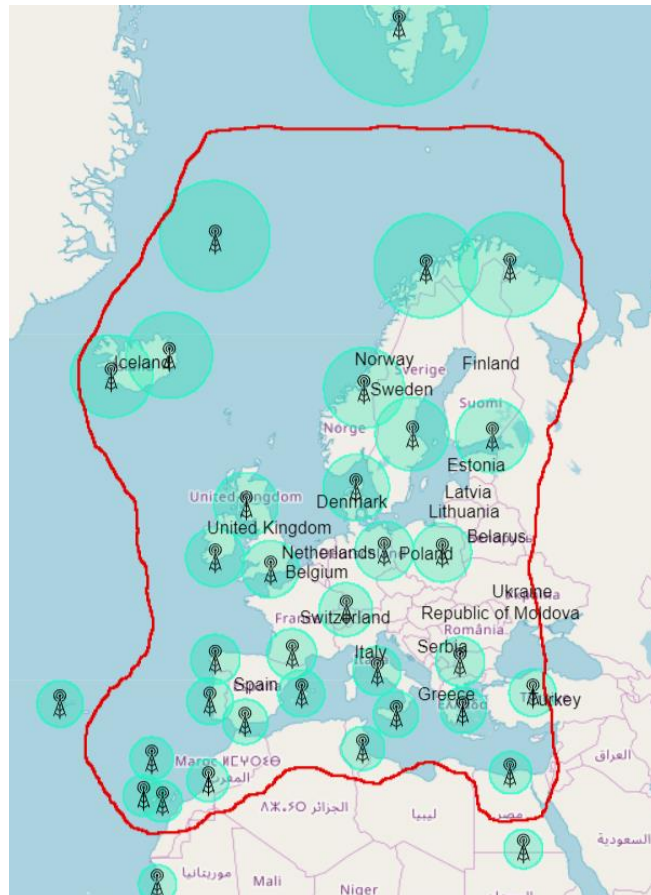
2.6.1 SBAS i Europa

European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) er et SBAS-system som dekker store deler av Europa. EGNOS er et system som eies av EU og er utviklet av European Space Agency (ESA). Ved å involvere Statens Kartverk og Norsk Romsenter, har Norge bidratt i utviklingen gjennom ESA. EGNOS har vært operativt siden 1. oktober 2009 og er forløperen til Europas egne satellittnavigasjonssystem Galileo. Likevel kompletterer EGNOS bare det amerikanske satellittnavigasjonssystemet GPS (European Space Agency, 2013).

2.6.2 Virkemåte EGNOS

EGNOS-systemet er mer komplisert enn IALA DGPS da det består av 3 segmenter. De tre segmentene blir kalt bakkesegment, romsegment og brukersegment. Bakkesegmentet består av flere referansestasjoner som er strategisk plassert i hele Europa. Referansestasjonene er også kalt Range Integrity Monitoring Stations (RIMS). RIMS har i oppgave å overvåke GPS-satellittene og sende informasjon videre til Mission Control Centers (MCC). Ved MCC blir dataene bearbeidet, det er her korreksjoner og modeller for bane-/klokkefeil og ionosfæreforsinkelse for hver enkelt satellitt blir utregnet. MCC har også som oppgave å vurdere satellittenes status, og eventuelt lage integritetsvarsel. Videre sendes korreksjonene til Navigation Land Earth Station (NLES) for å bli lastet opp til geostasjonære kommunikasjonssatellitter, som igjen distribueres til brukersegmentet (Norsk Romsenter, 2016).

Bakkesegmentet består av cirka 34 RIMS, 4 MCC og 6 NLES. EGNOS-systemet kan på den måten bygge opp en modell av ionosfæreforsinkelsen over hele dekningsområdet. Resultatet av dette prinsippet er at brukeren vil oppleve god nøyaktighet så lenge de er innenfor dekningsområdet (figur 10), selv om de befinner seg langt unna en referansestasjon (Kjerstad, 2015).



Figur 10. Oversikt over dekningsområdet (rød strek) til EGNOS og hvor RIMS (blå sirkel) er plassert (European Global Navigation Satellite System Agency, 2019).

I romsegmentet finner man geostasjonære kommunikasjonssatellitter som mottar korreksjonssignaler fra NLES og distribuerer det videre til brukeren, i tabell 3 vises hvilke satellitter som benyttes. Dekningsområdet til de geostasjonære satellittene vil være fra nord 76 grader til sør 76 grader. I praksis dekker satellittene et større område enn det definerte dekningsområdet til EGNOS, man kan derfor motta korreksjoner selv om man befinner seg utenfor (Norsk Romsenter, 2016).

Tabell 3. Oversikt over distribusjonssatellitter som EGNOS benytter (European Global Navigation Satellite System Agency, 2019).

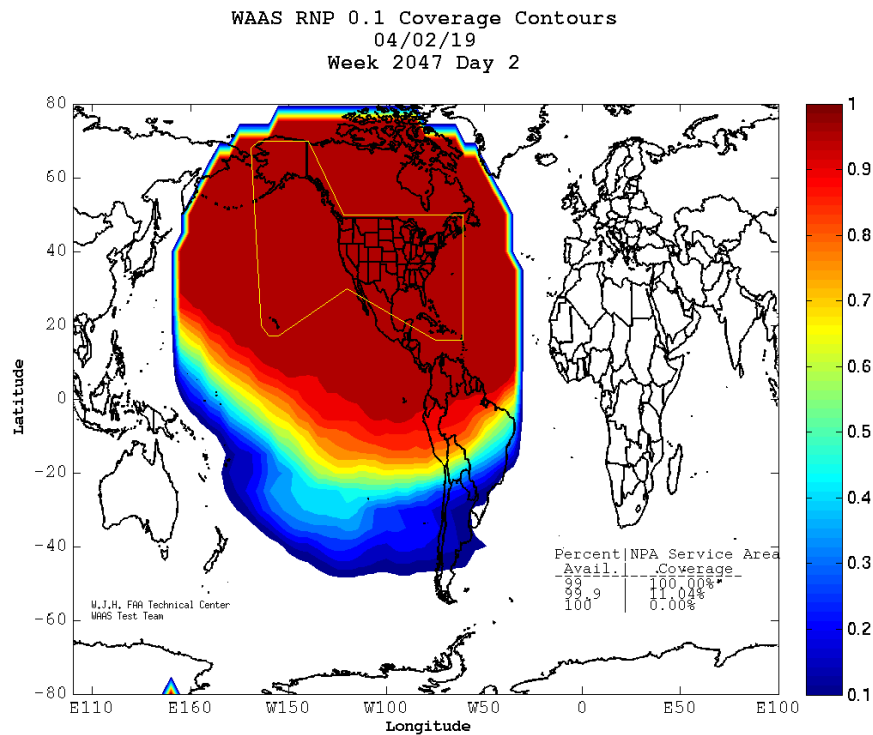
Navn GEO-satellitt	Lokasjon	PRN
5B	31,5° E	123
SES-5	5° E	136

I brukersegmentet må brukerne ha en GNSS-mottaker som har støtte for EGNOS/SBAS. Signalet overføres på L1-frekvensen, en frekvens GPS benytter. De fleste nye GNSS-mottakerene har derfor støtte for EGNOS. På grunn av at hverken IMO eller IALA har satt krav til EGNOS, setter heller ikke «*IMO performance standards for GPS receiver*» krav til mottak av EGNOS- eller andre SBAS-system. Man kan se at på de fleste mottakere heter denne funksjonen WAAS eller SBAS (Kjerstad, 2015).

2.6.3 SBAS i andre deler av verden

SBAS-systemet begynner også å få utbredelse andre steder. Mest kjent er det amerikanske systemet kalt Wide Area Augmentation System (WAAS). WAAS var det første SBAS-systemet som ble erklært operativt og har siden 2005 vært godkjent for sivil luftfart.

Systemet fungerer på samme prinsipp som EGNOS med tanke på bakkesegment, romsegment og brukersegment. I romsegmenter blir andre distribusjonssatellitter benyttet på grunn av tjenestens dekningsområde (tabell 4). WAAS er i hovedsak tilgjengelig i Nord-Amerika men har i dag dekning også i store deler av Sør-Amerika og Stillehavet (figur 11). I likhet med EGNOS korrigeres bare GPS-satellitter med dette systemet (Federal Aviation Administration, 2016).



Figur 11. Dekningsområde på WAAS over Amerika. Skalaen til høyre indikerer prosentvis dekning til WAAS der tallet 1 betyr 100%. Breddegrad på y-aksen og lengdegrad på x-aksen (Federal Aviation Administration, 2019).

Tabell 4. Oversikt over distribusjonssatellitter WAAS benytter (Federal Aviation Administration, 2019).

Navn GEO Satellitt	Lokasjon	PRN
Intelsat Galaxy 15	133° W	135
Telesat Anik F1R	107.3° W	138
Eutelsat Satmex-9	117° W	131

Japan og India har også SBAS-systemer som er operative. Japan sitt system heter Multi-Functional Satellite Augmentation System (MSAS) og Indias system heter GPS Aided Geo Augmented Navigation (GANGAN). Russland (SDCM), Canada (CWAAS) og Kina (SNAS) jobber også med å utvikle egne SBAS-systemer (Kjerstad, 2015).

2.6.4 Differensielle støttesystemer fra kommersielle selskaper

Selv om en DGNSS-mottaker som benytter korreksjoner klarer å presentere en posisjon innenfor et par meters nøyaktighet er dette ofte ikke godt nok. Flere private aktører har derfor utviklet egne betalingstjenester der de tilbyr kundene støttesystem som kan gi mye bedre nøyaktighet og integritet enn de offentlige systemene. Innenfor den maritime sektoren kan

man se at blant annet offshore-flåten benytter slike systemer aktivt ved DP- og andre avanserte operasjoner. Ved kartmåling er det også helt nødvendig å ha en nøyaktig posisjon og kravene til støttesystem er derfor strenge. Noen av tjenestene som tilbys krever også etterprosessering. Man kan da oppnå nøyaktighet helt ned på centimeter-nivå (Kjerstad, 2015)

2.6.5 Fugro

En av de største private aktørene som tilbyr DGNSS-tjenester er Fugro. Fugro reklamerer med at de kan gi en posisjonsnøyaktighet på bedre enn 10 cm, med dekning over hele verden. De har totalt over 80 referansestasjoner strategisk plassert, og mulighet til å distribuere dette over en rekke forskjellige kommunikasjonssatellitter.

Tjenestene Fugro tilbyr har ulike navn og nivå. Man kjøper derfor den tjenesten man har behov for i det gitte tidsrom. De ulike tjenestene korrigerer ulike GNSS-systemer. Den mest avanserte tjenesten heter Fugro Starfix G4+ og via kommunikasjonssatellitter sender tjenesten bane- og klokkekorreksjoner for GPS, GLONASS, BeiDou og Galileo. Den enkleste tjenesten heter Fugro Starfix L1 (VBS), denne korrigerer bare GPS L1. Tjenesten korrigerer psudorange til hver enkelt satellitt, på samme prinsipp som IALA DGPS. Korreksjonene bergenes for et fast punkt, en Virtual Base Station (VBS) og distribueres via satellitt. Rekkevidden på tjenesten er 500 km fra VBS. Dersom man allerede har en mottaker som støtter Fugro-korreksjoner om bord, kan man oppgradere abonnementet ved å ringe inn til deres 24/7 service-telefon. Vanligvis leies mottakerutstyr av Fugro. Som regel benyttes en 2-frekvent mottaker, siden Fugro i likhet med de andre private aktørene bare sender bane- og klokkekorreksjoner, og ikke sender ut korreksjoner for ionosfære- og troposfærefeil (Fugro, 2019). Selskapene Oceaneering og Veripos leverer også tilsvarende tjenester som Fugro.

2.7 Fallgruver DGNSS

Det er viktig å presisere at man kan komme i situasjoner der det oppleves dårligere nøyaktighet ved å benytte differensielle korreksjoner. Et eksempel på en slik situasjon er når man er i ytterkant av et systems dekningsområde, og mottar signaler fra andre satellitter enn det referansestasjonen gjør. Dersom man stiller inn GNSS-mottakeren i DGPS-modus, vil

mottakeren bare benytte de GPS-satellittene den mottar korreksjoner i fra, satellittene det ikke mottas korreksjoner fra vil forkastes. Resultatet av færre satellitter kan være en høyere DOP-verdi og dårligere nøyaktighet (Kjerstad, 2015).

Dersom man benytter en 2-frekvent GNSS-mottaker burde man være oppmerksom. I og med at denne mottakeren beregner ionosfærefeilen automatisk, kan man risikere at ionosfærekorreksjonen blir ekskludert. Resultatet kan da være at nøyaktigheten på posisjonen blir dårlige ved å benytte differensielle korreksjoner (Kjerstad, 2015).

Kystverkets DGPS-stasjoner distribueres på mellombølgebåndet og er utsatt for forstyrrelser, særlig interferens fra andre landmonterte radiostasjoner og radiostøy fra eget- og andre skip. Dette kan føre til korte utfall dersom man seiler forbi et område hvor det foregår mye trafikk på lignende frekvensbånd. Man må også være oppmerksom dersom DGPS-mottakeren bytter til en annen referansestasjon, i overgangen kan man oppleve at posisjonen gjør et «hopp», før den etter hvert stabiliserer seg (Kystverket, 2016).

Dersom man benytter seg av SBAS-tjenester burde man være bevisst på at dette systemet i utgangspunktet er utviklet for sivil luftfart. Bakdelen kan være at systemet ekskluderer lave satellitter og satellitter med lavt signal-/støyforhold for å få bedre VDOP-verdier, dersom ikke egnet maskevinkel benyttes på mottakeren. Som et resultat av at disse satellittene blir ekskludert kan man oppleve dårligere horisontal stedlinje-geometri og dermed en høyere HDOP-verdi (Kjerstad, 2015).

Kapittel 3 Metode

I denne delen av oppgaven presenteres metoden benyttet for å besvare hoveddelen av problemstillingen. Oppgaven tar for seg nøyaktighet, integritet og dekning for differensielle korreksjonssystem (augmentation systems) langs norskekysten. Dataene som analyseres i oppgaven er posisjonsmålinger fra Hurtigrutens seilingsrute mellom Bergen og Kirkenes. Oppgaven skal også belyse behovet for differensielle korreksjonstjenester, og bevisstheten rundt tjenestene blant brukerne. For å innhente informasjon fra brukerne gjennomførte vi en kvantitativ spørreundersøkelse med fokus på korreksjonstjenestene Kystverkets DGPS og EGNOS.

3.1 Forkunnskap og litteraturstudie

Gruppens forkunnskaper for denne oppgaven kommer fra faget Navigasjon 2 – navigasjonssystemer (TN101708) og valgfaget Posisjonsreferansekurs (TN302112) ved NTNU i Ålesund. Fagene omhandler virkemåte og tekniske detaljer for blant annet GNSS og differensielle korreksjonssystemer. Norvald Kjerstad har forelest i fagene, og pensumlitteraturen er Kjerstads bok, «Elektroniske og Akustiske Navigasjonssystemer (2015)». Gruppen har også lest flere bachelor-oppgaver og artikler som omhandler samme tema for å styrke kunnskapen rundt temaet, og for å opparbeide seg høyere kompetanse rundt oppgaveskriving.

I og med at oppgaven omhandler teknologi som er i stadig utvikling oppleves det at mye av informasjon hentet fra tredjeparts nettsider kan være feil. Derfor er mesteparten av nøkkeltall i forbindelse med nøyaktighet og annen relevant informasjon, hentet fra systemenes og produsentenes offisielle hjemmesider. Disse nettsidene anses som pålitelige og oppdaterte. Oppgaven refererer også til tredjeparts kilder, når utvelgelsen er gjort har alle kildene og forfattere blitt grundig vurdert, og ansett av gruppen som pålitelige. Der hvor dette er gjort er kilden referert etter avsnittet og i oppgavens referanseliste.

I forbindelse med metodedelen av oppgaven ble NTNUs bibliotek kontaktet. Boken «en enklere metode (2017)» skrevet av Ann Kristin Larsen ble anbefalt og videre brukt for å gi gruppen en bedre innsikt i hvordan metodedelen skal bygges opp og hva den skal omhandle.

I oppgaven har det blitt utarbeidet egne figurer og grafiske fremstillinger av gruppen. Alle figurer eller tabeller som inneholder faktaopplysninger hentet fra en kilde, er kilden referert til i figurtekst/tabelltekst og i referanselisten. Bilder og figurer hentet fra annen litteratur og internett er referanse oppgitt på samme måte.

3.2 Spørreundersøkelsen

3.2.1 Utarbeidelse

For å danne oss et gyldig og relevant overblikk over bevisstheten rundt DGNSS på norskekysten var det viktig at respondentene var norske, seilende navigatører. Hvilken navigatørutdanning navigatørene hadde ble ikke vektlagt i undersøkelsen. For å senke terskelen for at respondentene skulle gjennomføre undersøkelsen, var det et poeng å holde spørreundersøkelsen kort. Ved utarbeidelse av spørreundersøkelsen var det et høyt fokus på at respondentene skulle kunne gjennomføre den på maksimalt 10 minutter, dette med den hensikt å oppnå mange nok svar for å kunne foreta generaliserende tolkninger og derav et riktig resultat med stor troverdighet.

Under utarbeidelse av spørsmålene brukte vi et lett språk og begreper som navigatører er kjent med, eksempelvis brukte vi bevisst betegnelsen GPS i stedet for GNSS når vi refererte til satellittnavigasjonssystemene og begrepene EGNOS/WAAS da vi refererte til korreksjonstjenesten SBAS.

Undersøkelsen besto av 10 spørsmål med 4-7 forhåndsbestemte svaralternativer. Det ble primært brukt lukkede spørsmål i undersøkelsen. Likevel var det nødvendig i enkelte tilfeller å stille noen åpne spørsmål eller legge til en tekstboks, da for å sikre konkrete svar men også for å innhente informasjon som er vanskelig å forutse.

En fordel med å benytte spørreundersøkelse er at man fort når ut til et stort antall navigatører. Spørreundersøkelser er forhåndsdefinert og kan derfor distribueres via epost, man trenger heller ikke være til stede ved utførelsen. Med et kort tidsrom og et behov for mange respondenter spredt utover hele landet, strekker hverken tid eller ressurser til for å gjennomføre 100 intervjuer for å oppnå tilsvarende resultat, slik man gjør i eksempelvis kvalitative undersøkelser. En svakhet ved spørreundersøkelser er at man etter distribusjon

og gjennomførelse ikke kan stille respondentene flere spørsmål dersom det oppstår mistolkning og informasjon uteblir.

For å teste og kvalitetssikre spørreundersøkelsen ble det i siste fase av utarbeidelsen etterspurt preferanser og konstruktiv kritikk hos både Kystverket og veileder, det ble også gjennomført en pilottest. Subjektene for pilottesten var nautikkstudenter ved 3. året NTNU i Ålesund. Testsubjektene ble oppfordret til å komme med konstruktiv kritikk i forhold til hvordan emnet var presentert og oppbygning av spørsmål med svaralternativ.

3.2.2 Distribusjon

Da spørreundersøkelsen var ferdig utarbeidet ble den lastet opp på nettplattformen SurveyMonkey. Videre ble 49 forskjellige rederier fra ulike segment kontaktet for å hjelpe til med distribusjon til sine navigatører. Grunnen til at denne metoden ble valgt er at den er tidseffektiv og sikrer at respondentene er seilende navigatører. Etter 3 uker var det 45 besvarelser og flere av segmentene hadde ingen respondenter, spørreundersøkelsen ble derfor distribuert via relevante Facebook-grupper for å oppnå det ønskede antall respondenter. Bakdelen med dette er at man ikke lenger kan si med sikkerhet at alle respondenter er seilende navigatører. Man mister også kontroll på hvor mange spørreundersøkelsen har nådd ut til, og man kan ikke fastslå svarprosent.

Undersøkelsen var tilgjengelig fra 30. januar til 3. mars og ble besvart av 100 anonymiserte personer. Da svarene er hentet inn i løpet av et begrenset tidsvindu på 35 dager, reduseres risiko for målefeil og reliabiliteten styrkes. Respondentene har da så godt det lar seg gjøre svart ut ifra de samme forutsetningene, og det er heller ikke registrert noen uvanlige feil på tjenestene i dette tidsrommet som kunne påvirket resultatet.

Svarfordelingen mellom segmentene strekker seg fra 8-17%, med unntak av offshore som er overrepresentert med 33%. Selv om offshore representerer et segment som seiler relativt lite langs norskekysten, er også disse representative, da vi har sikret relevant informasjon gjennom tekstbokser.

3.2.3 *Analysering*

Ved å analysere svarene fra spørreundersøkelsen er det mulig å identifisere opplevelse, behov og bevissthet blant et utvalg navigatører rundt bruken av differensiell GNSS langs norskekysten.

For å få en oversiktlig struktur på dataene fra spørreundersøkelsen, altså hvilke svaralternativ som er krysset av på hvert spørsmål, lagde vi et klassifikasjonsskjema. Respondentene blir listet opp på en akse og variablene på en annen, i feltene som faller sammen kommer det frem hvilke verdier som er valgt av respondenten på hvert spørsmål (Larsen, 2017). Da vi opprettet klassifikasjonsskjemaet hentet vi svardata fra SurveyMonkey og bearbeidet den i statistikkprogrammet statistical package for the social sciences (SPSS). Vi hentet verdiene fra en respondent av gangen og samlet dataene i en datamatrix for å oppnå en systematisk oversikt. Hvert enkelt svaralternativ ble gitt en tallkode fra 1 til 7, avhengig av antall alternativ. For de åpne spørsmålene med tekstboks måtte vi først få oversikt over respondentenes ulike svar for å kunne presentere informasjonen statistisk. Under bearbeidelsesprosessen ble det for de åpne spørsmålene opprettet svaralternativer som var dekkende for all informasjon innhentet i disse spørsmålene.

Gjennom programmet SPSS ble det opprettet grafer for spørsmålene der svarene er presentert etter hvilket segment respondenten tilhører. Det ble også laget noen krystabeller for å sammenligne svar mellom ulike spørsmål.

3.2.4 *Troverdighet*

For å øke resultatets troverdighet er det spesielt viktig å ta hensyn til undersøkelsens validitet og reliabilitet. Spørsmålene som stilles må være relevante og dekkende for problemstillingen, og det skal ikke være stor variasjon i respondentenes grunnlag for å kunne svare på spørsmålene (Larsen, 2017).

Validitet i kvantitative oppgaver er at man måler det man ønsker å måle (Larsen, 2017). I denne undersøkelsen med forhåndsdefinerte spørsmål og svaralternativ sikres validiteten spesielt gjennom utformingen av spørsmålene. Dersom respondentene forstår innholdet i spørsmålene og har muligheten til å avgi det svaret de ønsker vil det gi resultatet vårt en god gyldighet. Underveis i undersøkelsesprosessen oppdaget man at flere av respondentene fra

offshoresegmentet refererer til DP-operasjoner selv om det er opplyst at alle spørsmål i undersøkelsen gjelder ferdsel langs norskekysten. For å bevare validiteten til undersøkelsen må svar der respondenten har svart ut ifra operasjonelle situasjoner gis mindre vektning eller fjernes, eksempelvis skip som ligger på DP langt til havs.

Generelt betyr høy reliabilitet i kvantitative undersøkelser liten grad av tilfeldige målefeil (Larsen, 2017, p. 47). Et viktig poeng er eksempelvis at svaralternativene er gjensidig utelukkende og at undersøkelsen er gjennomført med likt undersøkelsesopplegg for alle respondentene. Et eksempel hvor troverdigheten svekkes er spørsmål 3 hvor alternativene ikke er gjensidig utelukkende, likevel vil ikke det i denne sammenheng ha like stor betydning da alternativene er hentet fra bransjestandarder.

3.3 Posisjonsdata

3.3.1 Målingene

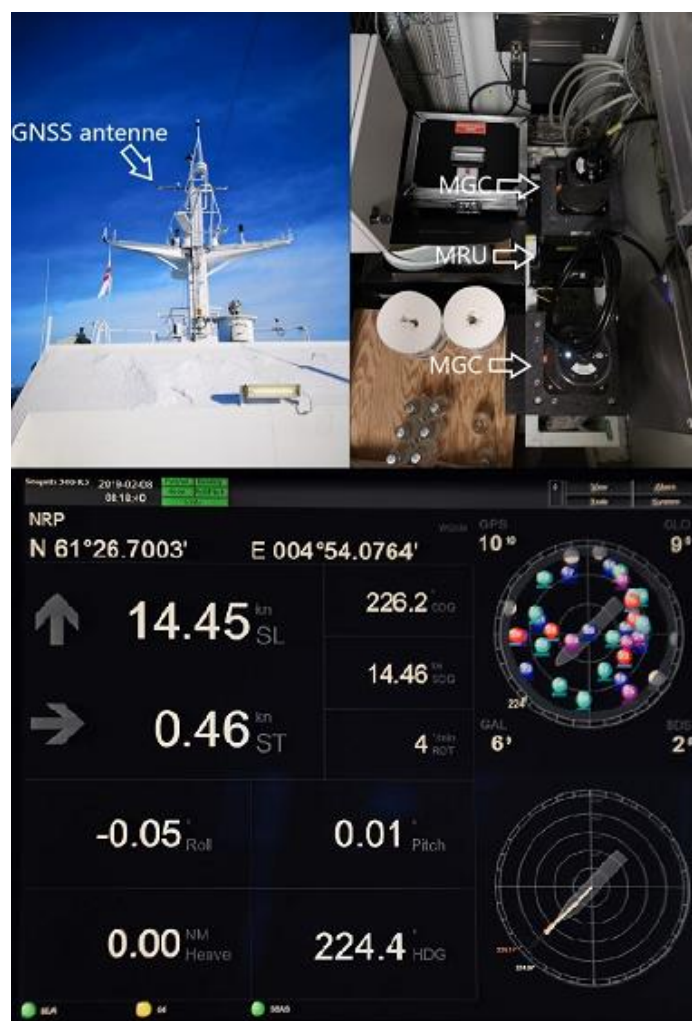
Innhenting av posisjonsdataene er gjort av Kongsberg Seatex (KS) på vegne av Kystverket. For å hente inn disse dataene har KS benyttet M/S Polarlys (figur 12), et skip som er eid av Hurtigruten og går i fast rute mellom Bergen og Kirkenes. KS arbeider tett med M/S Polarlys og bruker dette skipet aktivt til utvikling og testing av utstyr.



Figur 12. Posisjonsdata benyttet i oppgaven ble innsamlet fra hurtigruteskipet M/S Polarlys (Itromsø, 2016).

For å hente inn posisjonsdataene installerte KS en Seapath 380 flerfrekvent GNSS-mottaker. Dette er en svært avansert GNSS-mottaker som ved hjelp av en Novatel OEM 719x2 GNSS-chip med 555 kanaler kan følge satellitter fra GPS, GLONASS, Galileo, Beidou og QZSS. Mottakeren kan også motta korreksjoner fra IALA DGPS, de ulike SBAS-systemene og betalingstjenestene til Fugro. Selv om dette er en avansert mottaker er denne ikke typegodkjent av IMO. Sammen med Seapath 380 ble det montert to Kongsberg MGC og en Seatex MRU (figur 13).

Antennesystemet som KS monterte sammen med denne mottakeren er en 2-frekvent GNSS-antenne (figur 13), systemet kan måle faseforskjell på mottatte GNSS-signal og selv korrigere for ionosfærefeil dersom man ønsker dette. Det er også installert en egen antenne for å motta IALA DGPS-korreksjoner. Under innsamling av posisjonsdata ble IALA DGPS-antennen flyttet for å unngå støy fra andre radioantenner og lignende.



Figur 13. Utstyr montert på M/S Polarlys. Fra øverst til venstre: GNSS antenne i mast, MGC og MRU i instrumentrom. Under: Brukergrensesnitt til GNSS-mottaker Seapath 380. Bilder er tatt under studietur 12.03.2019.

Systemet har i perioden desember 2017 til november 2018 loggført posisjoner hvert sekund på GPS (flerfrekvent), EGNOS og Kystverkets DGPS. Disse posisjonene blir presentert som geografiske koordinater med breddegrad, lengdegrad og geoidehøyde i datum WGS84. For å kunne fastslå nøyaktighetene på de ulike systemene opp mot den faktiske posisjon har KS utarbeidet referanseposisjoner og kalt disse PPP (precise point positioning). Posisjonene er etterprosessert ved å hente ut rådata fra mottakeren og kombinere denne med sann klokke- og satellittbaneinformasjon målt av NASA.

KS har videre satt sammen posisjonsdataene fra de forskjellige systemene til 337 tekstfiler der hver fil inneholder data for et døgn (vedlegg 1). På figur 14 ser man et utklipp av en tekstfil åpnet i «Note Pad». Øverst ser man en header som forklarer hva som er presentert, under headeren representerer hver linje ett sekund. Linjen starter til venstre med dato og tid, etterfulgt av posisjonskoordinater og avvik i forhold til PPP for de ulike systemene. På enden av hver linje kan man se informasjon om integritetsalarm og hvilke geosatellitter/DGPS-stasjoner korreksjonen er hentet fra. Integritetsalarmen fra IALA DGPS kan ikke brukes da nødvendig informasjon ikke er innhentet av KS.

```
# Analysis of the performance of GPS L1 standalone, GPS+EGNOS and GPS+IALA
# time | position ([lat]itude, [lon]gitude in deg, [h]eight in m) | difference vs. true value (dn, de, dh, in m)
# | true value | GPS L1 standalone | GPS+EGNOS | GPS+IALA | GPS L1 standalone | GPS+EGNOS | GPS+IALA
#-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
# YYYMMDD HH:MM:SS | n e h | n e h | n e h | n e h | dn de dh | dn de dh | dn de dh |
#YYMMDD;HH:MM:SS;lat_PPP;lon_PPP;h_PPP;lat_GPS;lon_GPS;h_GPS;lat_SBAS;lon_SBAS;h_SBAS;lat_IALA;lon_IALA;h_IALA;dn_PPPGPS;de_PPPGPS;dh_PPPGPS;dn_PPPSBAS;de_PPPSBAS;dn_PPPIALA;de_PPPIALA;dh_PPPIALA;HE_GPS;HE_SBAS;HE_IALA;HPL;VPL;ALARM;GEO_satellite;BEACON_#
171201;16:21:37;70.457912616;30.967556885;46.8339;70.4579040622074;30.9675674098339;46.443;70.4579110517277;30.9675546786262;47.252;70.4579084183937;30.9675478
171201;16:21:38;70.457958951;30.967423940;46.7056;70.4579504538809;30.9674345665951;46.358;70.457957370504;30.9674217353972;47.138;70.4579547637486;30.96741486
171201;16:21:39;70.458005765;30.967291589;46.4900;70.457997408538;30.9673023364756;46.200;70.4580042445016;30.9672895132615;46.933;70.4580016738854;30.96728266
171201;16:21:40;70.458052631;30.967159797;46.3535;70.4580442944063;30.9671703806052;46.092;70.4580511575435;30.9671575814005;46.797;70.458048560039;30.96715073

horizontal error HE = sqrt(dn^2+de^2), in m | integrity | correction from
GPS L1 standalone | GPS+EGNOS | GPS+IALA | EGNOS | IALA | EGNOS | IALA
HE | HE | HE | HPL | VPL | ALARM | GEO satellite | BEACON #
BAS;dn_PPPSBAS;dn_PPPIALA;de_PPPIALA;dh_PPPIALA;HE_GPS;HE_SBAS;HE_IALA;HPL;VPL;ALARM;GEO_satellite;BEACON_#
398766;46.588;0.525;0.887;-0.391;-0.169;-0.092;0.418;0.475;-0.328;-0.246;1.031;0.193;0.577;0;#;2123;800
71939;46.477;0.209;1.009;-0.348;-0.143;-0.132;0.432;0.420;-0.396;-0.229;1.031;0.195;0.577;0;#;2123;800
82475;46.271;-0.371;0.947;-0.290;-0.065;-0.175;0.443;0.339;-0.452;-0.219;1.017;0.187;0.565;0;#;2123;800
90738;46.136;-0.105;1.003;-0.261;-0.108;0.149;0.444;0.051;-0.564;-0.217;1.008;0.184;0.566;0;#;2123;800
```

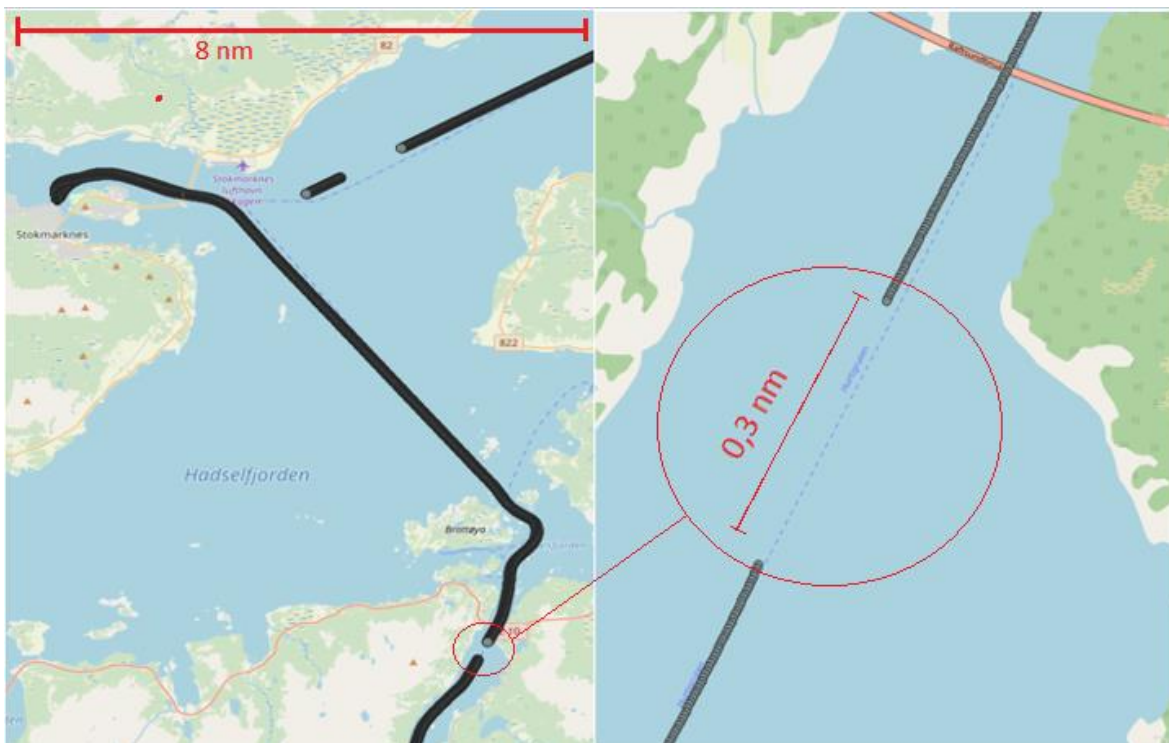
Figur 14. Utklipp av tekstfil med posisjonsdata levert av Kongsberg Seatex. Det går frem av tekstfilen at det er L1 standalone, men dette er feil, GPS-målingene er flerfrekvent.

3.3.2 Bearbeiding og analysering av data

Da posisjonsdataene består av LAT/LON-posisjoner fordelt over en periode på 337 dager var det å få oversikt over den store mengden data det første som ble gjort. Etter samtale med Kystverket ble gruppen anbefalt programmet QGIS 3.4.4, hvor man kan legge inn CSV EXCEL-filer lagdelt over et kartgrunnlag for å gjenskape seilasene til M/S Polarlys og fremstille dem i QGIS.

For å kunne fremstille geografiske posisjoner i QGIS, var det en omfattende prosess med å ta ut relevant informasjon, samt overføre disse til et format kompatibelt med QGIS 3.4.4. De originale CSV-filene ble overført til filformatet Excel-arbeidsbok, hvor vi delte alle datafilen opp i nord/sør-turer mellom Bergen og Kirkenes. Fra dette dokumentet bestående av om lag 430 000 -520 000 sekunder ble posisjonene for PPP, GPS, EGNOS og Kystverkets DGPS tatt ut separat og konvertert til CSV-filer.

Ved å separere filene kunne vi lagdelt legge inn de forskjellige posisjons-/korreksjonssystemene for hver tur (nord/sør) i QGIS. Denne metoden å ordne dataene på sørget for en oversiktlig visuell analysering av deknningen. En grafisk fremstilling av posisjonene gir gruppen muligheten til å se hvor den mobile enheten klarer eller ikke klarer å oppfatte fix, det gir også mulighet for å sammenligne ulike tjenester i det samme geografiske området. I figur 15 ser vi eksempel på hvordan dekning for en tjeneste kommer frem i QGIS 3.4.4. Posisjonene/prikkene er avhengig av kartgrunnlaget «Open streetmap» (funksjon i QGIS) med likt datum for å gi en korrekt gjenskapelse av seilasen.



Figur 15. Utdrag fra GPS-posisjoner korrigert med Kystverkets DGPS-tjeneste (sort strek). Fra venstre Hadsselfjorden og Raftsundet i perioden september 2018. Utringet område er eksempel på et typisk utfall. Rød farge indikerer avstander.

Arbeidet i QGIS var nyttig for at gruppen skulle få en generell oversikt over tjenestenes styrker og svakheter. Det gir også gruppen en indikasjon på hvilket resultat vi kan forvente

etter videre beregninger av nøyaktighet og tilgjengelighet. Likevel gir ikke QGIS oversikt som er praktisk mulig å presentere i tabeller og diagram som statistisk data. For å svare på oppgavens problemstilling, å kartlegge og sammenligne ytelse på tjenestene EGNOS og Kystverkets DGPS, har vi tatt i bruk EXCEL for å gjøre beregninger på gjennomsnittlig nøyaktighet og tilgjengelighet. Når vi kartlegger verdiene har vi tatt hensyn til at Kystverket ønsker å sammenligne resultatet opp mot krav IMO stiller til globale radionavigasjonssystem.

3.3.3 Validitet og reliabilitet

For å sikre at posisjonsdataene var pålitelige reiste gruppen til Trondheim for å besøke KS som står for innsamlingen av dataene og M/S Polarlys. Under besøket ved Kongsberg og Hurtigruten fikk vi innsyn i prosessen bak posisjonsdataene. Vi fikk presentert utstyret om bord på M/S Polarlys, forhørt oss om vedlikeholdsrutiner samt pratet med navigatørene og de ansatte som har hatt ansvaret for å gjennomføre og etterprosessere målingene hos KS.

Det er viktig å presisere at mottakeren som er brukt i forbindelse med datainnsamlingen er svært nøyaktig og er ikke typegodkjent av IMO. På grunn av at den mangler typegodkjenning er den ikke godkjent til navigasjonsformål. Nøyaktighetstall på de ulike systemene som presenteres i analysen kan derfor være bedre enn nøyaktigheten som oppleves ved bruk av en enklere mottaker som er typegodkjent av IMO.

Målingene ble gjennomført i et tidsrom på 337 dager med kontinuerlige målinger og en varighet på 5-6 dager per strekning, noe som har gitt oss mulighet til å måle samme områdene cirka 60 ganger. Målingene viser variasjoner men at de samme områdene opplever de samme problemene flere ganger, dette er med på å styrke målemetoden.

For å enklere gå gjennom store mengder data og eliminere målinger som gir et feil bilde på kapasiteten ble dataene inndelt i nord/sør-turer og analysert i QGIS og EXCEL. I oktober hadde M/S Polarlys et verkstedopphold på 8 dager da skipet lå i ro, for at målingene ikke skulle påvirke det endelige resultatet ble disse dagene fjernet.

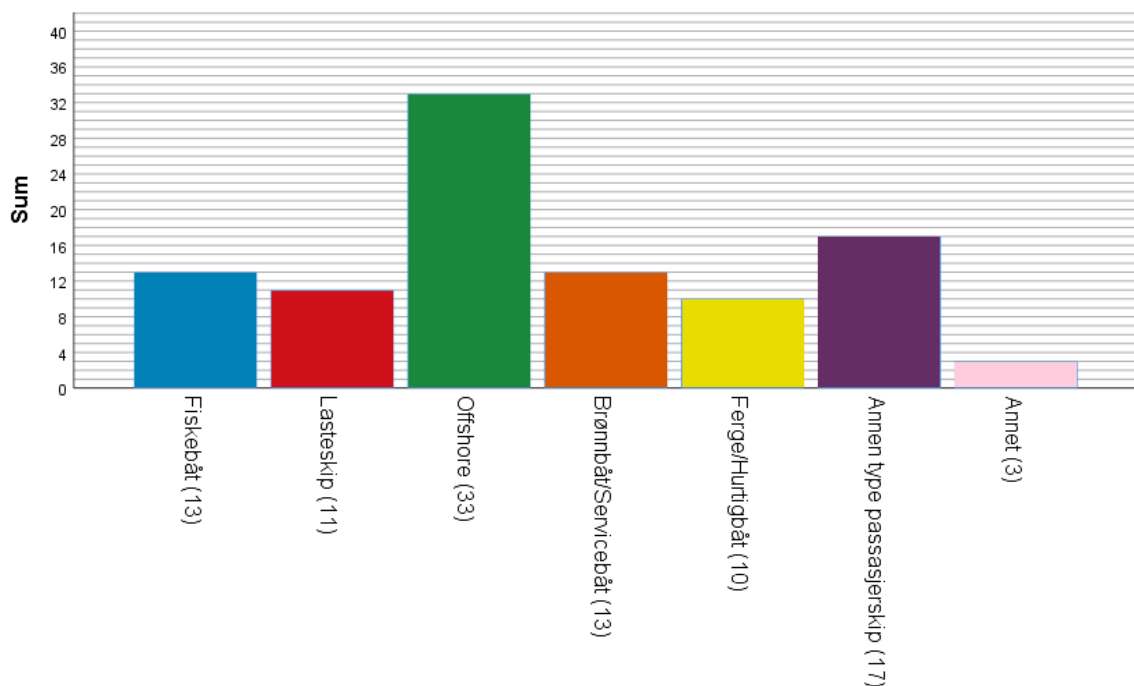
Kapittel 4 Spørreundersøkelse og posisjonsdata

4.1 Spørreundersøkelse

I denne delen av oppgaven skal spørreundersøkelsen belyse bevissthet og behov rundt DGNSS, blant seilende navigatører. Hvert spørsmål presenteres med en detaljert beskrivelse samt grafisk fremstilling, svarene er presentert med farger ut ifra hvilket segment respondentene tilhører. I tekstboksene kommer det frem at enkelte respondenter har svart med tanke på spesielle operasjoner med strenge krav til DGNSS. Hvor dette gjelder har svarene blitt plassert i nøytrale alternativer, som for eksempel «vet ikke». Klassifikasjonsskjema lagt til grunn for analysen ligger vedlagt som vedlegg 2.

Spørsmål 1

På hvilken type fartøy har du din arbeidsplass?



Figur 16. Fordeling av hvor respondentene har sin arbeidsplass. I diagrammet ser man segmenter langs X-akse og antall svar langs Y-akse. Totalt 100 svar på spørsmål 1.

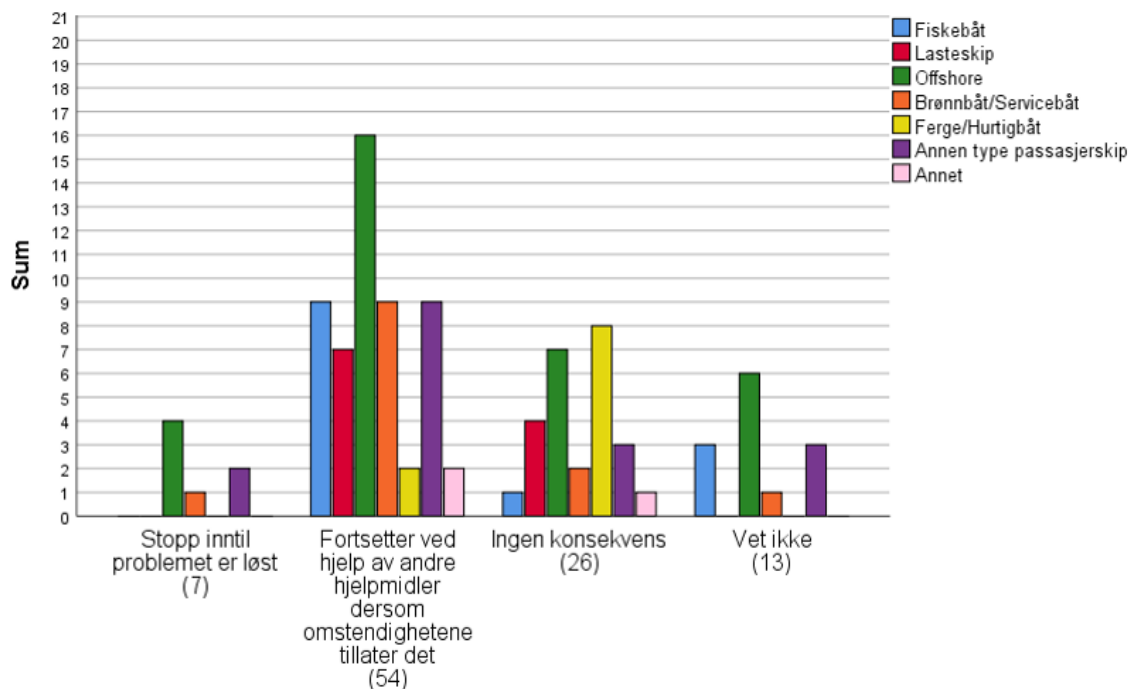
I figur 16 ser man en jevn fordeling av respondenter blant de høyest representerte segmentene langs norskekysten. Man ser at offshore er overrepresentert med 33%. Det kan tenkes at en overrepresentasjon av offshore-segmentet skyldes at de fleste norske offshore-

skip opererer med flere navigatører om bord enn hva som er normalt i de andre segmentene, det er da mulig at offshore leverer flere besvarelser for hvert skip.

På svaralternativ «annet» var det en tilhørende tekstboks hvor respondentene kunne spesifisere hvilket segment de tilhører. Alle respondentene i denne kategorien spesifiserte at de kommer fra fartøy innen oljevern.

Spørsmål 2

Dersom du opplever utfall av GPS, Hva har det å si for seilasen videre? (konsekvens)



Figur 17. Konsekvens ved utfall GPS. I diagrammet finner man konsekvens langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 2.

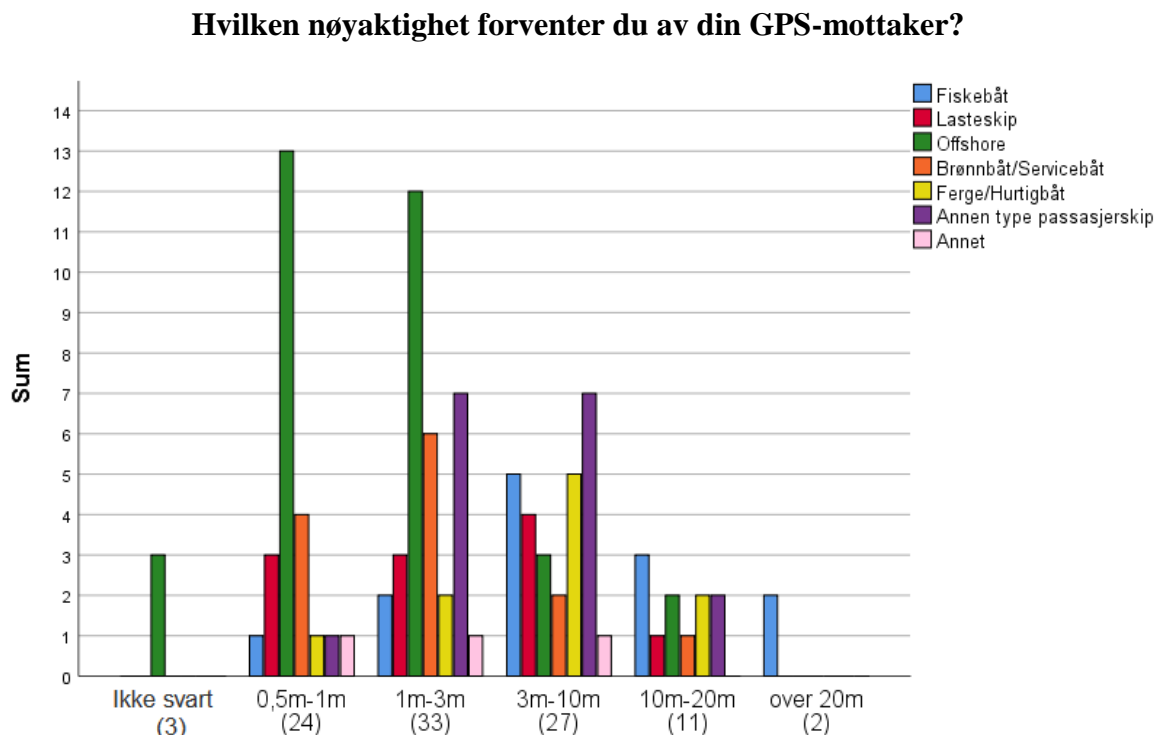
I figur 17 er det fremstilt grafisk hvilke konsekvenser et utfall av GNSS vil ha for videre seilas i de ulike segmentene. Spørsmål 2 var et åpent spørsmål hvor respondenten skulle svare i tekstboks. For å kunne presentere dette oversiktlig ble svarene analysert og plassert i passende kategorier.

Noen av respondentene skriver i tekstboksen at de svarer i forbindelse med særegne operasjoner, og ikke seilas på norskekysten, svarene har blitt plassert under kategorien «vet ikke». Svarene fra respondentene som ikke har opplevd utfall av GNSS ble plassert i samme kategori.

Man ser at en stor del av ferge-/hurtigbåtflåten har svart under kategorien «ingen konsekvens». Respondenter innenfor de to skipstypene svarte at kjennskap til aktuelt fartsområde og en relativt kort reiserute gjør det mulig å fortsette seilassen uten konsekvenser av betydning.

Det man ser er at de fleste mener konsekvensene av et utfall vil være situasjonsbetinget. Faktorene som ligger til grunn vil typisk være metrologi, oseanografi, sikt, fartøyets begrensinger og planlagt rute videre. Flere kommenterer at dersom de skulle fortsette seilassen kunne andre hjelpemidler benyttes, slik som visuell navigasjon og peileverktøy i radar og ECDIS. Mange av respondentene nevner også at en konsekvens vil være økt stressnivå og at oppbemanning på bro vil være nødvendig.

Spørsmål 3

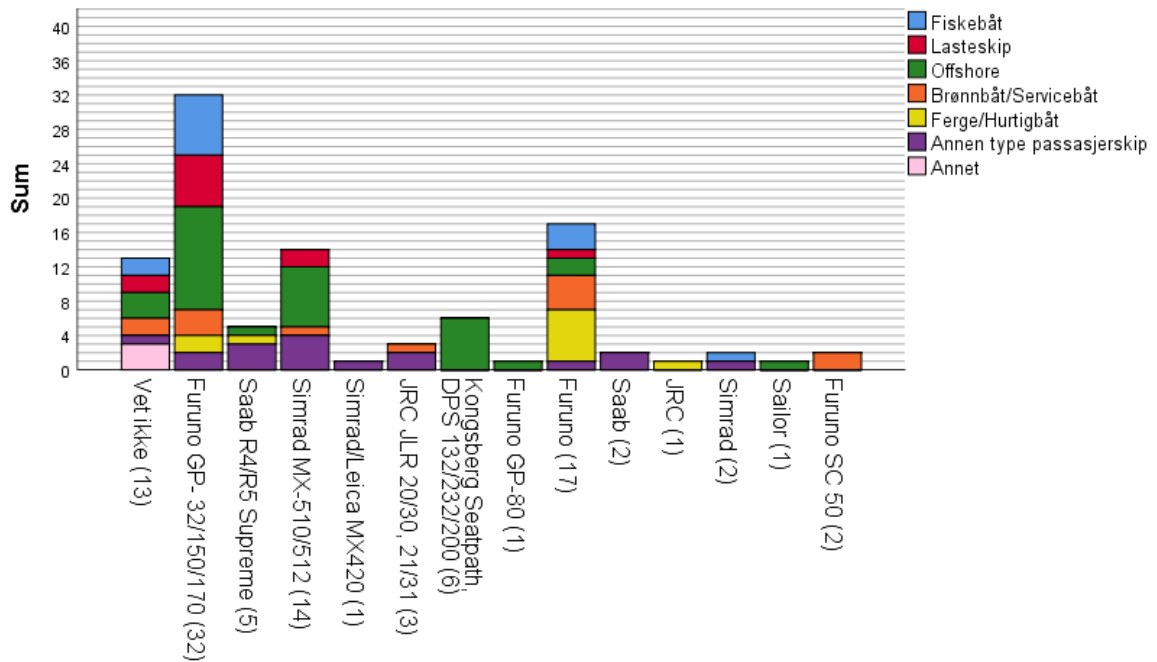


Figur 18. Forventet nøyaktighet GPS-mottaker. I diagrammet finner man forventet nøyaktighet langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 97 svar på spørsmål 3.

I figur 18 er det fremstilt grafisk hvilken nøyaktighet navigatøren forventer av sin GPS/GNSS-mottaker. Spørsmål 3 var et lukket spørsmål hvor svaralternativene ble delt inn i nøyaktighetsområder hentet fra bransjekrav og tekniske ytelser som ulike tjenester tilbyr. Resultatet fra analysen viser at de fleste forventer en nøyaktighet mellom 1 m og 3 m, og alternativet har en varierende fordeling mellom segmentene.

Spørsmål 4

Hvilken primær GPS-mottaker har du?



Figur 19. Primær GPS-mottaker. I diagrammet finner man primær mottaker langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segment er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 4.

Spørsmål 4 var et åpent spørsmål hvor respondenten skulle svare i tekstboks. For å kunne presentere dette oversiktlig ble svarene analysert og plassert i passende kategorier. For å begrense antall kategorier og enklere kunne kople dette opp mot andre spørsmål, har mottakere som er av samme merke og har mulighet for å motta de samme differensielle korreksjonene blitt plassert i samme kategorier. Noen respondenter oppga merke uten modellnummer, disse fått egne kategorier, eksempelvis «Furuno».

Av alle respondentene ser man at Furuno blir representert som den største aktøren med 52 svar. 17 av disse respondentene har ikke oppgitt modellnummer, men man kan anta at noen av disse faller innenfor den mest vanlige kategorien til Furuno «GP-32/150/170». Det er verdt å bemerke at 13 respondenter ikke vet hvilken GNSS mottaker de benytter.

Spørsmål 5

Hvis din GPS-mottaker støtter differensielle korreksjoner, hvilke kan den motta? (Flervalgssvar)

Tabell 5. Hvilke differensielle tjenester respondentenes mottaker kan motta, sortert ut ifra segment. Totalt 100 svar.

	IALA	WAAS/EGNOS	Ingen	Vet ikke	Annet	Total
Fiskebåt	3	3	0	9	0	13
Lasteskip	8	4	1	2	0	11
Offshore	28	12	1	2	11	33
Brønnbåt/Servicebåt	5	4	0	5	0	13
Ferge/Hurtigbåt	6	2	0	3	0	10
Annen type passasjerskip	10	6	1	3	0	17
Annet	2	1	0	0	0	3
Total	62	32	3	24	11	100

Spørsmål 5 var et lukket spørsmål, der alternativet «annet» var tilknyttet en tekstboks hvor respondentene kunne spesifisere tjenesten. Respondentene som har svart «annet» har nevnt betalingstjenester, eksempelvis Fugro, disse respondentene tilhører offshore-segmentet og det kan derfor tenkes at tjenestene benyttes i DP-sammenheng.

Ut ifra tabell 5 kan man lese at de fleste GNSS-mottakerne som er i bruk blant respondenten kan motta IALA DGPS, men også mange mottar WAAS/EGNOS. Man ser at en stor andel ikke vet hvilke tjenester mottakeren kan motta.

Ved å sammenligne svarene fra spørsmål 4 og 5 i en krysstabell (tabell 7), kan man danne seg et bilde av bevisstheten til navigatørene rundt differensielle korreksjonstjenester. I tabell 7 får man opplyst hvilken mottaker navigatørene bruker og hvilke differensielle tjenester de kan motta. I tabell 6 kan man se hvilke tjenester mottakerne kan støtte med tilleggsutstyr. For eksempel var det 32 respondenter som opplyste at de har Furuno GP- 32, 150 eller 170 om bord. Disse mottakerne kan motta korreksjoner fra alle typer SBAS-system, og IALA DGPS-system dersom man har tilleggsutstyr. I tabell 7 ser man at av de samme 32, har 12 svart de kan motta WAAS/EGNOS, siden alle disse mottakerne støtter WAAS/EGNOS burde dette alternativet innehatt 32 svar. Man kan også danne seg et bilde av hvilket tilleggsutstyr som blir benyttet blant navigatørene, eksempelvis ser man at blant de 32 som har svart de har en furuno GP-32/150/170, er det bare 23 som kan motta IALA DGPS. Det

betyr at bare 23 av totalt 32 respondenter har en mottaker av denne typen med tilleggsutstyr som gir støtte for IALA DGPS.

Tabell 6. Oversikt over hvilke differensielle korreksjonstjenester de ulike mottakere har mulighet for å motta, med nødvendig tilleggsutstyr. Informasjon hentet fra leverandørens hjemmeside

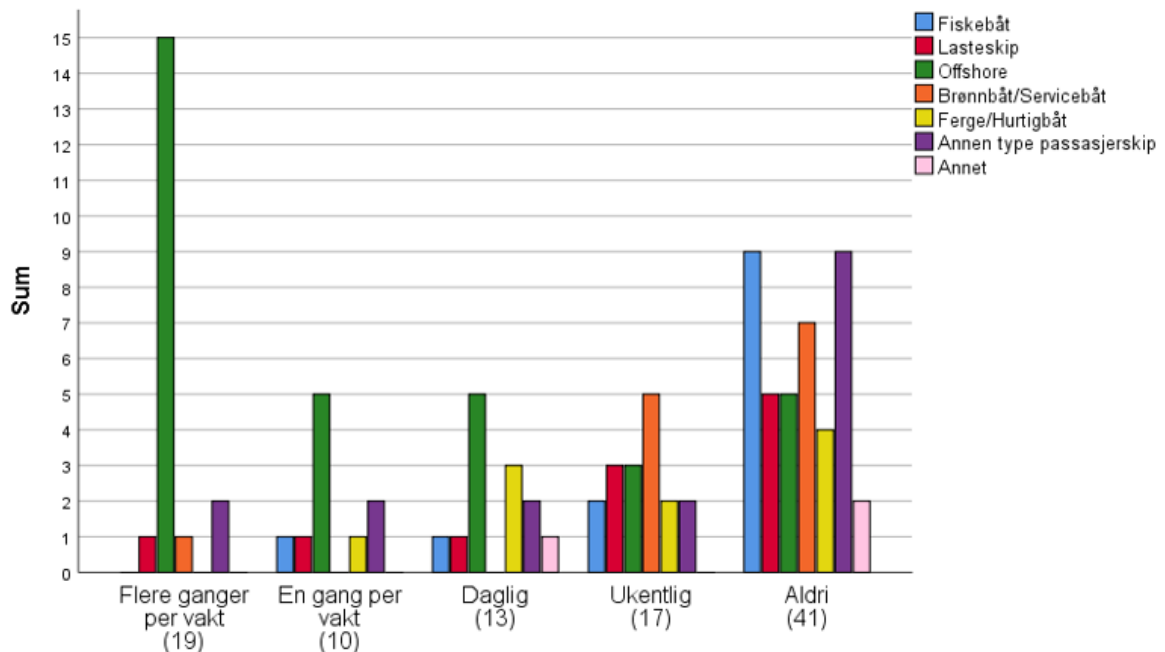
Mottaker	Støtter differensiell korreksjon
Furuno 32/150/170	IALA/ SBAS (WAAS/EGNOS)
Saab R4/R5 Supreme	IALA/ SBAS (WAAS/EGNOS)
Simrad MX -510/512	IALA
Simrad/ «Leicia» MX420	IALA
JRC JLR 20/30 & 21/31	IALA/ SBAS (WAAS/EGNOS)
Kongsberg Seapath & DPS 132/232/200	IALA/ SBAS (WAAS/EGNOS) (Ikke IMO-godkjent)
Furuno GP-80	IALA
Furuno SC 50	IALA/ SBAS (WAAS/EGNOS)

Tabell 7. Krysstabell mellom hvilke differensielle korreksjoner respondenter mener de kan motta og hvilke primær GNSS-mottaker de har.

		Differensielle korreksjoner din GPS-mottaker kan motta.					Totalt
		IALA DGPS	WAAS/ EGNOS	Ingen	Vet ikke	Annet	
Hvilken primær GPS-mottaker har du?	Vet ikke	8	4	1	2	1	13
	Furuno GP 32/150/170	23	12	1	7	5	32
	Saab R4/R5 Supreme	4	2	0	1	1	5
	Simrad MX-510/512	7	4	1	4	0	14
	Simrad/Leica MC420	1	0	0	0	0	1
	JRC JLR 20/30,21/31	0	2	0	1	0	3
	Kongsberg Seatpath, DPS 132/232/200	6	1	0	0	3	6
	Furuno GP-80	0	0	0	1	0	1
	Furuno	9	4	0	6	1	17
	Saab	1	2	0	0	0	2
	JRC	0	1	0	0	0	1
	Simrad	1	0	0	1	0	2
	Sailor	1	0	0	0	0	1
	Furuno SC 50	1	0	0	1	0	2
Total	62	32	3	24	11	100	

Spørsmål 6

Hvor ofte kontrollerer du at mottaker innehar differensielle korreksjoner?



Figur 20. Intervaller for sjekk av differensielle korreksjoner på mottaker. I diagrammet finner man kategorier som representerer typiske kontrollintervaller langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 6.

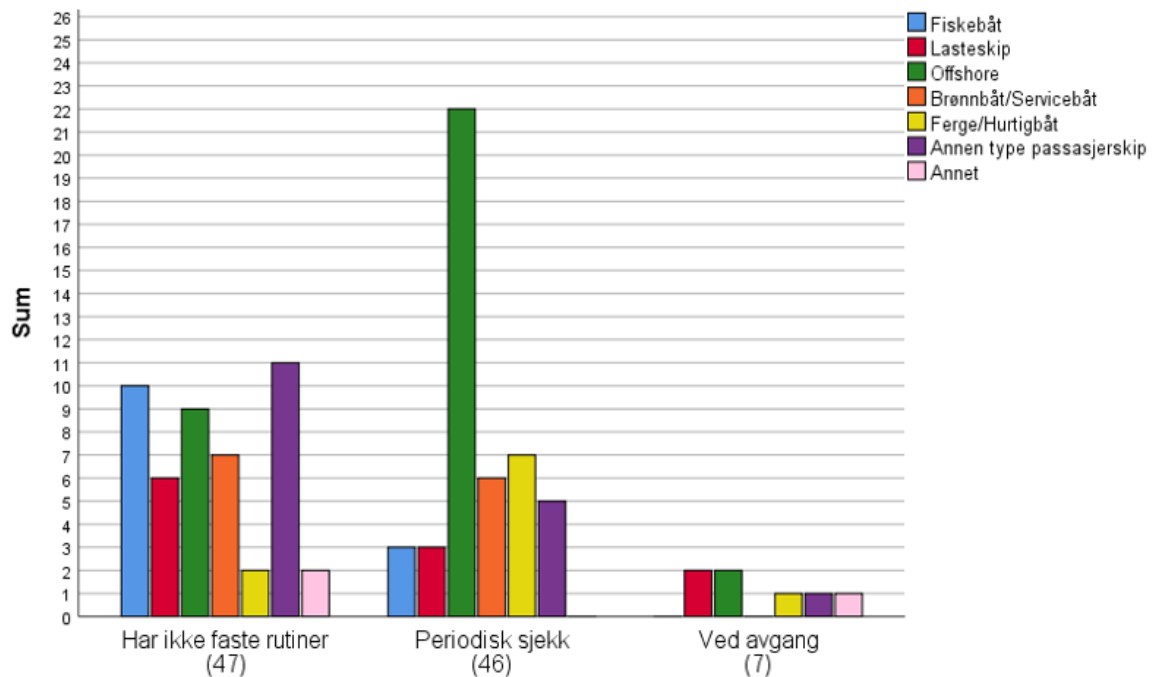
I figur 20 er det fremstilt grafisk hvor ofte navigatører kontrollerer mottak for differensielle korreksjoner. Spørsmål 6 var et lukket spørsmål med typiske kontrollintervaller angitt som svaralternativ.

Totalt er det 29 respondenter som sjekker mottaker for differensielle korreksjoner en- eller flere ganger per vakt, og man ser at 60% av offshore-segmentets respondenter har valgt et av disse alternativene. Det kan tenkes at noen av disse svarene er ment ut ifra et DP-perspektiv hvor det er svært viktig å inneha differensielle korreksjoner.

Videre ser man at 41 respondenter har svart at de aldri sjekker om mottaker innehar differensielle korreksjoner, legger man til respondentene som har svart at dette sjekkes ukentlig får man totalt 58 respondenter som sjekker dette sjeldnere enn daglig. Det kan tenkes at dette er for sjeldent ettersom skipet er i konstant forflyttelse.

Spørsmål 7

Hvilke faste rutiner har dere om bord for sjekk av ytelsen på mottakeren?



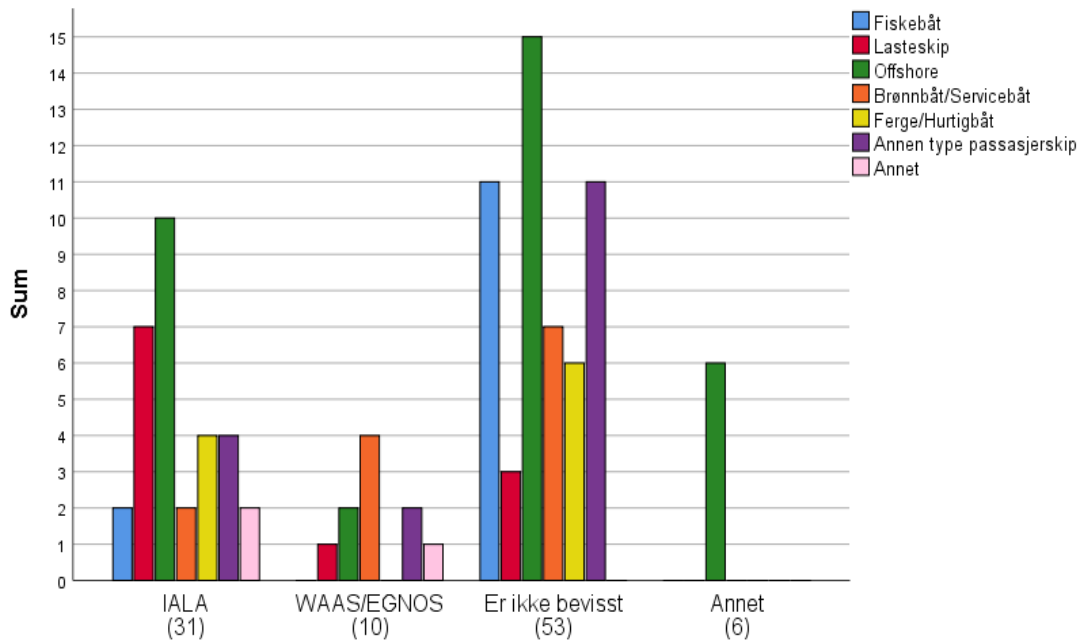
Figur 21. Rutiner for sjekk av mottakerens ytelse med tilhørende segment presentert i farger. I diagrammet finner man kontrollrutinene langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen, det var totalt 100 svar på spørsmål 7.

I figur 21 er det fremstilt grafisk hvilke faste rutiner navigatøren har om bord for kontroll av ytelsen på mottaker, altså mottakerens innstillinger. I spørsmål 7 hadde respondenten mulighet å velge en av de tre forhåndsdefinerte svaralternativene eller svare i en tekstboks. For å kunne presentere tekstsvarene oversiktlig ble disse analysert og plassert under den kategorien som passet best.

Alternativet «har ikke faste rutiner» og «periodisk sjekk» har blitt valgt av nesten like mange respondenter. Om man videre ser på fordelingen av segmenter på begge alternativene ser vi at offshore står for 22 av 46 svar på alternativet «periodisk sjekk». Dette gjør at alternativet «har ikke faste rutiner» blir mer representativt siden fordelingen mellom segmentene er jevnere. Det er viktig å trekke frem at «har ikke faste rutiner» ikke nødvendigvis betyr liten bevissthet. Det kan bety at mottaker blir sjekket jevnlig, uten at det er en fast rutine. Det kom frem i tekstboks- svarene at flere sjekket mottaker kontinuerlig, disse svarene ble tolket som «har ikke faste rutiner».

Spørsmål 8

Om du er bevisst på hvilken differensiell korreksjonstjeneste du bruker, hvilken foretrekker du?



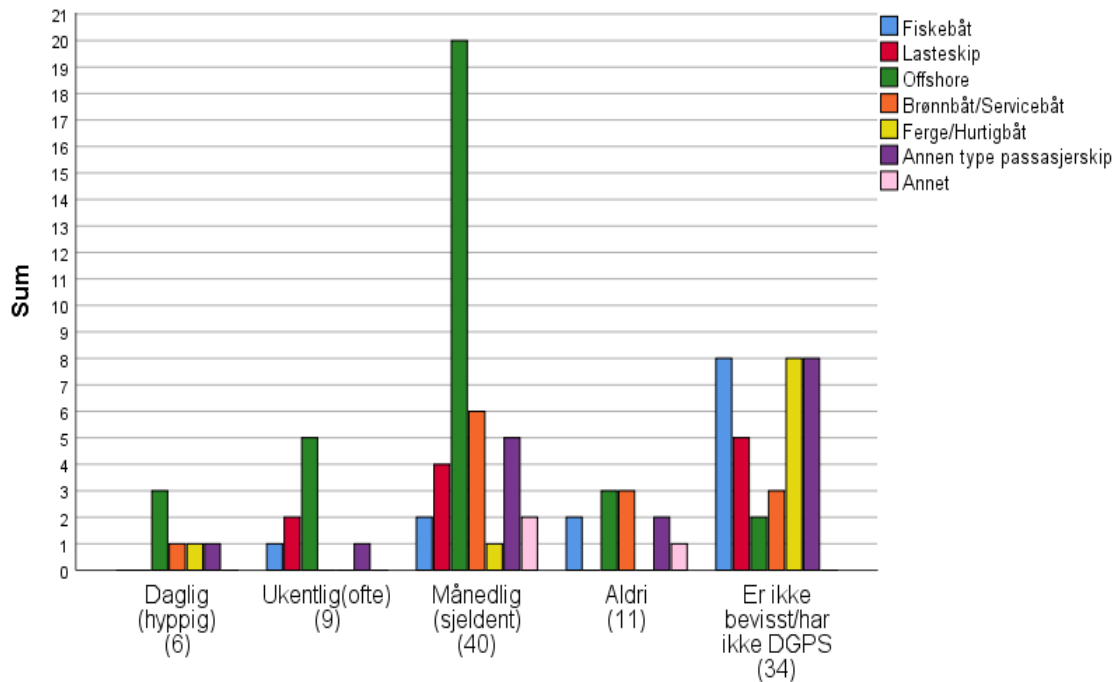
Figur 22. Foretrukket differensielle korreksjonstjeneste. I diagrammet finner man hvilke tjenester som foretrekkes langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 8.

I spørsmål 8 hadde respondenten mulighet å velge en av de tre forhåndsdefinerte svaralternativene eller «Annet» med tilhørende tekstboks. De respondentene som svarte i tekstboksen nevnte betalingstjenester som benyttes i operasjoner der høy nøyaktighet er nødvendig.

Figur 22 viser at de som er bevisst på hvilken differensiell korreksjonstjeneste som benyttes er IALA DGPS den mest foretrukne. 53% av respondentene svarer at de ikke er bevisst på hvilken differensiell korreksjonstjeneste de benytter.

Spørsmål 9

Hvor ofte opplever du utfall av det foretrukne differensielle korreksjonssignalet?



Figur 23. Opplevelse av utfall på det foretrukne differensielle korreksjonssigna. I diagrammet finner man kategorier som representerer hvor ofte utfall oppleves langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 9.

I figur 23 er det fremstilt grafisk hvor ofte navigatøren opplever utfall av det foretrukne differensielle korreksjonssignalet. Spørsmål 9 var et lukket spørsmål, der det ble presisert at dersom navigatøren svarte «er ikke bevisst» på spørsmål 8, skulle man velge alternativ 5. Det betyr at alternativet «er ikke bevisst/har ikke DGPS» burde innehatt 53 respondenter og kan tolkes som at spørsmålet er blitt misforstått.

Man ser at 51 respondenter har svart at de opplever utfall en gang i måneden eller sjeldnere. I seilingssammenheng tolkes dette som minimalt da skip er under konstant forflytning og opererer døgnet rundt, og det kan tenkes at systemene oppleves som tilfredsstillende.

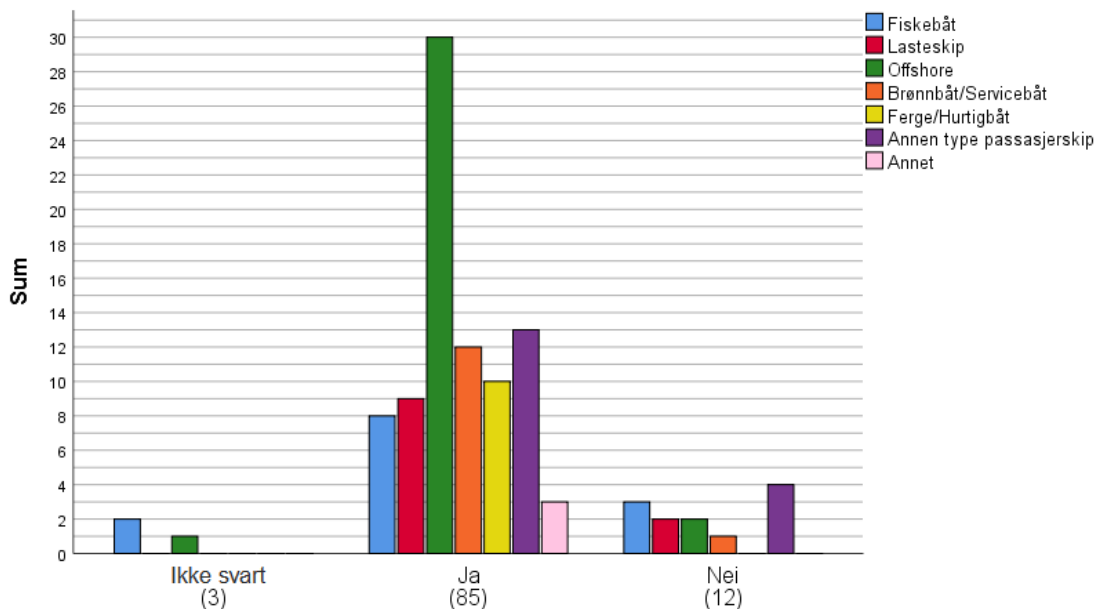
I Tabell 8 er en krysstabell mellom spørsmål 8 og 9 presentert. Her kan man se hvor ofte utfall oppleves på det foretrukne korreksjonssignalet ut ifra hvilket korreksjonssignal navigatøren foretrekker. Tabellen kan brukes for å danne seg et bilde av navigatørens opplevelse av de ulike tjenestene.

Tabell 8. Krysstabell mellom foretrukne differensiell korreksjonstjeneste, og hvor ofte utfall oppleves.

		Om du er bevisst på hvilken differensiell korreksjonstjeneste du bruker, hvilken foretrekker du?				Total
		IALA	WAAS/EGNOS	Er ikke bevisst	Annet	
Hvor ofte oppleves du utfall av det foretrukne differensielle korreksjonssignalet?	Daglig(hyppig)	2	0	4	0	6
	Ukentlig(ofte)	6	0	2	1	9
	Månedlig(sjeldent)	15	6	14	5	40
	Aldri	2	1	8	0	11
	Er ikke bevisst/har ikke DGPS	6	3	25	0	34
Total		31	10	53	6	100

Spørsmål 10

Er tilgjengeligheten på det foretrukne korreksjonssignalet tilfredsstillende?



Figur 24. Tilgjengelighet på foretrukket korreksjon signal. X-aksen i diagrammet representerer om respondentene er tilfreds med det foretrukne korreksjonssignalet og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 97 svar på spørsmål 10.

Spørsmål 10 var et lukket spørsmål, der de som svarte nei ble spurt om å begrunne svaret i en tekstboks. Det kommer frem i figur 24 at 85 respondenter er tilfreds med det foretrukne korreksjonssignalet. Alternativet er valgt av alle segmenter og det kan derfor tenkes at brukeropplevelsen av systemene er god nok. Av de 12 som svarte nei, har alle lagt igjen begrunnelse. Svarene som går igjen er at tilgjengeligheten oppleves som dårlig enkelte steder på grunn av topografi langs norskekysten, uten at noen konkrete eksempler er nevnt.

4.2 Posisjonsdata

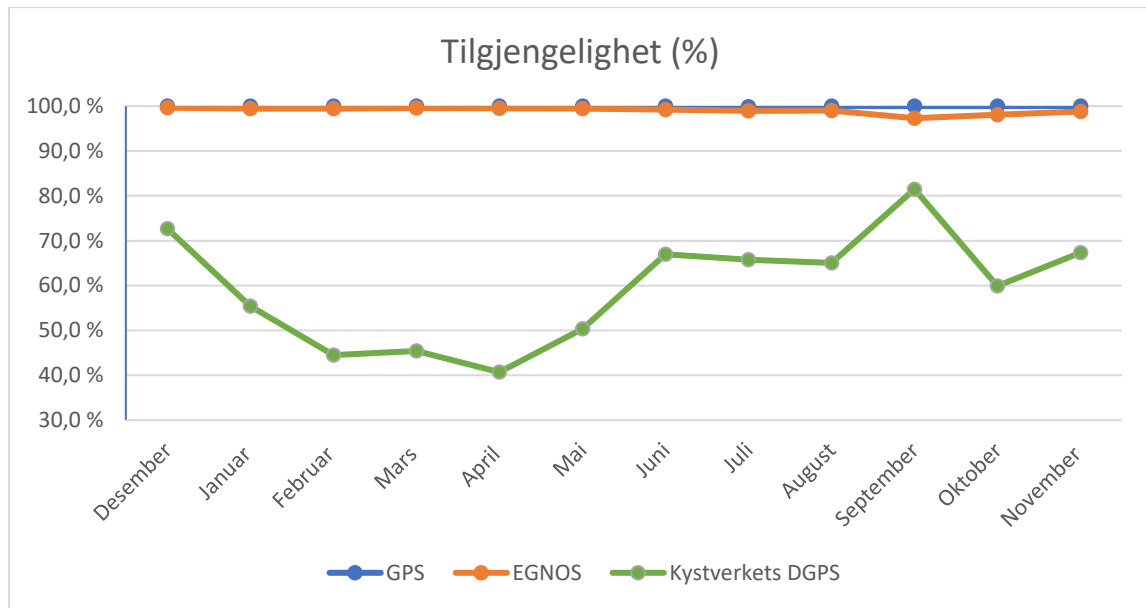
4.2.1 Analyse av posisjonsdata

I denne oppgaven er det relevant å fremstille statistikk for å dokumentere ytelsen på de radiobaserte navigasjonssystemene. Etter konsultasjon med Kystverket har gruppen kommet frem til at det er gunstig å gjøre beregninger som kan sammenlignes med IMO-kravene. Kystverkets DGPS-tjeneste ønsker å tilfredsstille. De generelle kravene IMO stiller til globale radiobaserte navigasjonssystemer i kystnære farvann, er også de kravene SBAS-tjenesten nødvendigvis må tilfredsstille for å i fremtiden bli et IMO-godkjent differensielt korreksjonssystem. Kystverket har også forespurt en oversikt over tilgjengelighet på deres DGPS-tjeneste langs norskekysten.

Kravene IMO har satt forholdet seg til kvalitetsbegrepene nøyaktighet, tilgjengelighet, kontinuitet og integritet. For oppgavens skyld må gruppen anta at integriteten på systemene er intakt når systemet sender korreksjon, det vil si at integriteten er intakt ved all oppetid. Gruppen har valgt å ikke ta for seg kravene om kontinuitet da tilgjengelig data ikke er tilstrekkelig. Analysen av posisjonsdata består i all hovedsak av beregninger av nøyaktighet og tilgjengelighet samt visuell grafisk fremstilling av tjenestene i QGIS 3.4.4.

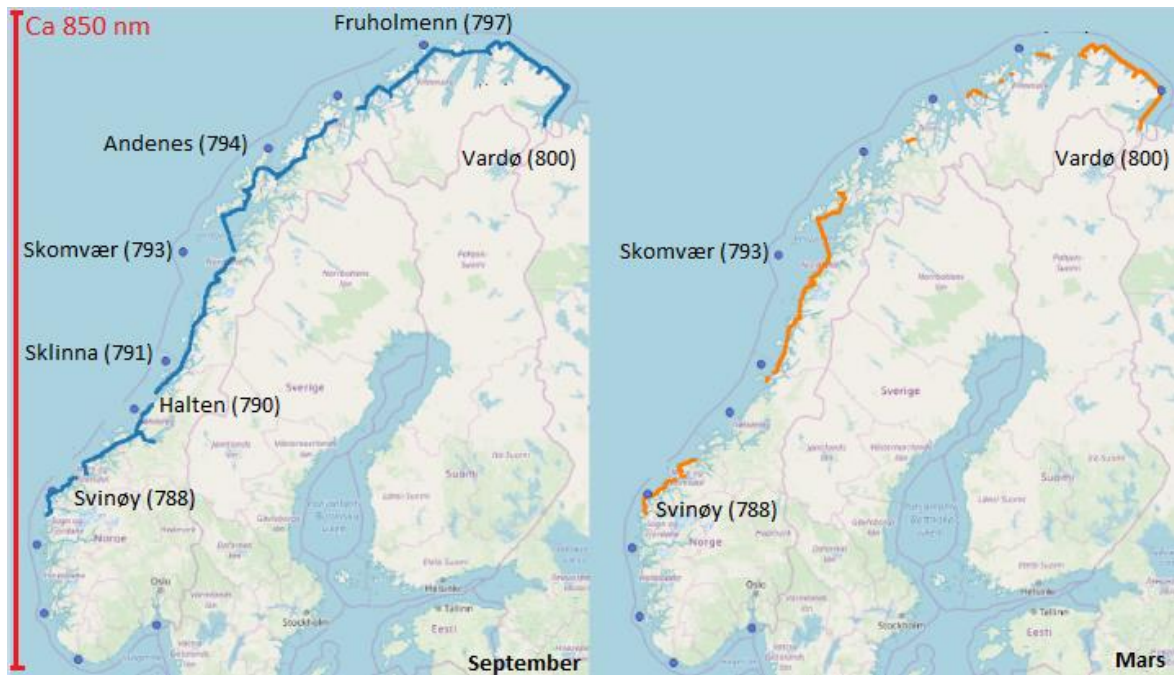
Nøyaktighet er beregnet ved å finne gjennomsnittet av systemenes horisontale feilverdi i forhold til PPP-målingen. Nøyaktigheten kan fremstilles ved gjennomsnittlig feilverdi, når signalet kan defineres som tilgjengelig etter krav fra IMO eller ved å beregne gjennomsnittlig feilverdi på alle mottatte posisjonsfix. Tilgjengelighet er gjennom IMO definert som all tid systemet klarer å levere en posisjon med nøyaktighet bedre enn 10 meter og samtidig oppfyller kravene til integritet.

I figur 25 ser man tilgjengeligheten for de ulike systemene i perioden desember 2017 til november 2018. GPS er den tjenesten som er mest stabil og har best tilgjengelighet. EGNOS er også ganske stabil og har høy tilgjengelighet. Kystverkets DGPS-tjeneste skiller seg ut ved å ha en relativt lav og svært varierende tilgjengelighet gjennom året.



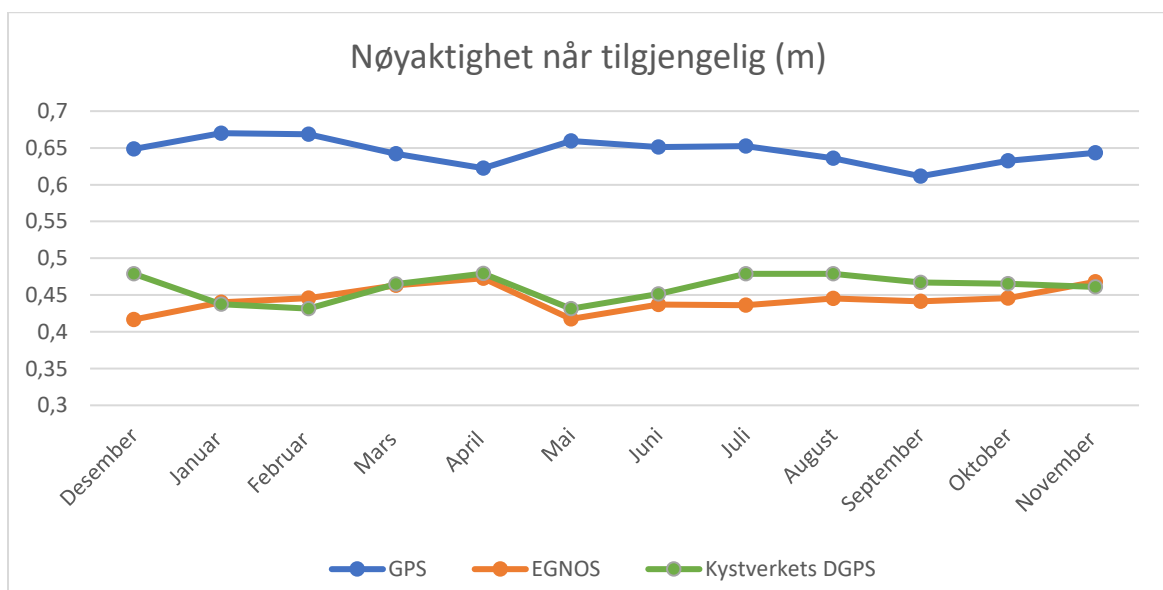
Figur 25. Tilgjengelighet på GPS, EGNOS og Kystverkets DGPS, når horisontal feilverdi er mindre enn 10 meter. Målt i % av tiden. Totalt 329 dager i perioden 1. desember 2017 til 30. november 2018.

I posisjonsdataene er det inkludert informasjon om hvilken DGPS-stasjon som leverer tjeneste. Dersom man deler inn dataene i måneder ser man en klar sammenheng mellom antall stasjoner som leverer korreksjon og hvor stor del av tiden tjenesten er tilgjengelig. Eksempelvis mottok den mobile enheten om bord på M/S Polarlys i mars korreksjoner fra kun tre DGPS-stasjoner, til sammenligning leverte sju stasjoner korreksjon i september (figur 26). Målingene viser at tilgjengeligheten på Kystverkets DGPS-tjeneste er lavest i april hvor tjenesten kun er tilgjengelig cirka 40,7% av tiden, og høyest i september med 81,5 % tilgjengelighet. Ingen av månedene leverer en tilgjengelighet som tilfredsstillende alle kravene IMO stiller til radionavigasjonssystem. I eksempelet hvor registrerte stasjoner og tilgjengelighet sammenlignes brukes mars i stedet for april da det ikke ble registrert data i deler av april for å utbedre antenneplassering.



Figur 26. Bildet viser posisjoner korrigert med Kystverkets DGPS-tjeneste hentet fra to turer med M/S Polarlys mellom Bergen og Kirkenes. DGPS-stasjonene som leverer korreksjonene for de to seilasene er merket med navn og nummer. T.v. vises data fra september og t.h. fra mars. Størrelsesskala angitt i rødt.

Fra figur 27 kan man lese ut gjennomsnittlig nøyaktighet for hver måned når systemene er tilgjengelig. Alle systemene har relativt liten variasjon da nøyaktighet ikke varierer med mer enn 0,1 m. Kystverkets DGPS og EGNOS gir relativt lik nøyaktighet på norskekysten. Man ser også at nøyaktigheten forbedres ved å benytte korreksjonstjenester sammenlignet med GPS alene.



Figur 27. Nøyaktighet presentert månedlig når signalet defineres som tilgjengelig i perioden 1. desember 2017 til 30. november 2018. Horizontal feilverdi er gitt på y-aksen og tidsrom for registrert feilverdi på x-aksen.

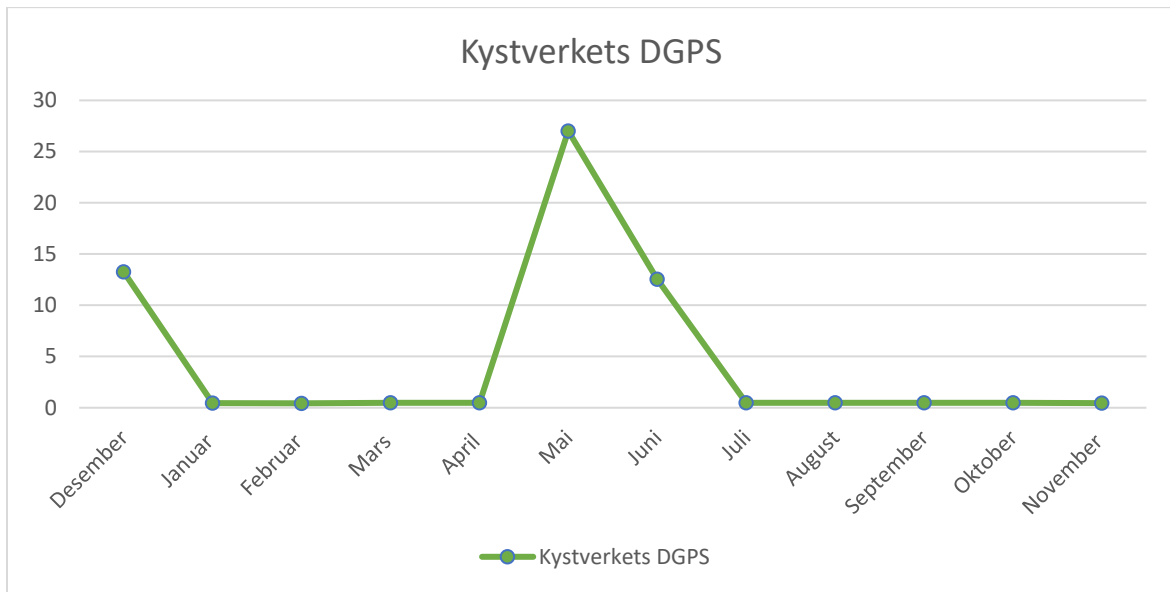
Over hele perioden kan man beskrive nøyaktigheten når korreksjonssignalene er tilgjengelig, som gjort i tabell 9. Tallene i tabellen er gjennomsnittsverdier for tilgjengelighet og nøyaktighet i perioden posisjonsdataene dekker og kommer fra beregninger for hver måned, tidligere vist i figur 25 og 27.

Tabell 9 gir uttrykk for nøyaktigheten tjenestene har levert og hvor stor andel av tiden denne nøyaktigheten har vært opprettholdt, men bare hvis man brukte samme seilingsrute som M/S Polarlys. Videre kan man sammenligne verdiene opp mot kravene fra IMO og vurdere ytelsen på tjenestene i denne perioden. Tabell 9 viser at GPS opprettholder kravene som er satt til systemet med god margin, med tilgjengelighet på 99,988 % > 99,80% og nøyaktighet på 0,65 m < 10 m. Tabell 9 viser også at ved hjelp av korreksjonstjenestene kan man forvente noe bedre nøyaktighet. Det er verdt å merke seg hvor langt unna Kystverkets DGPS-tjeneste er fra å opprettholde kravene til tilgjengelighet mens EGNOS-tjenesten har god tilgjengelighet selv på høye bredder.

Tabell 9. Gjennomsnittlig tilgjengelighet og nøyaktighet over hele måleperioden beregnet i Excel med posisjonsdataene fra M/S Polarlys lagt til grunn.

Gjennomsnitt	Tilgjengelighet	Nøyaktighet (meter)
GPS	99,98827%	0,6452
SBAS	99,01534%	0,4442
IALA	60,85663%	0,4612

Siden Kystverkets DGPS kun kan vise til en tilgjengelighet på 60,86%, er det å vise til nøyaktighet når tilgjengelig ikke tilstrekkelig for å riktig fremstille ytelsen til tjenesten. For å vise hvilken nøyaktighet man kan forvente seg av tjenesten, viser figur 28 hvordan gjennomsnittlige verdier av alle registrerte posisjonsfix korrigeret med Kystverkets DGPS-tjenesten fordeler seg over en periode på 329 dager i 2017/2018. Gjennomsnittlig nøyaktighet over perioden er 3,98 meter, men man ser ifra tabellen at gjennomsnittet blir løftet av perioder i månedene desember 2017, mai 2018 og juni 2018. De resterende måneder antyder at nøyaktigheten på tjenesten er nærmere 0,5 meter, da dataene ble bearbeidet, ble det lagt merke til at de høye verdiene ofte kommer i forbindelse med et utfall.



Figur 28. Gjennomsnittlig nøyaktighet på Kystverkets DGPS beregnet fra alle registrerte posisjonsfix.

For å avgjøre om tjenestene har begrensinger i spesielle områder, kan man se på seilasutklipp fra QGIS. Denne typen analyse er også nyttig for å kunne vurdere ytelsen på tjenestene. Eksempelvis har man i denne oppgaven brukt QGIS for å bestemme om det er enkelte områder hvor utfall gjentar seg ved flere eller alle turene, og danner en tydelig trend. Bildene fra QGIS gir ingen informasjon om hvilken nøyaktighet tjenestene har, kun om signalet er godt nok til å oppfattes av mottakeren. Likevel viser gjennomsnittlig tilgjengelighet og nøyaktighet at tjenestene oppnår relativt god nøyaktighet når signalet oppfattes.

4.2.2 Dekning mellom Bergen og Ålesund

For området mellom Bergen og Måløy viser all innsamlet data et likt bilde over tjenestenes dekning gjennom hele perioden. Gjennom perioden er det aldri registrert signal fra Kystverkets DGPS-tjeneste lenger sør enn Florø. Etter konsultasjon med Kystverket viser det seg imidlertid at DGPS-stasjonen på Utvær har vært ute av drift hele perioden. Figur 29 viser også at EGNOS-tjenesten har god dekning i samme område mellom Bergen og Måløy. Et typisk problem med å bruke EGNOS som korreksjonssystem, er faren for satellittskygge på høye bredder. Spesielt dersom man går kurser i øst/vest retning i områder med høye fjell er det stor fare for å havne i satellittskygge. Eksempelvis ser vi Skatestraumen som er utringet i figur 29, hvordan et typisk EGNOS-utfall vil se ut i QGIS.



Figur 29: Oversikt over dekning for korreksjonstjenestene EGNOS og Kystverkets DGPS mellom Bergen og Stad i perioden 16-20 mai 2018. Blå strek t.v. merker posisjoner korrigert med Kystverkets DGPS-tjeneste og oransje strek t.h. merker posisjoner korrigert med EGNOS. Den grå prikken merker den avskrudde DGPS-stasjonen på Utvær. Størrelsesskala er angitt i rødt.

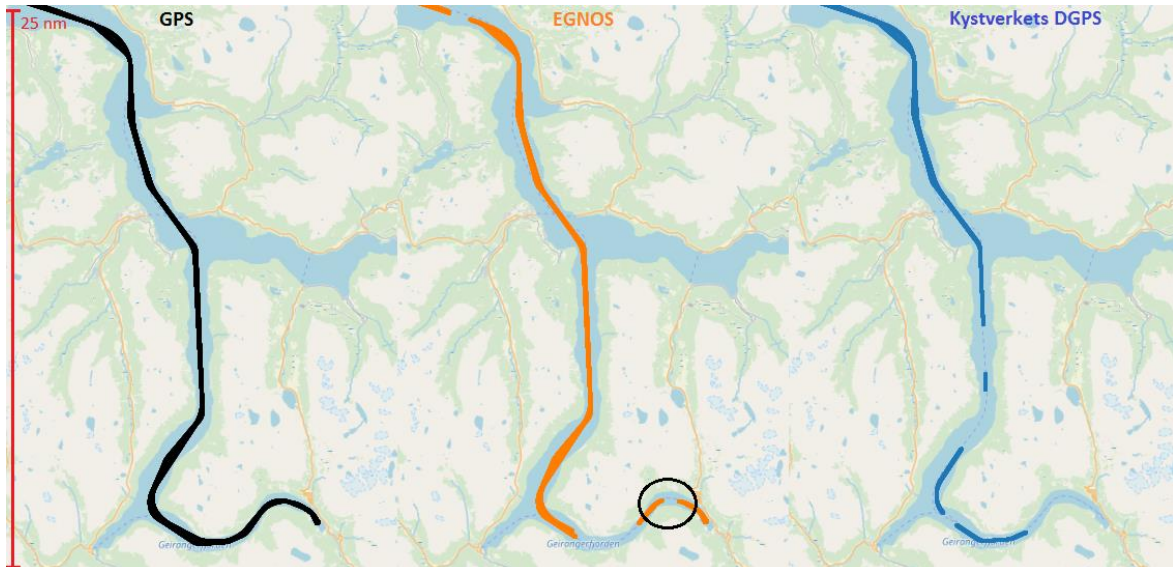
Skatestraumen er et trangt sund omgitt av høye fjell i sør, figur 30 viser hvordan signaldekning for GPS, Kystverkets DGPS og EGNOS varierer gjennom sundet. Man kan se ut ifra figuren at EGNOS har størst problem med å opprettholde signal. EGNOS-utfall i Skatestrømmen er registrert ved hver eneste tur over ett år. I dette tilfellet er det en kombinasjon av høye fjell og ugunstig kurs som fører til utfall av EGNOS-korreksjonen. EGNOS er avhengig av å motta signal fra GEO-satellitter over ekvator. Da Norge ligger såpass langt nord vil disse satellittene alltid være i sør for vår posisjon og ha lav elevasjon. Har man hindringer sør for skipet vil man derfor kunne oppleve å miste det korrigerte posisjonssignalet fra EGNOS. Verdt å bemerke at GPS og Kystverkets DGPS i det samme sundet klarer å opprettholde tilgjengelig signal. Mottakeren om bord mottar her DGPS-korreksjon fra stasjonen på Svinøy 27,5 nm nordenfor.



Figur 30: EGNOS (Oransje), Kystverkets DGPS (Blå) og GPS (sort) posisjonstrack gjennom Skatestraumen sør for Måløy, 16-20. mai 2018. Størrelsesskala angitt i rødt.

Norge er allment kjent for den spesielle topografien langs kysten, trange fjorder omgitt av høye fjell. Figurene 31, 32 og tabell 10 er utviklet basert på informasjon innhentet fra en seilas 23. juni 2018 fra Ålesund til Geiranger med M/S Polarlys. Ved hjelp av figurene kan man kommentere ytelsen på radionavigasjonssystemene i områder med ekstrem topografi (figur 32). Fra posisjonstracket i figur 31 kan man vise til overraskende god dekning inn til Geiranger. Skipet er gjennom hele seilasen inn fjorden omgitt av høye fjell, noe som øker faren for satellittskygge og demping av radiosignal. Man kan se at EGNOS opplever utfall ved øst/vest kurser som kan forklares ved at skipet havner i satellittskygge, for kurser som er nord/sør-gående er skygge for satellittene i sør ikke et like stort problem. Resultatet kan derfor forklares ved at kursene store deler av seilasen er sørgående/nordgående. Innerst i Geirangerfjorden er det 56 nm til stasjonen mottakeren mottar DGPS-korreksjon fra (Svinøy) og fra figur 31 ser man at Kystverkets DGPS-tjeneste ikke dekker den siste delen av seilasen.

Figur 31 gir ikke uttrykk for hvilken nøyaktighet tjenestene leverer under seilasen mellom Ålesund og Geiranger 23.06.2018. Tilgjengelighet og nøyaktighet er derfor beregnet for seilasen og fremstilt i tabell 10. Gjennomsnittlig nøyaktighet er dårligere for alle tjenestene i forhold til resten av måleperioden (figur 27). Det kan tenkes at dårligere nøyaktighet skyldes høyere HDOP verdi, på grunn av topografien som hindrer signal fra lave satellitter. Likevel er gjennomsnittlig horisontal feil mindre enn en meter og det er heller ikke registrert noen horisontale feil over 10 meter så lenge tjenestene avgir fix.



Figur 31: Utklipp fra QGIS av posisjonstrack for t.v. GPS (sort), i midten EGNOS (oransje) og t.h. Kystverkets DGPS (Blå) i Geirangerfjorden, 23. juni 2018. Man ser tydelig i figuren at EGNOS ikke dekker øst/vestlig kurs i Geirangerfjorden (Svart sirkel), se figur 32 for topografiforståelse av utringet område. Størrelsesskala angitt i rødt.



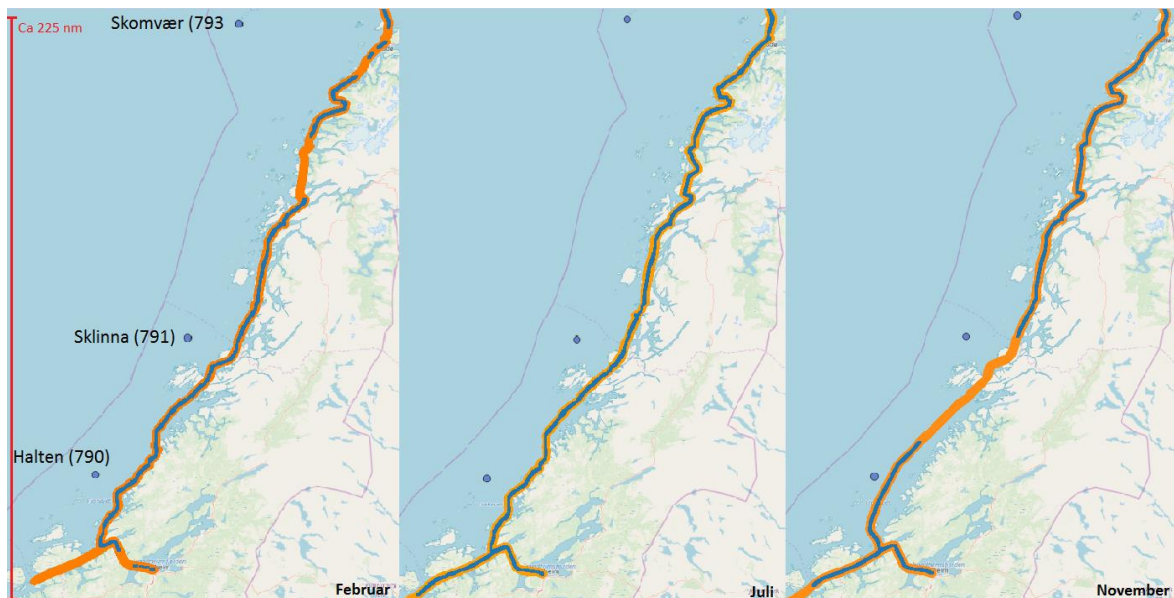
Figur 32: Foto av Geirangerfjordens krevende topografi i forhold til satellittnavigasjon (VG Partnerstudio, 2015).

Tabell 10. Tallene er beregnet med posisjonsdata fra M/S Polarlys 23.06.2018, klokken 07:30-16:20. Posisjonsdataene dekker seilas mellom Ålesund og Geiranger.

Gjennomsnitt (23.06.2018)	Tilgjengelighet	Nøyaktighet (meter)
GPS	100 %	0,98
EGNOS	91,99 %	0,826
Kystverkets DGPS	69,88 %	0,698

4.2.3 Dekning i Midt/Nord-Norge

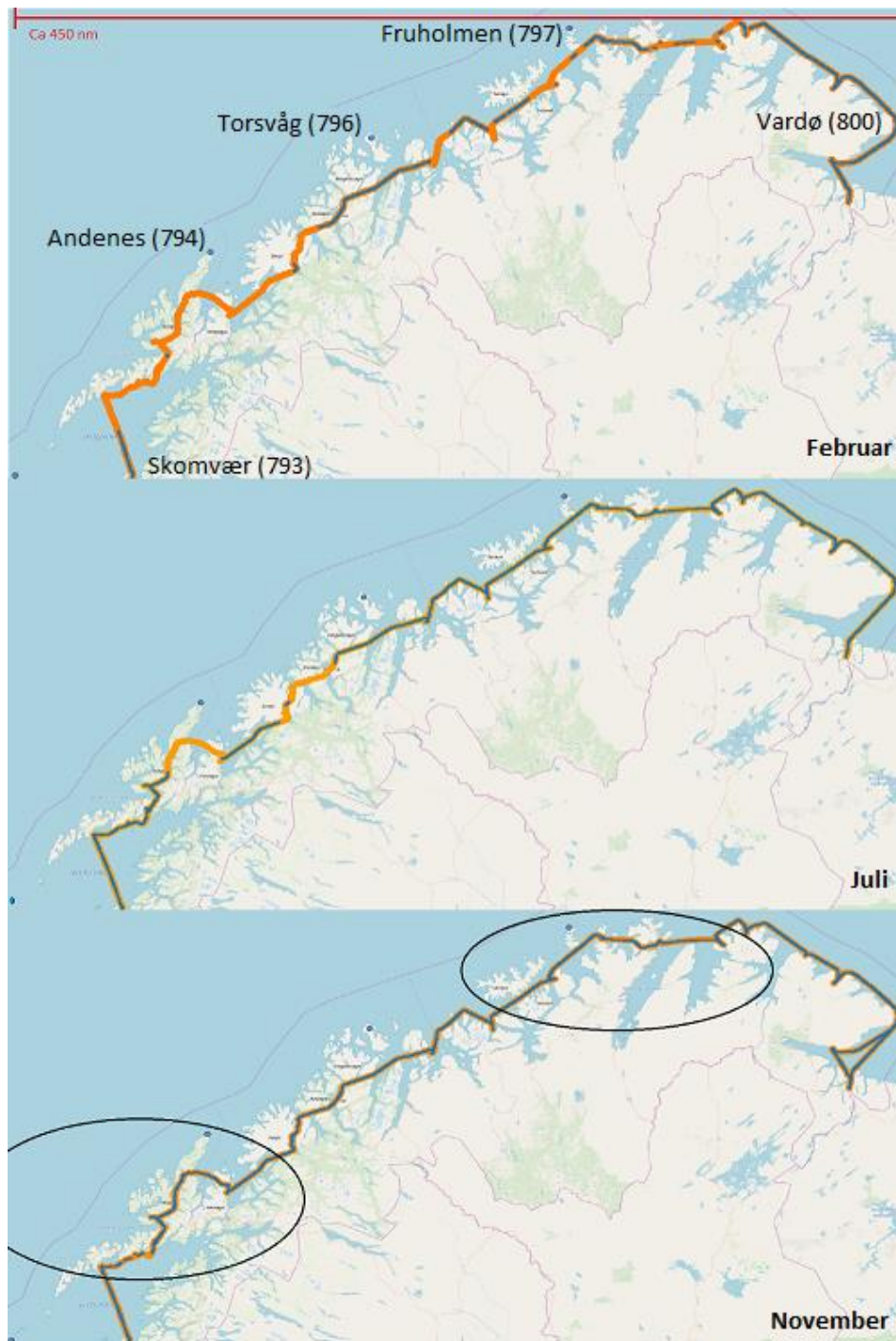
For området mellom Trondheim og Bodø viser de innsamlede dataene at strekningen er jevnt over godt dekt av DGPS-stasjonene Halten, Sklinna og Skomvær. Figur 33 viser ingen repeterende mønster i dekingen, men forskjellige områder med ustabil signal. Fra dataene kan man se at; i februar er det ingen fix som er korrigert med korreksjoner fra Skomvær, det samme gjelder Sklinna i november. Strekningen mellom Trondheim og Bodø er preget av lange havstreck som gir stasjonene økt rekkevidde og derfor kan man se at man vil få periodisk innslag av deking i problemområdene. EGNOS viser god deking hele måleperioden.



Figur 33. Oversikt over deking for Kystverkets DGPS (blå) og EGNOS (oransje) fra tilfeldig utvalgte turer i periodene; t.v. februar, i midten juli og t.h. november 2018.

I figur 34 kan man se hvordan dekingen i Nord-Norge på Kystverkets DGPS varierer gjennom hele måleperioden, med utdrag fra enkelte turer i månedene; februar, juli og november. Når man sjekker hvilke stasjoner det er mottatt korreksjoner fra, og

sammenligner med dekning vist i figur 34 er resultatet mulig å forklare. I november mottar M/S Polarlys korreksjoner fra samtlige stasjoner langs strekket. Til forskjell mottas det ikke korreksjoner fra Andenes i juli og fra Andenes og Fruholmen i februar. De resterende stasjonene leverer heller ikke korreksjonssignal til M/S Polarlys i deler av både juli og februar. EGNOS viser derimot en jevnt over god dekning, med unntak av korte utfall på grunn av skyggeproblematikk (Figur 35).

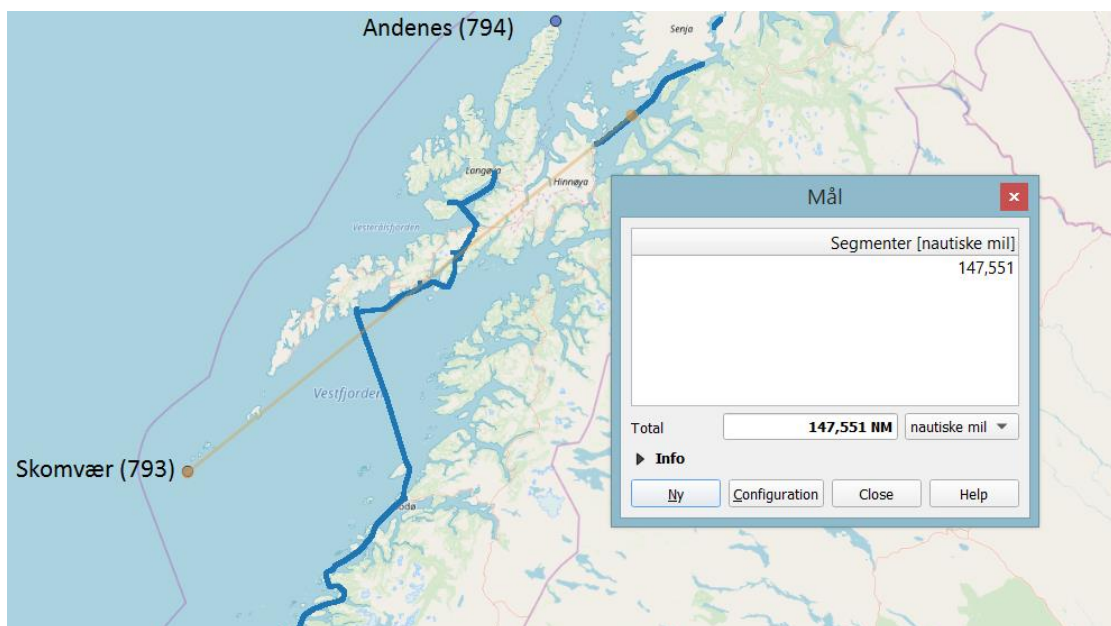


Figur 34. Oversikt over dekning for Kystverkets DGPS (blå) og EGNOS (oransje) tilfeldig utvalgte turer i periodene; fra topp februar, juli og november 2018. Områder hvor dårlig signal har vært et problem er avmerket med sirkler.



Figur 35. Områder i Nord-Norge som opplever gjentakende skyggeproblematikk. EGNOS (oransje), Kystverkets DGPS (blå). T.v. Kågsundet, t.h. Straumfjorden.

I februar fremstår Kystverkets DGPS som svært dårlig, spesielt i områdene Vesterålen/Lofoten og lengst nord i Finnmark. Det kan tenkes at den manglende dekningen kommer av at referansestasjonene Andenes og Fruholmen muligens var nede i perioden. Vesterålen/Lofoten er preget av høye fjell som er lite forenelig med god utbredelse av radiobølger, likevel er det mulig å oppnå god rekkevidde under særs gode forhold. I figur 36 ser man et utdrag fra juli 2018 hvor mottaker innehar korreksjoner fra Skomvær stasjon som ligger 147 nautiske mil unna. Tross den lange distansen har ingen av fixene i området et større horisontalt avvik enn 10-20 cm. Det kan tenkes at den gode rekkevidden kan komme av gunstige tidspunkt på døgnet, i dette tilfellet nattestid, eventuelt særs gode metrologiske forhold.



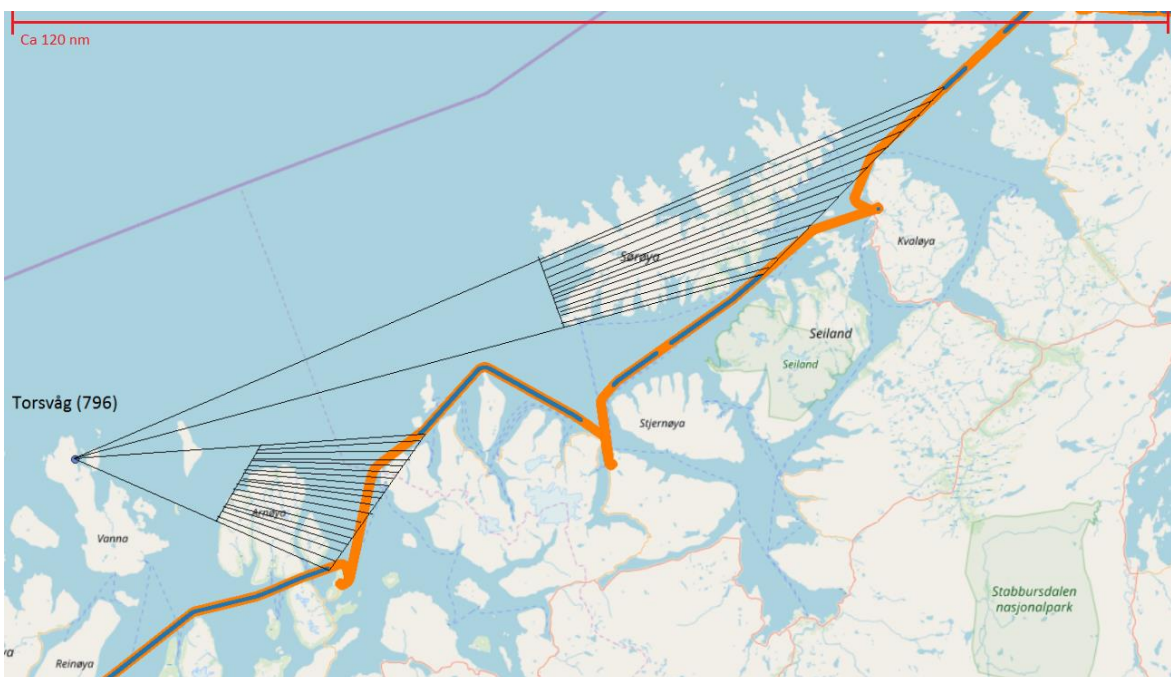
Figur 36. Oversikt over dekning for Kystverkets DGPS (blå) 21.07.2018 - 22.07.2018. Korreksjonene i bildet kommer fra DGPS-stasjonen på Skomvær. Oransje strek indikerer målt avstand (nm) angitt i målevindu.

I figur 37 ser man lengst nord i Finnmark sporadiske innslag av korleksjoner fra Kystverkets DGPS i området rundt Fruholmen. Fra dataene ser man at alle fix i området enten er dekket av Torsvåg i vest eller Vardø i øst. Men disse stasjonene klarer ikke sammen å dekke området tilstrekkelig, i figuren er også rekkevidden for hver av stasjonene illustrert.



Figur 37. Observert rekkevidde for DGPS-stasjon Torsvåg (grønn) og Vardø (gul), februar 2018.

For å forstå hvorfor det oppstår periodisk dekning er det i Figur 38 illustrert hvordan signalutbredelsen påvirkes av topografien og man synliggjør problematikken rundt overflater med dårlig konduktivitet/ledningsevne. Man ser at signalet går uhindret over sjø helt til det treffer land. Her er det tydelig at signalet dempes såpass mye at det opphører, eller blir for svakt før det når mottaker som befinner seg bak land.



Figur 38. Illustrasjon over hvordan topografi og ledningsevne påvirker signalutbredelsen på Kystverkets DGPS (blå). EGNOS (oransje) viser god dekning. Skraverte områder illustrerer områder hvor topografi hindrer signal.

Ved slutten av måleperioden november 2018 ser man at dekningsfor Midt- og Nord-Norge er god, med unntak av nedetid på DGPS-stasjonen Sklinna. Etter systematisk gjennomgang av turene til M/S Polarlys ser man en klar sammenheng mellom perioder med dårlig tilgjengelighet og stasjoner ute av drift.

Kapittel 5 Diskusjon

5.1 Ytelse og dekningsgrad

I moderne skipsfart har teknologisk utvikling gjort at bruk av globale radionavigasjonssystemer har gått fra å være et hjelpemiddel, til å bli et nødvendig krav for å sikre skip, last og passasjerer under seilasken. En av problemstillingene i denne oppgaven er om korreksjonstjenestene tilfredsstillende behøver og kravene IMO og brukere av tjenestene stiller. Det virker naturlig å starte diskusjonen med spørsmålet; er GPS alene godt nok for å sikre navigasjon i krevende områder?

Fra resultatene i analysedelen har man vist at GPS alene klarer å tilfredsstillende kravene IMO stiller til nøyaktighet og tilgjengelighet. Med høy tilgjengelighet og god nøyaktighet kan man anta at GPS i de fleste tilfeller også tilfredsstillende kravene til kontinuitet. Selv om beregninger fremstiller GPS som stabilt og nøyaktig, er systemet sårbart for uventede eksterne feilkilder. For at brukeren skal kunne stole på satellittnavigasjonssystemet må brukeren vite når feil oppstår. Når IMO i kystnære farvann krever et integritetsvarsel 10 sekunder etter en feil har oppstått, kan man argumentere for at GPS systemet ikke er godt nok alene. Feilene integritetsvarselet skal inkludere er; systemfeil, tap av tilgjengelighet og kontinuitet. For å møte kravene kan man si at korreksjonssystem som leverer integritetsvarsel er en nødvendighet.

Neste spørsmål er hvordan de differensielle korreksjonstjenestene oppleves i praksis. I og med at tjenestene på lik linje med GPS er gratis og det er disse som brukes i navigasjonssammenheng, sammenlignes Kystverkets DGPS og EGNOS. Kystverkets DGPS-tjeneste er korreksjonstjenesten organisasjonen IALA anbefaler medlemslandene å bygge ut. EGNOS er en korreksjonstjeneste som er utviklet spesifikt for flytrafikken og godkjent av ESA, det er ingen standardiserte IMO-krav utrettet spesifikt for tjenesten. Det er naturlig å tenke at tjenesten som er anbefalt for maritimt bruk er den som presterer best langs kysten, men i praksis er det flere faktorer som spiller inn. Analysen viser at nøyaktigheten på tjenestene er relativt lik når tjenestene er tilgjengelig, derimot er det stor forskjell på hvor ofte tjenestene er tilgjengelig. Når posisjonsmålinger registreres hvert sekund over 329 dager er EGNOS tilgjengelig 99,02% av tiden, mens Kystverkets DGPS-tjeneste bare er tilgjengelig 60,86% av tiden. Ikke bare er tilgjengeligheten på DGPS-

korreksjonen lav, den er også ustabil og varierende. Posisjonsdata fra M/S Polarlys viser at tilgjengeligheten varierer mellom 40% og 80% over ett år. Dette tyder på at EGNOS er en langt bedre tjeneste og å foretrekke fremfor Kystverkets DGPS.

Kystverket skriver på sine nettsider at «*DGPS-tjenesten skal være tilgjengelig 95 prosent over en 2-års periode*» (Kystverket, 2016). Selv om disse målingene er gamle er dette en indikasjon på at systemet i perioden 1. desember 2017 til 30. november 2018 ikke har fungert optimalt. Tilgjengeligheten på korreksjonssignalet vil være avhengig av at stasjonene og selve GPS-tjenesten er operative. Fra posisjonsdataene er det mulig å lese ut hvilke DGPS-stasjoner som er brukt for å hente korreksjon. Studerer man dataene kan man se at flere av DGPS-stasjonene, delvis eller hele perioden, ikke har levert korreksjon. DGPS-stasjonen på Utvær har eksempelvis vært ute hele måleperioden og M/S Polarlys har ikke mottatt noen korreksjoner sør for Florø. I september opplever Kystverkets DGPS den beste måneden og syv stasjoner leverer korreksjon. Med tanke på tilgjengeligheten DGPS-tjeneste leverer i september sier dette noe om at tjenesten kan oppnå mye høyere tilgjengelighet dersom tiltak for å holde alle stasjonene operative blir iverksatt. Det betyr også at tjenesten tidligere kan ha levert en bedre ytelse enn hva som kommer frem i denne rapporten.

Dersom man kun tar for seg brukeropplevelse svarer de fleste av respondentene at IALA DGPS er den foretrukne korreksjonstjenesten. Nesten alle respondentene som har valgt tjenesten er også fornøyd med tilgjengeligheten (tabell 11). Om dette er fordi IALA DGPS er mer integrert blant norske navigatører enn de nyere SBAS-systemene eller om korreksjonstjenester ikke nødvendigvis er så viktig for den gjennomsnittlige navigatør kan man riktignok ikke å konkludere med. Likevel viser tabellen at blant de navigatørene som foretrekker WAAS/EGNOS fremfor IALA DGPS er det ingen som ikke er fornøgd med tilgjengeligheten på tjenesten. Ser man på det store bildet, hvor man også får med de navigatørene som ikke nødvendigvis har noen foretrukken tjeneste, kan man si at 12% av navigatørene ikke er fornøyd med tilgjengeligheten på signalet.

Tabell 11. Krysstabell mellom om spørsmål 8, foretrukket differensiell korreksjonstjeneste og spørsmål 10, tilfredsstillende tilgjengelighet.

		Om du er bevisst på hvilken differensiell korreksjonstjeneste du bruker, hvilken foretrekker du?				Total
		IALA DGPS	WAAS/ EGNOS	Er ikke bevisst	Annet	
Er tilgjengeligheten på det foretrukne korreksjonssignalet tilfredsstillende?	Hoppet over	0	0	3	0	3
	Ja	26	10	44	5	85
	Nei	5	0	6	1	12
Total		31	10	53	6	100

EGNOS viser seg i denne rapporten som et veldig stabilt system i forhold til nøyaktighet og tilgjengelighet, likevel er det enkelte problem som går igjen. Et problem som kan oppstå er at flere av mottakerne som benytter EGNOS er forhåndsinnstilt med maskevinkel som eliminerer satellitter med lav elevasjon til fordel for høye satellitter. Ved bruk av EGNOS-tjenesten på sjøen uten å endre parameterne kan dette føre til dårligere HDOP-verdi. Når man analyserer posisjonsdataene ser man likevel at gjennomsnittlig nøyaktighet for EGNOS er like god som Kystverkets DGPS. Ved utfall av EGNOS-korreksjonssignal på M/S Polarlys, skjedde det konsekvent i en posisjon hvor topografien skygget for horisonten i sør. Denne observasjonen gir uttrykk for hvor sårbart systemet er for obstruksjoner og hindringer spesielt på høye breddegrader når GEO-satellitter brukes til distribusjon.

5.2 Bevissthet og behov

Fra målingene KS gjorde med M/S Polarlys vet man at GPS var tilgjengelig 99,988% av tiden med en nøyaktighet bedre enn 0,8 meter. Av respondenter som svarte på spørsmål 3 i spørreundersøkelsen forventer 73 av 97 en nøyaktighet dårligere enn en meter. Ser man bort ifra det åpenbare behovet for integritet, kan man stille spørsmål ved om det faktisk er et behov for differensielle tjenester. Likevel viser dataene fremlagt i denne rapporten at Kystverkets DGPS og EGNOS leverer bedre nøyaktighet enn GPS, såfremt tjenestene er tilgjengelig. Tjenestene leverer altså marginalt en bedre ytelse enn GPS kan gjøre alene, men om centimeter nøyaktighet er en nødvendighet for å trygge navigasjonen kan diskuteres. Man kan blant annet vise til resultat fra undersøkelsen hvor navigatørene som opplever utfall og ikke er fornøyd med korreksjonstjenesten de bruker, kommenterer at de opplever problem med korreksjonstjeneste i enkelte områder på kysten. En av navigatørene er ikke fornøyd

med korreksjonstjenesten og kommenterer at korreksjonstjeneste er overflødig med tanke på nøyaktigheten GPS leverer.

Majoriteten av respondentene fra undersøkelsen er i enighet fornøyd med tilgjengeligheten korreksjonstjenestene leverer. Om resultatet betyr at tjenestene dekker behovet navigatører stiller eller om det betyr at det er lav bevissthet omkring tjenestene blant respondentene, kan diskuteres. Basert på resultat fra flere spørsmål besvart av 100 navigatører i spørreundersøkelsen, kan det argumenteres for at GPS og korreksjonstjenester ikke er et tema de fleste navigatører på norskekysten tenker mye over. De fleste av respondentene registrerer utfall av korreksjonssignalet sjeldent eller aldri, og nesten halvparten av respondentene svarer at de ikke har faste rutiner for sjekk av ytelse på mottaker. En stor del av respondentene har heller ikke kontroll på hvilke korreksjonstjenester mottakeren deres kan motta. Likevel sier 61 av respondentene at et tap av GNSS-signal (GPS) vil ha en form for konsekvens, enten at de stanser seilansen eller at de navigerer ved hjelp av andre metoder. At tap av GNSS-signalet fører til en form for konsekvens kan bety at navigatørene ikke føler seg like sikre når de navigerer uten GNSS. Tidligere i diskusjonsdelen ble viktigheten av å ha muligheten til å kontrollere GPS-ytelsen diskutert. Dersom navigatører ikke aktivt kontrollerer hvilke signaler mottakeren innehar og har stor tiltro til GPS-systemet, kan man argumentere for at det øker behovet for tjenester som kan levere integritetsalarm til brukeren og automatisk rette GPS-posisjonene for systemfeil.

5.3 Tiltak for å opprettholde/utbedre ytelsen for tjenesten

Når vi diskuterer tiltak i denne delen er det resultater fra måling og undersøkelser tilknyttet oppgaven som ligger til grunn for drøftelsen. Tidligere undersøkelser og publikasjoner av forskning på samme område blir i mindre grad vektlagt. Man kan med høy sannsynlighet si at navigatørene som seilte på norskekysten i perioden posisjonsmålingene ble gjort og bruker GPS samt en korreksjonstjeneste, har hatt mulighet til å oppnå posisjonsnøyaktighet og tilgjengelighet som tilfredsstillende IMO-kravene. Men siden korreksjonstjenestene alene ikke klarer å opprettholde tilgjengeligheten er ikke kravene IMO stiller til integritet i kystnære farvann tilfredsstillende. For å kunne møte kravene må man stille seg spørsmålene; hvor svikter systemene? Og hvordan kan man utbedre tjenestenes svakheter?

Det ble tidligere i diskusjonen «ref. 5.1.1 Ytelse og dekningsgrad» indikert at det er mulighet for at Kystverkets DGPS over perioden har opplevd problem med referansestasjonene, og at dette kan ha hatt en direkte innvirkning på tilgjengeligheten. Fra samtale med Kystverket har man fått opplyst at flere av stasjonene bruker dieselaggregat som hovedstrømkilde. Et tap av strømkilden vil i denne sammenheng bety at ikke bare slutter stasjonen å sende korreksjon, man vil heller ikke lenger motta noen nærfeltsmonitorering av stasjonen. De eneste tegnene på at stasjonen er ute at drift, vil være at ingen mottar korreksjon i området og monitorering vil indikere unormalt lite feilmeldinger. Fra disse opplysningene kan man påstå at å bruke dieselaggregat uten tilstrekkelig monitorering av referansestasjonen og uten back-up, ikke er egnet som strømkilde for et system som har som mål å være operativt 99,8% av tiden.

Det er fortsatt viktig at man ikke utelukker andre feilkilder som årsak for den dårlige ytelsen. At mottakeren opererer optimalt og riktig antenneplassering er viktig for å unngå uønskede støykilder. Selv om man aldri kan utelukke denne feilkilden fullstendig, vet vi i denne sammenheng at alt utstyr og antenneoppsettet på M/S Polarlys er installert og kontrollert av KS. Det er likevel mulig at andre støykilder om bord har skapt forstyrrelser for IALA DGPS-signalene. For at radionavigasjonssystemer skal fungere optimalt er det viktig å begrense feil som oppstår i brukerssegmentet. Tiltakene handler i stor grad om riktig oppkobling av mottaker; det er viktig at man bruker kvalifiserte fagfolk, har en antenneplassering hvor man ikke opplever uønsket støy og gode rutiner for gjennomføring av vedlikehold etter produsentenes anbefaling.

Distribusjonsmetodene EGNOS og Kystverkets DGPS benytter er helt forskjellige. Utfordringene korreksjonstjenestene opplever vil derfor også være forskjellig. Siden EGNOS benytter satellitter for distribusjon, opplever ikke systemet avstandsbegrensninger slik som Kystverkets DGPS. Basert på oppgavens måledata ser man imidlertid at satellittskygge er et reelt problem for EGNOS-tjenesten. På grunn av tap av signal når M/S Polarlys er i områder med høye fjell, ser man at selv om tilgjengelighet på tjenesten er svært høy klarer ikke EGNOS å opprettholde IMO-kravene for tilgjengelighet langs deler av kysten. Problemene EGNOS opplever er likevel ikke sammenlignbare med problemene Kystverkets DGPS opplever i samme periode.

Ønsker man bedre EGNOS-ytelse på norskekysten eller generelt på høyere bredder kan en løsning være å distribuere korreksjonssignalet fra kommunikasjonssatellitter som går i baner

på høyere breddegrader, og samtidig bygge ut flere bakkestasjoner (RIMS) for å øke størrelsen på dekningsområdet. For Kystverkets DGPS-tjeneste er tiltakene man foreslår spesielt utformet med tanke på å øke robusthet på tjenesten. Man kan argumentere for at en ny hovedstrømkilde er nødvendig for å sikre at gjeldende stasjoner holdes operative. Den optimale løsningen for å opprettholde en sikker drift kan være å koble stasjonene til strømmettet. Har man i tillegg en nødstrømkilde for bruk ved strømbrydd, har man redusert risikoen betydelig for at stasjonen kommer ut av drift. For stasjoner hvor det ikke er mulig å endre strømkilde, kan man vurdere å flytte stasjonen til et sted hvor en sikker strømkilde er tilgjengelig. Et annet poeng med å flytte stasjoner er at de kan bli lettere tilgjengelig for vedlikehold og kontroll. Man kan også se potensialet i en bedre form for monitorering av referansestasjonene da nærfeltsmonitorering er avhengig av den samme strømkilden som stasjonen benytter. Ved fjernfeltsmonitorering vil man kunne oppfatte et fullstendig tap av tjenesten, denne typen monitorering har KS opplyst om at de har begynte å ta i bruk ved enkelte stasjoner i 2019.

Kapittel 6 Konklusjon

Utgangspunktet for oppgaven var å undersøke og avdekke ytelse og dekningsgrad for de differensielle korreksjonstjenestene EGNOS og Kystverkets DGPS. I tidligere kapitler legges det frem resultater fra analyse av posisjonsdata innhentet av Kongsberg Seatex, og en spørreundersøkelse for å kartlegge bevissthet og behov. Posisjonsdataene er samlet inn over en tidsperiode på ett år, og alle konklusjoner som legges frem i denne delen vil derfor kun være gjeldende for dette tidsrommet (1. des. 2017 – 30. nov. 2018). Ytelsen og tilgjengelighet som er beregnet vil kun være gjeldende langs norskekysten mellom Bergen og Kirkenes.

- Navigatørene som besvarte spørreundersøkelsen er ikke særlig bevisst omkring bruken av differensielle korreksjonssystem. De fleste er ikke bevisst på hvilke tjenester de bruker, få har faste rutiner for sjekk av ytelse på mottaker og utfall oppleves sjeldent. Likevel har over halvparten av navigatørene svart at et GNSS utfall vil ha en konsekvens. Alene har ikke GPS tilstrekkelig integritet, selv om tjenesten presterer godt. Bevisstheten blant navigatørene er lav og korreksjonssystem er i dag en nødvendighet.
- Når man sammenligner korreksjonssystemene EGNOS og Kystverkets DGPS i måleperioden, kan man utelukkende si at EGNOS har levert en mye bedre ytelse med tanke på tilgjengelighet (dekningsgrad) enn hva DGPS-tjenesten har levert. Opp mot kravene IMO stiller til globale radionavigasjonssystem (GNSS) tilfredsstillende begge korreksjonssystemene kravet til nøyaktighet. IMOs krav til tilgjengelighet på 99,97% klarer ingen av korreksjonssystemene å tilfredsstillende. EGNOS-tjenesten leverer en gjennomsnittlig nøyaktighet bedre enn 0,5 meter og er tilgjengelig 99,02% av tiden. Til sammenligning leverte Kystverkets DGPS-tjeneste tilsvarende nøyaktighet, men en tilgjengelighet på bare 60,86%.
- Utbedringer på Kystverkets DGPS gjelder først og fremst infrastruktur og utbedring av stasjonene som leverer korreksjon, da permanente strømkilder og fjernfeltsmonitorering. Korreksjonstjenesten er ikke tilstrekkelig monitorert, bedre kontroll og vedlikehold av DGPS-stasjonene er et viktig tiltak for å optimalisere tjenesten. Den største svakheten ved EGNOS-tjenesten er skyggeproblematikk som følge av distribusjonsmetode. Ved bruk av GEO-satellitter til distribusjon på høye

breddegrader vil man alltid ha denne svakheten i trange fjorder og i områder med ekstrem topografi. Tiltakene som er foreslått gjelder derfor å begrense feil i brukersegmentet; oppkobling av mottaker, antenner og vedlikehold av utstyr.

Referanser

BeiDou Navigation Satellite System, 2018. *The BDS-3 Preliminary System Is Completed to Provide Global Services*. [Internett]

Tilgjengelig på: http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/201812/t20181227_16837.html
[Funnet 26 02 2019].

European Global Navigation Satellite System Agency, 2019. *EDAS DGNSS Coverage Map*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/resources-tools/edas-dgnss-coverage-map
[Funnet 24 Mai 2019].

European Global Navigation Satellite System Agency, 2019. *Signal in space*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/signal_in_space
[Funnet 15 04 2019].

European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2016. *What is SBAS?*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss/what-sbas>
[Funnet 26 02 2019].

European Space Agency, 2013. *What is EGNOS?*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/EGNOS/What_is_EGNOS
[Funnet 26 02 2019].

Federal Aviation Administration, 2016. *Satellite Navigation - WAAS - Benefits*. [Internett]

Tilgjengelig på:

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/benefits/
[Funnet 26 02 2019].

Federal Aviation Administration, 2019. *Satellite Navigation - Wide Area Augmentation System (WAAS)*. [Internett]

Tilgjengelig på:

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/
[Funnet 10 04 2019].

Federal Aviation Administration, 2019. *WAAS RPN 0.1 Coverage Contours*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://www.nstb.tc.faa.gov/24Hr_WaasRNP1.htm
[Funnet 02 04 2019].

Forskrift om navigasjonshjelpemidler for skip mv, §15, 2014. *Forskrift om navigasjon og navigasjonshjelpemidler for skip og flyttbare innretninger*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-09-05-1157>
[Funnet 09 04 2019].

Forssell, B., 2018. *GPS*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/GPS>
[Funnet 26 Februar 2019].

Fugro, 2019. *Satellite Positioning*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.fugro.com/our-services/marine-asset-integrity/satellite-positioning#tabbed1>

[Funnet 01 03 2019].

IALA, 2015. *IALA Guideline 1112 - Performance and Monitoring of DGNSS Services in Frewuency Band 283,5 - 325 kHz*, St Germain en Laye: IALA.

IMO, 2000. *MSC 112(73) - Adoption of the revised performance standards for shipborne global positioning system (GPS) receiver equipment*, London: IMO.

IMO, 2011. *Reselution A.1046(27) - Worldwide radionavigation system*, London: IMO.

Itromsø, 2016. *MS "Polarlys" rammet av omgangssyke - skipet må desinfiseres*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.itromso.no/nyheter/2016/12/08/MS-Polarlys-rammet-av-omgangssyke-skipet-m%C3%A5-desinfiseres-13904767.ece>

[Funnet 27 05 2019].

Kjerstad, N., 2015. *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer*. 5. red. Bergen:

Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.

Kystverket, 2016. *Radionavigasjon (DGPS)*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.kystverket.no/Maritime-tjenester/Meldings--og-informasjonstjenester/Radionavigasjon-DGPS/>

[Funnet 22 02 2019].

Larsen, A. K., 2017. *En enklere metode*. Bergen: Fagbokforlaet.

Mit Polytecgnic, 2018. *Knowledge bank*. [Internett]

Tilgjengelig på: http://mitpolytechnic.ac.in/downloads/09_knowledge-bank/01_entc/SEM-4/ACO/chapter5-transmission-line.pdf

[Funnet 29 04 2019].

Norsk Romsenter, 2016. *EGNOS*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.romsenter.no/no/Fagomraader/Satellitnavigasjon/EGNOS2>

[Funnet 26 02 2019].

Olafsson, K., 2009. *Ionosfære*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/ionosf%C3%A6re>

[Funnet 28 Februar 2019].

Olafsson, K., 2018. *Atmosfæren*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/atmosf%C3%A6ren>

[Funnet 28 Februar 2019].

Ording, S., 2018. *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/navigasjon>

[Funnet 19 Februar 2019].

U.S. Government, 2017. *GPS Accuracy*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>

[Funnet 09 04 2019].

VG Partnerstudio, 2015. *En norsk Tsunami*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://sponset.vg.no/2015/nordisk-film-bolgen/>

[Funnet 05 04 2019].

Figurliste

Figur 1. Gausskurve som illustrerer størrelse på standardavvik (σ), middelverdi (y) og sannsynlighet (Kjerstad, 2015).....	4
Figur 2. Illustrasjon av feilellipse med to stedlinjer og posisjonssannsynlighet σ_X og σ_Y (Kjerstad, 2015). ..	5
Figur 3. Banekonfigurasjon til GPS. 31 satellitter (2019) går i MEO-baner med en inklinasjon er 55 grader (Kjerstad, 2015). ..	7
Figur 4. Illustrasjon av forskjell på user range error (rød) og user accuracy (blå), URE beskriver ikke tjenestens nøyaktighet, men feil i brukerens avstandsmåling (U.S. Government, 2017).....	8
Figur 5. Til venstre er det illustrert stedlinjegeometri med god HDOP-verdi, man ser tre relativt lave satellitter med en innbyrdesvinkel på 120° . Til høyre ser man eksempel på dårlig HDOP som følge av både lave og høye satellitter med liten spredning (Kjerstad, 2015). ..	10
Figur 6. Illustrasjonen viser forsinkelsene som påvirker signalutbredelsen til satellittsignalet når det går gjennom ionosfæren og troposfæren (Kjerstad, 2015).....	11
Figur 7. Oversikt over Kystverkets 12 DGPS-stasjoner presentert med navn og ID-nummer.....	15
Figur 8. Illustrasjon av virkemåte Kystverkets DGPS-tjeneste, feil 1 må være lik feil 2 (rød pil) (Kjerstad, 2015).....	17
Figur 9. Figuren viser en radiobølge som følger jordkrumningen (Mit Polytecnic, 2018). ..	17
Figur 10. Oversikt over dekningsområdet (rød strek) til EGNOS og hvor RIMS (blå sirkel) er plassert (European Global Navigation Satellite System Agency, 2019). ..	20
Figur 11. Dekningsområde på WAAS over Amerika. Skalaen til høyre indikerer prosentvis dekning til WAAS der tallet 1 betyr 100%. Breddegrad på y-aksen og lengdegrad på x-aksen (Federal Aviation Administration, 2019).....	22
Figur 12. Posisjonsdata benyttet i oppgaven ble innsamlet fra hurtigruteskipet M/S Polarlys (Itromsø, 2016). ..	29
Figur 13. Utstyr montert på M/S Polarlys. Fra øverst til venstre: GNSS antenne i mast, MGC og MRU i instrumentrom. Under: Brukergrensesnitt til GNSS-mottaker Seapath 380. Bilder er tatt under studietur 12.03.2019.	30
Figur 14. Utklipp av tekstfil med posisjonsdata levert av Kongsberg Seatex. Det går frem av tekstfilen at det er L1 standalone, men dette er feil, GPS-målingene er flerfrekvent.	31
Figur 15. Utdrag fra GPS-posisjoner korrigert med Kystverket DGPS-tjeneste (sort strek). Fra venstre Hadsselfjorden og Raftsundet i perioden september 2018. Utringet område er eksempel på et typisk utfall. Rød farge indikerer avstander.....	32
Figur 16. Fordeling av hvor respondentene har sin arbeidsplass. I diagrammet ser man segmenter langs X-akse og antall svar langs Y-akse. Totalt 100 svar på spørsmål 1.	34
Figur 17. Konsekvens ved utfall GPS. I diagrammet finner man konsekvens langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 2.	35
Figur 18. Forventet nøyaktighet GPS-mottaker. I diagrammet finner man forventet nøyaktighet langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 97 svar på spørsmål 3. ..	36
Figur 19. Primær GPS-mottaker. I diagrammet finner man primær mottaker langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segment er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 4.	37
Figur 20. Intervaller for sjekk av differensielle korreksjoner på mottaker. I diagrammet finner man kategorier som representerer typiske kontrollintervaller langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 6.	40
Figur 21. Rutiner for sjekk av mottakerens ytelse med tilhørende segment presentert i farger. I diagrammet finner man kontrollrutinene langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen, det var totalt 100 svar på spørsmål 7.	41

Figur 22. Foretrukket differensielle korreksjonstjeneste. I diagrammet finner man hvilke tjenester som foretrekkes langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 8.....	42
Figur 23. Opplevelse av utfall på det foretrukne differensielle korreksjonssigna. I diagrammet finner man kategorier som representerer hvor ofte utfall oppleves langs X-aksen og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 100 svar på spørsmål 9.	43
Figur 24. Tilgjengelighet på foretrukket korreksjon signal. X-aksen i diagrammet representerer om respondentene er tilfreds med det foretrukne korreksjonssignalet og antall svar langs Y-aksen. De ulike segmentene er presentert med farger. Totalt 97 svar på spørsmål 10.	44
Figur 25. Tilgjengelighet på GPS, EGNOS og Kystverkets DGPS, når horisontal feilverdi er mindre enn 10 meter. Målt i % av tiden. Totalt 329 dager i perioden 1. desember 2017 til 30. november 2018.	46
Figur 26. Bildet viser posisjoner korrigert med Kystverkets DGPS-tjeneste hentet fra to turer med M/S Polarlys mellom Bergen og Kirkenes. DGPS-stasjonene som leverer korreksjonene for de to seilasene er merket med navn og nummer. T.v. vises data fra september og t.h. fra mars. Størrelsesskala angitt i rødt.	47
Figur 27. Nøyaktighet presentert månedlig når signalet defineres som tilgjengelig i perioden 1. desember 2017 til 30. november 2018. Horisontal feilverdi er gitt på y-aksen og tidsrom for registrert feilverdi på x-aksen.	47
Figur 28. Gjennomsnittlig nøyaktighet på Kystverkets DGPS beregnet fra alle registrerte posisjonsfix.	49
Figur 29: Oversikt over dekning for korreksjonstjenestene EGNOS og Kystverkets DGPS mellom Bergen og Stad i perioden 16-20 mai 2018. Blå strek t.v. merker posisjoner korrigert med Kystverkets DGPS-tjeneste og oransje strek t.h. merker posisjoner korrigert med EGNOS. Den grå prikken merker den avskrudde DGPS-stasjonen på Utvær. Størrelsesskala er angitt i rødt.	50
Figur 30: EGNOS (Oransje), Kystverkets DGPS (Blå) og GPS (sort) posisjonstrack gjennom Skatestraumen sør for Måløy, 16-20. mai 2018. Størrelsesskala angitt i rødt.	51
Figur 31: Utklipp fra QGIS av posisjonstrack for t.v. GPS (sort), i midten EGNOS (oransje) og t.h. Kystverkets DGPS (Blå) i Geirangerfjorden, 23. juni 2018. Man ser tydelig i figuren at EGNOS ikke dekker øst/vestlig kurs i Geirangerfjorden (Svart sirkel), se figur 32 for topografiforståelse av utringet område. Størrelsesskala angitt i rødt.	52
Figur 32: Foto av Geirangerfjordens krevende topografi i forhold til satellittnavigasjon (VG Partnerstudio, 2015).	52
Figur 33. Oversikt over dekning for Kystverkets DGPS (blå) og EGNOS (oransje) fra tilfeldig utvalgte turer i periodene; t.v. februar, i midten juli og t.h. november 2018.	53
Figur 34. Oversikt over dekning for Kystverkets DGPS (blå) og EGNOS (oransje) tilfeldig utvalgte turer i periodene; fra topp februar, juli og november 2018. Områder hvor dårlig signal har vært et problem er avmerket med sirkler.	54
Figur 35. Områder i Nord-Norge som opplever gjentakende skyggeproblematikk. EGNOS (oransje), Kystverkets DGPS (blå). T.v. Kågsundet, t.h. Straumfjorden.	55
Figur 36. Oversikt over dekning for Kystverkets DGPS (blå) 21.07.2018 - 22.07.2018. Korreksjonene i bildet kommer fra fra DGPS-stasjonen på Skomvær. Oransje strek indikerer målt avstand (nm) angitt i målevindu.	55
Figur 37. Observert rekkevidde for DGPS-stasjon Torsvåg (grønn) og Vardø (gul), februar 2018.	56
Figur 38. Illustrasjon over hvordan topografi og ledningsevne påvirker signalutbredelsen på Kystverkets DGPS (blå). EGNOS (oransje) viser god dekning. Skraverte områder illustrerer områder hvor topografi hindrer signal.	56

Tabeller

Tabell 1. Krav for radionavigasjonssystem etter IMO A.1046(27) (IALA, 2015).....	14
Tabell 2. Oversikt over RTCM-meldinger Kystverkets DGPS-stasjoner sender ut (Kjerstad, 2015).....	16
Tabell 3. Oversikt over distribusjonssatellitter som EGNOS benytter (European Global Navigation Satellite System Agency, 2019).....	21
Tabell 4. Oversikt over distribusjonssatellitter WAAS benytter (Federal Aviation Administration, 2019).	22
Tabell 5. Hvilke differensielle tjenester respondentenes mottaker kan mota, sortert ut ifra segment. Totalt 100 svar.....	38
Tabell 6. Oversikt over hvilke differensielle korreksjonstjenester de ulike mottakere har mulighet for å motta, med nødvendig tilleggsutstyr. Informasjon hentet fra leverandørens hjemmeside	39
Tabell 7. Krysstabell mellom hvilke differensielle korreksjoner respondenter mener de kan motta og hvilke primær GNSS-mottaker de har.	39
Tabell 8. Krysstabell mellom foretrukken differensiell korreksjonstjeneste, og hvor ofte utfall oppleves.....	44
Tabell 9. Gjennomsnittlig tilgjengelighet og nøyaktighet over hele måleperioden beregnet i Excel med posisjonsdataene fra M/S Polarlys lagt til grunn.....	48
Tabell 10. Tallene er beregnet med posisjonsdata fra M/S Polarlys 23.06.2018, klokken 07:30-16:20. Posisjonsdataene dekker seilas mellom Ålesund og Geiranger.	53
Tabell 11. Krysstabell mellom om spørsmål 8, foretrukket differensiell korreksjonstjeneste og spørsmål 10, tilfredsstillende tilgjengelighet.....	60

