



Høgskulen  
på Vestlandet

## BACHELOROPPGAVE

Monitorering av ustabile fjellmasser i Flåm

Monitoring unstable mountain masses in Flåm

**Therese Skarstein Bjerkeland, Carl Fredrik Engholm Holen,  
Ivan Laurente Syltøy og Svein Egil Thy**

Landmåling og eiendomsdesign

Institutt for byggfag

25.05.2020

Antall ord: 11 692

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende arbeid på studiet Landmåling og eiendomsdesign ved Høyskolen på Vestlandet, Bergen. Oppgaven er skrevet våren 2020 og tilsvarer 20 studiepoeng. Underveis i arbeidet har vi møtt på en rekke utfordringer, noe som har gjort prosjektet både lærerikt, krevende og interessant.

Vi ønsker å rette en takk til våre veiledere Stig Frode Samnøy og Trond Nordvik for all hjelp og støtte underveis i arbeidet.

Bergen, mai 2020

*Therese S. Bjerkeland*

Therese S. Bjerkeland

*Carl Fredrik E. Holen*

Carl Fredrik E. Holen

*I. Syltøy*

Ivan L. Syltøy

*Svein Egil Thy*

Svein Egil Thy

## Sammendrag

I Norge er det store forskjeller i topografien med dype fjorder, bratte daler og høye fjell. Den varierte topografien bidrar til ustabile områder som øker faren for skred. NVE overvåker de mest skredutsatte områdene, dette gjør det mulig å varsle i tide ved en eventuell hendelse. Et av disse områdene er fjellblokk 4A, som ligger i Aurland kommune. Det er ønskelig å undersøke om en annen form for monitorering kan gi ytterligere informasjon om bevegelsesmønsteret til blokken.

Studien tar for seg muligheten til å detektere bevegelse fra lang avstand hvor man måler til én reflektor, men som har begrenset mulighet til å detektere bevegelse i flere dimensjoner. I tillegg opprettes det et lokalt system oppe ved blokken hvor man kan etablere frioppstillinger som måler til flere reflektorer på blokk 4A. Ved å måle til mer enn én reflektor kan man detektere bevegelse i flere dimensjoner.

De to ulike innfallsvinklene vi har valgt har begge sine unike problemstillinger som diskuteres og gjøres rede for i oppgaven. Det har blitt gjort simuleringer av hvor nøyaktig en vil kunne måle med det måleopplegget og utstyret som vi legger frem. Simuleringene er basert på reelle avstander i studieområdet samt oppgitte standardavvik for utstyret vi anbefaler.

Ved Stampa foregår det et kontinuerlig arbeid av NVE. De monitorerer området ved hjelp av InSAR og andre verktøy, som for eksempel ekstensometer. Opplegget vi foreslår vil ikke kreve strøm, er relativt kostnadseffektivt å utføre, og det tillater en å måle fra lange distanser når det ikke er hensiktsmessig å ta seg opp til blokk 4A.

Ifølge tidligere målinger gjort av NVE er en bevegelse på 20 mm i året ikke urealistisk. Gjennom våre simuleringer har vi konkludert med en nøyaktighet i x-, y-, og z-retning på henholdsvis 3,58 mm, 2,05 mm og 2,54 mm på lang avstand. På korte hold vil man ha en nøyaktighet på 0,5 mm. Med andre ord vil nøyaktigheten en oppnår i det foreslåtte måleopplegget være innenfor de parametere som kreves for å detektere bevegelse på blokk 4A.

## Abstract

Throughout Norway there are many deep valleys and fjords, surrounded by steep terrain and mountains which creates a varied and dynamic topography. This varied topography creates areas of instability which in turn increases the risk of landslides. Certain areas are more at risk than others. This clamors for continuous surveillance to better allow for a timely detection and subsequent early warning should there be an imminent threat. The area of study, block 4A, is already under surveillance by NVE. However, it would be preferable to establish additional ways of detecting 4A's pattern of motion.

The following document discusses the possibility of detecting the motion of 4A from extended distances. This method would be by measuring with a total station to a single reflector, which limits one's capability of perceiving movement in different directions. In addition to long distance measurements we will discuss the benefits of establishing a local coordinate system in the surrounding area of 4A's plateau. In so doing we can place and measure to more than one reflector thus enabling the detection of pitch, roll and yaw.

Both methods of approach have their own set of complications that need to be resolved. Also, we have included a set of simulations for our suggested method of measurement that picture the accuracy of our chosen equipment. All simulations are based on realistic, worldlike distances from our area of study. These are further modified by the manufacturer's given standard deviations linked to our equipment.

NVE continuously monitors the area of Stampa using tools such as satellite surveillance and an extensometer. Our suggested modus operandi will not require electricity, making it cost-efficient. It also allows for long distance measurements when making your way up to 4A is not an option. According to previous results presented by NVE, a variation of 20 mm a year is plausible. Through our simulations we have concluded that it is possible to achieve detection of motion as fine as respectively 3.58 mm, 2.05 mm and 2.54 mm in x-, y- and z-direction for longer distances. For shorter distances, the detection range is as small as 0.5 mm. In conclusion, we determine that to detect the motion of 4A, our suggested way of surveying is justifiable.

## Innholdsfortegnelse

1.0 Introduksjon til overvåking .....	6
1.1 Relatert arbeid .....	8
1.2 Problemstilling .....	8
1.3 Området Stampa .....	9
2.0 Utstyr og teori .....	12
2.1 Ekstensometer .....	12
2.2 InSAR .....	13
2.3 Totalstasjon og prisme .....	14
2.4 Statisk GNSS .....	15
2.5 Feilkilder og nøyaktighet.....	18
2.6 Koordinatsystem og projeksjoner .....	19
2.6.1 UTM-projeksjonen .....	19
2.6.2 NTM-projeksjonen .....	19
2.6.3 Lokalt koordinatsystem.....	20
2.6.4 Transformasjoner .....	20
2.7 EDM og atmosfæriske forhold. ....	21
2.7.1 Atmosfæriske korrigeringer .....	24
2.8 Feilellipse .....	26
3.0 Metode.....	26
3.1 Sikker jobb analyse (SJA).....	26
3.2 Befaring.....	27
3.3 Kontrollering av utstyr .....	27
3.4 Anbefalinger til måleopplegg.....	28
3.4.1 Statistiske innmålinger av kontrollpunkt .....	30
3.4.2 Totalstasjonsmålinger for å beregne bevegelse på blokken.....	32
3.5 Opprettelse av plan på blokken og normalvektor .....	35
3.6 Simulering- feilellipse.....	36
3.7 Korreksjoner for atmosfæriske forhold .....	37
4.0 Resultat .....	38
4.1 Korreksjon for UTM i studieområdet .....	38
4.2 Korreksjon for atmosfæriske forhold.....	38
4.3 Forventet nøyaktighet på målingene.....	39
5.0 Diskusjon .....	42
5.1 Valg av utstyr .....	42

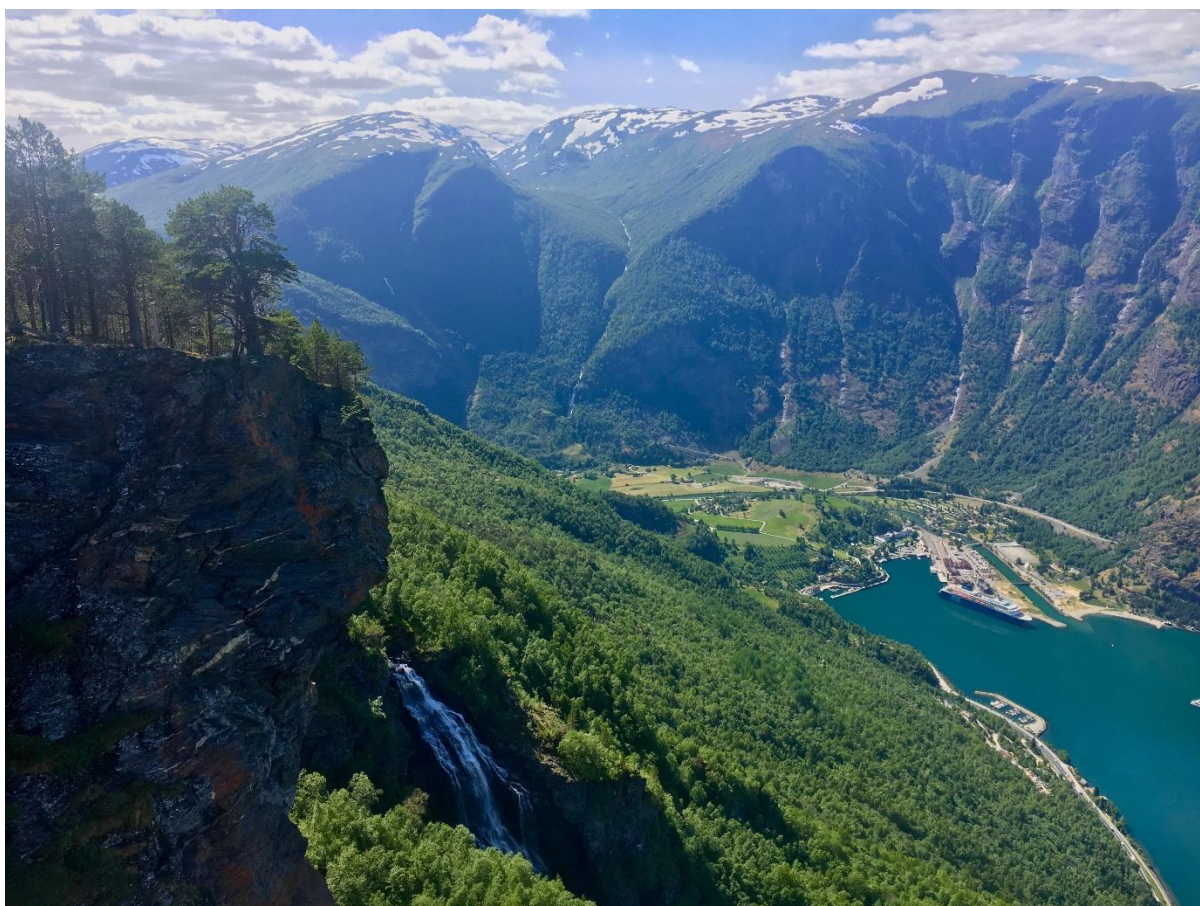
5.2 Atmosfæriske forhold .....	43
5.3 Korreksjon for UTM.....	44
5. 4 Nøyaktighet på måleopplegget.....	45
6.0 Konklusjon.....	46
7.0 Fremtiden.....	46
8.0 Vedlegg .....	46
9.0 Referanser .....	47
10. Tabell- og figurliste: .....	49

## 1.0 Introduksjon til overvåking

Norge er, med sine høye og bratte fjell, et rasutsatt land. Konsekvensene ved store skred kan være katastrofale, både humanitært og økonomisk. Historien har tidligere vist oss at store fjellskred forekommer to til tre ganger hvert århundre. De største hendelsene registrert i nyere tid ligger til Tafjord i 1934 og Loen i 1905 og 1936. Til sammen omkom 175 mennesker ved disse tre hendelsene, og hele bygder ble skylt vekk av flodbølgene forårsaket av fjellmassene som raste ut (Giæver, 2014).

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er ansvarlig for overvåkningen av de rasutsatte områdene i landet. De skal bistå kommunene med risikovurdering, planlegging og gjennomføringen av de nødvendige sikringstiltakene. I dag blir syv forskjellige fjellpartier kontinuerlig overvåket og elleve periodisk overvåket (NVE, 2020a). Norges geologiske undersøkelse (NGU) er på oppdrag fra NVE ansvarlig for kartleggingen og klassifiseringen av de skredutsatte områdene. De ustabile fjellpartiene blir hovedsakelig delt inn i tre forskjellige risikonivåer – lav, moderat og høy. Partiene som er kategorisert som høyrisiko er de som blir kontinuerlig overvåket (NVE, 2020c).

Et av de syv fjellpartiene som kontinuerlig overvåkes er Mannen utenfor tettstedet Åndalsnes i Møre og Romsdal. Mannen har fått mye medieoppmerksomhet de siste årene og er et godt eksempel på hvorfor overvåking av de rasutsatte fjellområdene er svært viktig. Selv om konsekvensene ikke ble store da deler av Veslemannen raste ut i 2019, er det å kunne varsle tidlig ved et eventuelle større ras uvurderlig for beboere som kan berøres av slike hendelser. For å ha muligheten til å varsle i tide blir det derfor montert instrumenter som skal overvåke og registrere bevegelsene i de ustabile fjellpartiene. Slik overvåking kan i tillegg bidra til at forskere får mer forståelse for skredutløsning og hvilke mønster de eventuelt kan ha (Sæbø, 2019).



*Figur 1: Bildet tatt fra Joasetbergi med Flåm og Aurlandsfjorden i bakgrunnen.*

Siden 2005 har NGU gjort periodiske målinger med Global Positioning System (GPS) av et fjellparti med navnet Stampa i Aurland kommune (T. B. Lene Kristensen, 2018, s. 7). Funn av rasavsetninger under området og store deformasjonslinjer er klare tegn på at fjellet er i bevegelse. Det har blitt gjennomført flere simuleringer og risikovurderinger i et forsøk på å kartlegge konsekvensene ved et eventuelt ras. Selv om det ikke er realistisk at hele fjellpartiet skal kollapse er det identifisert flere delscenarier. Om en del av Stampa, med navnet Joasetbergi, raser ut med et samlet estimert volum på rundt 400 000 m<sup>3</sup> er flodbølgen beregnet til å være opp mot fire meter høy i deler av Aurlandsfjorden (Figur 1) (NVE, 2020b). Om en slik hendelse i tillegg inntreffer under turistsesongen, når det kan oppholde seg flere titusener av mennesker i Aurland kommune, kan utfallet være desto mer katastrofalt (Sæbø, 2019).



## 1.1 Relatert arbeid

I 2016 skrev en gruppe studenter om mulighetene ved å detektere bevegelse i fjell med reflektorløse avstandsmålinger. Fordelene med å måle uten reflektorer er at man kan gjennomføre målinger på ufremkommelige områder i tillegg til at det er kostnadseffektivt. Gruppen konkluderte med at instrumentet kunne detektere avstandsendringer opptil 335 meter, hvor minste observerbare avstandsending var 4 mm (Caroline Otterstad, 2016).

I 2017 ble det skrevet en annen bacheloroppgave hvor de analysert hvor mye de atmosfæriske forholdene påvirker avstandsmålinger. De konkluderte med at temperatur er den faktoren som har størst sannsynlighet for å påvirke avstandsmålingene. De begrunnet dette med at temperaturen i et område kan endre seg relativt raskt, spesielt i områder med vekslende solforhold (Marianne Fosse & Kolstad, 2017).

Det har også blitt skrevet en masteroppgave av Berit Soldal i 2017 hvor oppgaven var å kartlegge grunnvannet som strømmer under overflaten ved Høgsete og Joasete, som begge er en del av Stampa. Ved å kombinere grunnvannsundersøkelser med overflatekartlegging kan man kaste nytt lys over den geologiske oppbyggingen til fjellet. Dette kan bidra i vurderingen av skredrisikoen for det aktuelle området. Undersøkelsene som ble gjennomført indikerte store vannstandsvariasjoner i deler av fjellet. Hun påviste, ved å se på de endrende infiltrasjonsområdene, en bevegelse i både morene og i det faste fjellet (Soldal, 2018).

## 1.2 Problemstilling

På bakgrunn av relatert arbeid og rapporter fra NVE er det valgt å skrive en oppgave som omhandler monitorering av ustabile fjellmasser. Fjellblokk 4A ved Stampa i Flåm er allerede under overvåking ved bruk av interferometrisk syntetisk apertur-radar (InSAR) og ekstensometer. Dette medfører at våre målinger kan sammenlignes med NVE sine målinger, og en vil dermed kunne undersøke om andre metoder for monitorering kan gi mer eller annen informasjon om bevegelsesmønsteret ved Stampa.

I denne studien ønsker vi å undersøke om man ved hjelp av korrigerte avstandsmålinger for atmosfæriske forhold kan detektere bevegelse på lengre avstander, og med hvor stor nøyaktighet en kan monitorere bevegelsen. Vi har valgt å planlegge et måleopplegg for denne typen monitorering, og vi har gjort simuleringer knyttet til hva som er forventet utfall. Målingene er ikke gjort i virkeligheten og tallene vi har brukt er dermed basert på estimeringer og simuleringer.

Med bakgrunn i dette er følgende problemstilling utarbeidet:

*Kan man ved hjelp av kalibrerte totalstasjonsmålinger detektere selv små bevegelser på lengre avstander?*

Studien er en planleggingsoppgave og det vil benyttes simuleringer for å undersøke gjennomførbarheten. For å verifisere målinger over lengre avstander, samt kunne avdekke et bevegelsesmønster er studien todelt:

- Etablere kjente punkter som gir grunnlag for monitorering av bevegelse på lang avstand, herunder å korrigere avstandsmålinger for atmosfæriske forhold.
- Utarbeide et måleopplegg for å kunne verifisere målinger på lang avstand samt å kunne få utfyllende informasjon om hvordan objektet beveger seg ved hjelp av målinger fra oversiden av blokk 4A.

### 1.3 Området Stampa

Stampa er et fjellområde med et samlet estimert volum på 300 million m<sup>3</sup> plassert 800 – 900 meter over havet øst for bygden Flåm. Ifølge rapportert hentet fra NVE er bare deler av området i bevegelse og et samlet ras av hele Stampa er lite sannsynlig (E. A. Lene Kristensen, 2016, s. 3). Fjellet består hovedsakelig av fjelltypen fyllitt som har blitt skjøvet over grunnfjellet. Fyllitt er en svak omdannet leirtype som er blitt til skifer under trykk og høye temperaturer (NGU, 2020a).



Figur 2: Plassering av blokk 4A

I 2016 ble Joasetbergi klassifisert som et høyrisiko område av NVE. Joasetbergi er et fjellmassiv i underkant av 300.000 m<sup>3</sup> med store deformasjonslinjer og dype sprekker som trenger seg ned i fjellpartiet. NVE har vurdert sannsynligheten for et ras til å være større enn 1/1000 (T. B. Lene Kristensen, 2018, s. 4). Av den grunn ble det sommeren og høsten 2017 installert instrumenter for å ha muligheten til å kontinuerlig overvåke fjellpartiet. Blant annet benyttes det ekstensometer, InSAR-målinger og en totalstasjon som kontinuerlig måler bevegelsen på fjellpartiet. Det har også blitt montert en værstasjon som skal gi informasjon om snøsmelting, nedbør og temperatur som alle er faktorer som kan påvirke bevegelse. Målingene som har blitt gjort ved Joasetbergi viser en årlig bevegelse på rundt 10 – 15 mm (T. B. Lene Kristensen, 2018, s. 7).

Lenger sørvest på fjellmassivet Stampa, 845 meter over havet, ligger studieområdet 4A (Figur 2). Blokken er plassert på enden av det som er kjent som Furekamben. For å komme til blokken må man gå to timer fra fjellgården Vikesland (475 moh.), som ligger nord for fjellblokken. Plataet til fjellblokken er ca. 5-8 meter bred og ca. 20 meter lang med en samlet

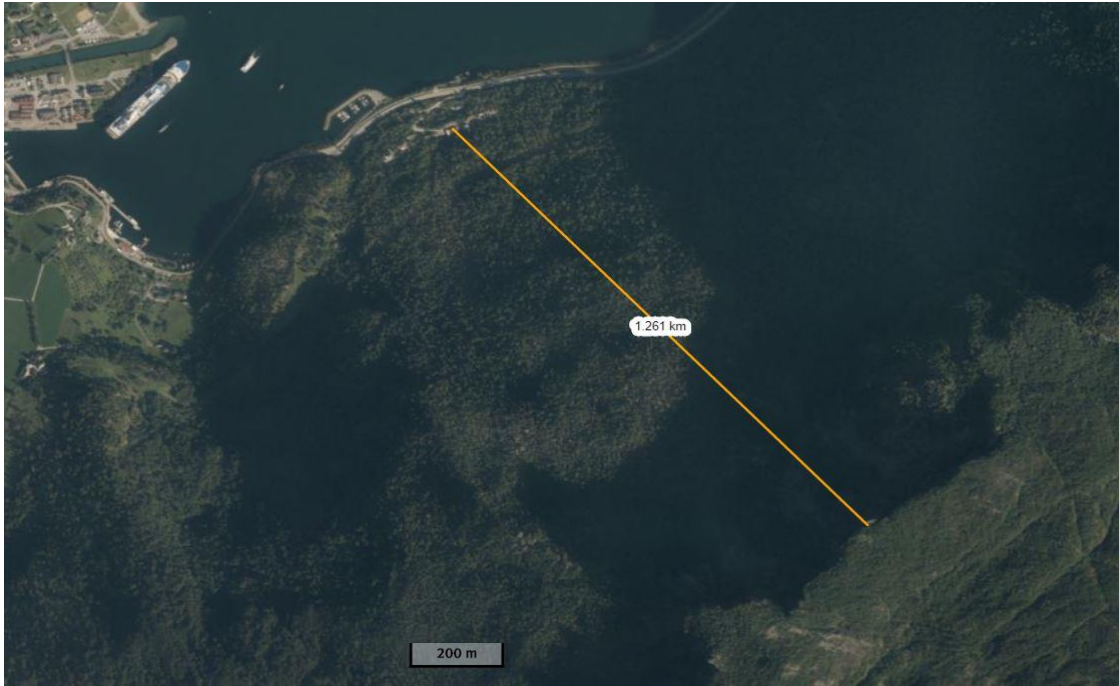
overflate på rundt 100 m<sup>2</sup>. Deformasjonslinjen mellom Furekamben og blokken er i dag i overkant av 2 meter (Figur 3).



Figur 3: Deformasjonslinjen mellom blokk og Furekamben.

Blokk 4A er allerede under overvåking av NVE ved hjelp av InSAR-målinger til en satellittreflektor plassert på blokken og et ekstensometer montert høsten 2019. I en rapport publisert av NVE i 2016 viser resultatene fra InSAR-målingene at blokken har en årlig bevegelse på mellom 10–20 mm. I rapporten beskriver de en tendens til økt bevegelse i løpet av de siste årene, men er forsiktige med å konkludere med dette siden dataene er hentet inn over et relativt kort tidsintervall (E. A. Lene Kristensen, 2016, s. 26-27).

De potensielle farene ved et ras av blokk 4A er ikke vurdert i detalj, men det har blitt gjennomført noen modelleringsanalyse i et forsøk på å beregne konsekvensene ved en eventuell hendelse. Ifølge NGU sine analyser har blokken potensiale til å nå bygninger nede ved Aurlandsfjorden (Figur 4). Store blokker i uren under området, som har løsnet fra Furekamben, indikerer derimot at dette er lite sannsynlig (E. A. Lene Kristensen, 2016, s. 27).



Figur 4: Avstand fra Blokk 4A til nærmeste bebyggelse.

## 2.0 Utstyr og teori

### 2.1 Ekstensometer

Et ekstensometer (Figur 5) er et direkte måleinstrument konstruert for å detektere avstandsendringer mellom to fastmonterte bolter, typisk på hver sin side av en fjellsprekk. Dette blir gjort ved å registrere rotasjonen til en spole i rustfritt stål som er montert til en



Figur 5: Eksempel på ekstensometer.

wire. Når fjellet da beveger seg fra hverandre og spolen går rundt, blir den gitte avstanden registrert. NGU bruker i dag digitale ekstensometer som resulterer i en høy nøyaktighet på målingene. Digitale ekstensometrene har en nøyaktighet på 0,01

mm og en repeterbarhet på 0,1 mm. Repeterbarheten sier noe om i hvilken grad målinger gjort på samme plass stemmer overens (NGU, 2015).

Fordelen med å bruke dette instrumentet er at det er lett å montere. Det er bærbart og mulig å transportere relativt enkelt til ønsket område. En ulempe ved bruken av ekstensometer er at man bare får avstandsmålinger fra et spesifikt punkt og ikke bevegelsesretning. Enheten kan også være følsom når det kommer til støt eller risting som kan forekomme i de rasutsatte områdene (NGU, 2015).

## 2.2 InSAR



Figur 6: InSAR – reflektor på blokk 4A.

InSAR-målinger gjør det mulig å detektere bevegelser på millimeternivå ved hjelp av radardata og avanserte algoritmer. InSAR fungerer ved at et utsendt radarsignal reflekteres av jordens overflate tilbake til satellitten. Det reflekterte signalet blir satt sammen til et bilde med informasjon over fase og amplitude. Amplituden er styrken av det reflekterte signalet og faseren er bølgeformen av signalet. Ved å kombinere målinger tatt på forskjellige tidspunkter kan man sammenligne de for å detektere eventuelle bevegelser. Radarbølgene fra satellitten kan trenge gjennom tåke og dårlig vær, men kan derimot få vanskeligheter med tykk

vegetasjon og snø som dekker overflaten. For å gjøre det mulig å overvåke blokk 4A året rundt er det derfor installert en to meter høy satellitreflektor (Figur 6). Reflektoren trenger lite vedlikehold etter ferdig montering og er helt uavhengig av strøm, dataoverføring og

annen infrastruktur i fjellet. Dermed kan man spare tid ved vedlikehold og kostbart feltarbeid, og heller prioritere ressursene på områder med større behov (NVE, 2020d).

Bruken av InSAR er en anerkjent og kostnadseffektiv metode for overvåkning av blant annet fjellpartier. Det er en god metode for å estimere bevegelse av større landområder siden man kan måle til flere punkter i landskapet enn ved bruken av for eksempel en totalstasjon, hvor man måler til færre punkter (NGU, 2020b).

### 2.3 Totalstasjon og prisme



Figur 7: Totalstasjon.

presise målinger er ett sett med grupperte observasjoner med små avvik fra gjennomsnittet av observasjoner. Det betyr at målingene kan være presise uten å være nøyaktig (Skogseth, 2014, s. 319-320).

En totalstasjon (Figur 7) er et instrument bestående av en elektronisk teodolitt som brukes for å måle horisontale og vertikale vinkler, og en elektronisk avstandsmåler som blir nærmere beskrevet i kapittel 2.7 «EDM og atmosfæriske forhold» (Skogseth, 2014, s. 134).

For å beskrive kvaliteten på målingene til en totalstasjon brukes begrepene nøyaktighet og presisjon. Hvor nøyaktig en observasjon er, kommer an på hvor nært observasjonen er den sanne posisjonen til et tiltenkt objekt. Det vil si at laserstrålen faktisk treffer punktet man vil måle til. Presisjon sier derimot noe om grupperingen på observasjonene. Ved høy presisjon er målingene tett samlet over flere repetisjoner. Det vil med andre ord si at



Figur 8: Leica GPR111 basic prisme

Et prisme (Figur 8) er en reflektor som består av ett eller flere retrodirektive prisme og har som oppgave å reflektere utsendt lys tilbake til instrumentet. Når man skal foreta ulike målejobber er det en fordel å bruke et originalt prisme fra samme fabrikant som totalstasjonen. Årsaken til dette er at prismekonstanten er pre-programmert i totalstasjonen til å passe deres originale prisme. Prismekonstanten korrigeres fordi lyset beveger seg annerledes i glasset i prismet, enn i luft (Skogseth, 2014, s. 132-133).

## 2.4 Statisk GNSS

Statiske målinger med lang observasjonstid vil være den enkleste metoden å etablere nye kjente punkt med god nøyaktighet. Man er avhengig av å ha minst to punkt med kjente koordinater og høy nøyaktighet (Dueholm, 2005, s. 83).

For å måle inn nye punkter i et nettverk anvendes flere antenner, det vanligste er enten tre antenner for å danne trekantnett eller fire antenner for å danne firkantnett. En eller to av antennene stilles opp i kjente punkt og den tredje i et av de ukjente. Man måler i 20 -60 minutter per sesjon. Posisjonsbestemmelsen av nye punkt beregnes ved at man finner basislinjer eller vektorer mellom punktene. I et nettverk av punkter er man ikke avhengig av å ha noen av antennene i kjente punkter, siden man skal utjevne nettet i sin helhet i etterprosesseringen. Innmålingen fortsetter så ved at man flytter en av antennene til et nytt punkt og gjentar prosedyren til man har dekket alle punktene. Dersom man anvender tre antenner vil man ha målt tre vektorer eller basislinjer, en mellom hver av de tre antenneparene. Når man skal behandle flere basislinjer som er målt i samme tidsrom må man unngå å bruke trivielle basislinjer. En triviell basislinje er en vektor som blir beregnet ved hjelp av datasett som allerede er blitt brukt for å beregne en annen basislinje. Man vil

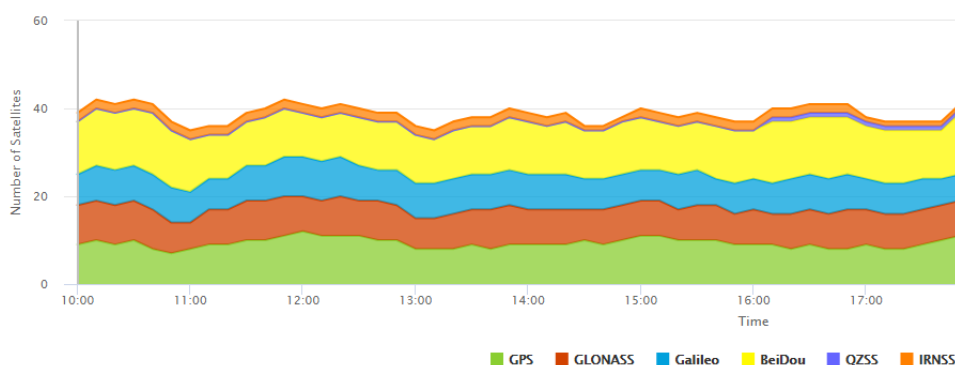


altså med tre antenner ha to ikke-trivielle og en triviell basislinje per sesjon (Burkholder, 2018, s. 257).

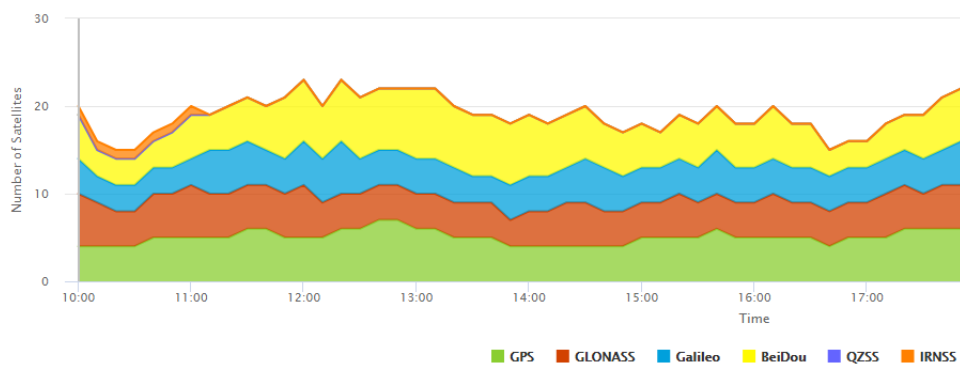
For all innmåling med Global Navigation Satellite Systems (GNSS) er man avhengig av å planlegge måleopplegget. Det finnes flere nettsider som kan brukes for å finne ut hvordan måleforholdene er på et gitt tidspunkt i det området man befinner seg. Et alternativ er å bruke [www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com), hvor man kan få en oversikt over:

- Antall tilgjengelige satellitter, gitt elevasjonsvinkelen i forhold til jordoverflaten man har satt som grense «*elevation cut-off*». Her er standardinnstillingen satt til ti, men som vist nedenfor vil det være hensiktsmessig å øke denne betraktelig.
- Oversikt over hvilke satellitter som er tilgjengelig og hvor de befinner seg på himmelen.
- Dilution of precision (DOP) verdier.

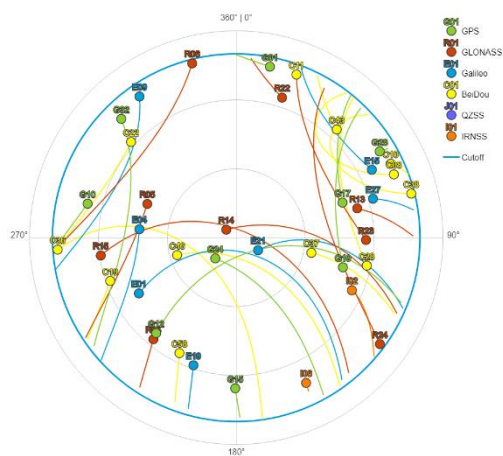
Når man anvender slike hjelpemidler, blir det ikke tatt hensyn til topografien i området. I områder som har bratte fjell i umiddelbar nærhet til målepunktene, bør man ta høyde for dette i planleggingen av feltarbeid for statiske målinger. Spesielt for punktene nede i lavlandet vil dette være vesentlig. Nettstedet tilbyr, som nevnt over, innstillinger for «*elevation cut-off*» og man kan ved å øke denne likevel få et visst innblikk i hvilke tidspunkter som fremstår som gunstige. Statiske målinger krever at minst fire satellitter er synlige, men man bør ha minimum fem til seks tilgjengelig (Kartverket, 2009, s. 16).



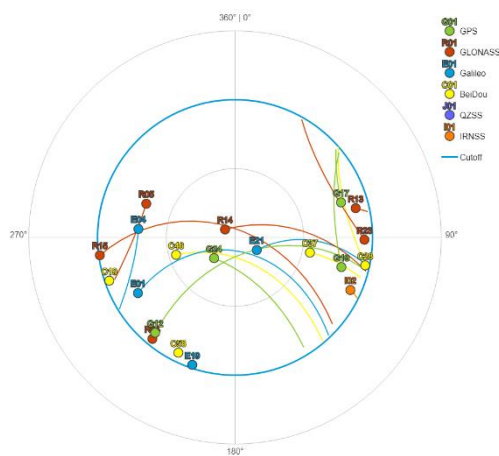
Figur 9: Antall tilgjengelige satellitter med 10grader elevation cut-off.



Figur 10: Antall tilgjengelige satellitter med 30grader elevation cut-off.



Figur 11: Skyplot med 10 grader cut-off.

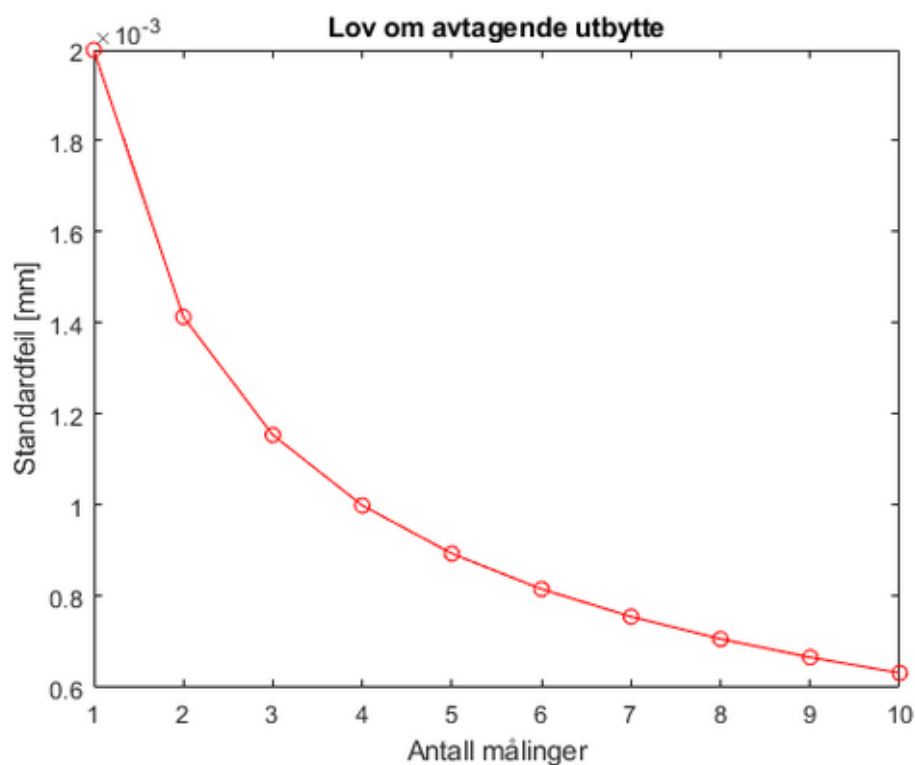


Figur 12: Skyplot med 30grader cut-off.

Figur 9-12 viser noen utdrag fra siden [www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com). De to første viser antall tilgjengelige satellitter og den horisontale aksene viser klokkeslett. De to figurene har helt like innstillings-parametere med unntak av «*elevation cut-off*» som er satt til 10 grader på figur (9) og 30 grader på det figur (10). Dette betyr at man ignorerer de satellittene som ligger lavere enn 30 grader fra horisonten. Det samme ser man på de to neste figurene (11-12) som viser hvor på himmelen satellittene befinner seg, med utgangspunkt i det punktet man satte som referanse i innstillingene.

## 2.5 Feilkilder og nøyaktighet

Observasjoner kan gjøres direkte eller indirekte. Som nevnt tidligere blir det allerede utført direkte målinger på blokk 4A med ekstensometer. Måleopplegg med totalstasjon og GNSS som skisseres her vil basere seg på indirekte observasjoner. Det vil si at man anvender horisontal- og vertikalretninger, og avstand for å finne koordinater ved totalstasjonsmålinger. Ved statiske GNSS-målinger regner man ut basislinjer eller vektorer for å finne koordinatene til nye punkt i nettverket (Ghilani, 2011, s. 65-66).



Figur 13: Lov om avtagende utbytte.

Grafen er over er laget ved formelen:

$$\sigma = \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}}$$

Formel (1)

Hvor  $\sigma$  er standardavvik,  $\sigma_i$  er instrumentets standardavvik og  $n$  er antall repeterende målinger.

Uansett hvor nøyaktig man utfører målinger vil de inneholde feil. Man kan aldri kunne si at en måling er helt eksakt, men med et godt måleopplegg kan en minimere denne feilen til et akseptabelt nivå. Grafen over (Figur 13) omhandler loven om avtagende utbytte og viser at man ved repeterende målinger har maksimal gevinst i forhold til arbeidsmengde når man måler fire ganger. Ved å repetere målingene vil man minimere sjansen for grove feil. Ved å måle i begge kikkertstillinger, altså helsatser, samt utjevne punktene i nettverk, vil man minimere sjansen for grove og systematiske feil (Ghilani, 2018, s. 113-114).

## 2.6 Koordinatsystem og projeksjoner

### 2.6.1 UTM-projeksjonen

UTM, eller «Universal Transversal Mercator», er et kartprojeksjonssystem som brukes globalt. «Transverse» vil si at det er en liggende sylinder, mens «Mercator» indikerer at det er et vinkelriktig system (Skogseth, 2014, s. 39). En av de store fordelene med en liggende sylinder i motsetningen til en stående, er at sylindere tangerer jordoverflaten i meridianen. Dette betyr at målestokken blir korrekt langs hele den aktuelle meridianen, og ikke bare rundt ekvator (Anderson, 1998, s. 639). Det er viktig å være klar over hvilket datum som blir brukt når en anvender UTM-projeksjoner, ettersom punkter beregnet på ellipsoiden i datumene EUREF89, WGS84 og ED50 som regel blir avbildet i UTM-systemet (Skogseth, 2014, s. 39).

En sentral egenskap ved UTM-projeksjonen er at den har en målestokksfaktor på 0,9996. Dette innebærer at en avstand målt på ellipsoiden i UTM må korrigeres med inntil 400 ppm, som igjen tilsvarer 40 cm på 1 km. For den gjennomsnittlige bruker vil ikke en slik feilkilde ha betydning, mens ved prosjekter som krever høy grad av nøyaktighet vil 4 cm på 100 m være problematisk. Eksempel på dette kan være ved installasjon av pre-fabrikerte broelement eller stålelement som skal passe til faststøpte bolter (Skogseth, 2014, s. 41).

### 2.6.2 NTM-projeksjonen

"Norsk transversal mercator", NTM-projeksjoner, er et alternativ til UTM og brukes der en høyere nøyaktighet kreves. I motsetning til UTM har NTM en mye lavere

målestokskorreksjon på maksimalt 11 ppm. Dette gir en maksimal korreksjon på 11 mm på 1 km, og er innenfor nøyaktigheten på landmålingsinstrumentene som er i bruk ved mer krevende prosjekter. NTM lar oss måle med en høyere nøyaktighet fordi den ikke har en krymping med målestoksfaktor 0,9996 slik som UTM har. For å få til dette er Norge delt inn i flere smalere soner. Der UTM har en sonebredde på 6 grader, har NTM en sonebredde på bare 1 grad, som resulterer i 26 ulike soner nummerert fra 5 til 30 (Skogseth, 2014, s. 42).

### 2.6.3 Lokalt koordinatsystem

Ved å opprette et lokalt koordinatsystem kan en selv bestemme hvor en ønsker at meridianen skal gå, og dermed eliminere problemet med korreksjon. Dette medfører også at koordinatene som brukes er enklere å arbeide med og det er lettere forstå hva en endring i tallverdi betyr, siden origo blir bestemt der en selv ønsker det og tilhørende punkter får koordinater deretter. Lokale nett er ofte brukt ved landmåling innen industri- og bygg fordi man da kan bestemme systemets parametere selv. Dette gjør at et lokalt nett er gunstig å bruke på skip, plattformer, og andre områder der en ikke ønsker å sette senitvinkelen pekende rett opp (Kartverket.no).

### 2.6.4 Transformasjoner

Det å transformere koordinater fra et system til et annet kan være en utfordring. Transformasjon av koordinater til et lokalt system har mange fordeler. Blant annet, får man muligheten til å unngå skaleringsfaktoren knyttet til UTM. Når det gjelder transformasjoner i 2D kan en tenke seg tre steg; *skalering*, *rotasjon* og *translasjon*. *Skalering* handler om å skape like dimensjoner mellom de to systemene. *Rotasjon* går ut på å sette aksene parallelt med hverandre. *Translasjon* setter felles referansepunkt i systemene for riktig å kunne konvertere punktene (Ghilani, 2018, s. 389-390).

Ifølge Charles D. Ghilani krever skalering og rotasjon en parameter hver, mens translasjonen krever to parametere. De to parametere for translasjonen vil i praksis si at en setter ut to kontrollpunkt i systemene som er felles for begge, slik at en enkel unik løsning for transformasjonen er mulig. En har da fire parametere. Med flere kontrollpunkter vil en

kunne bruke minste kvadraters metode for å estimere nøyaktigheten (Ghilani, 2018, s. 389).

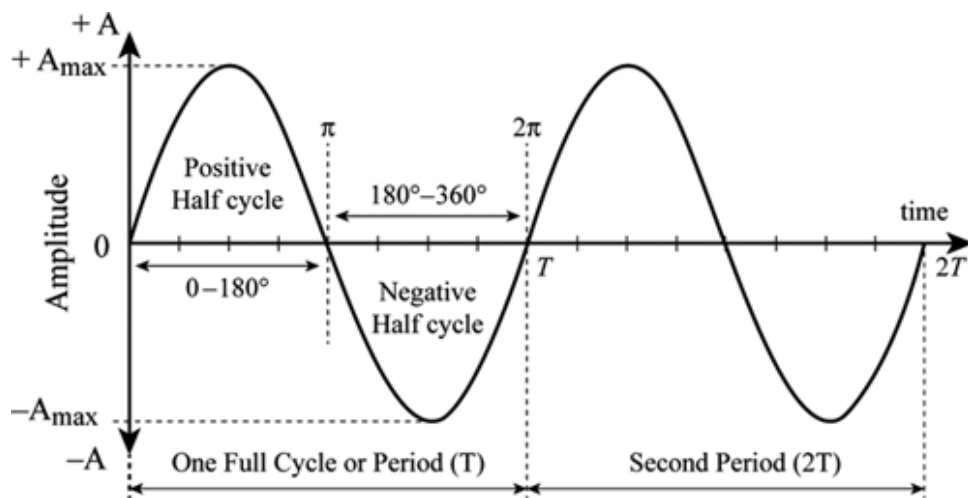
Ved transformasjon i 3D trenger en derimot sju parametere; tre rotasjonsparametere, tre translasjonsparametere og en skaleringsparameter. Ved 3D-transformasjoner brukes det tre forskjellige rotasjoner, en for hver av aksene x, y og z som resulterer i en rotasjonsmatrise. Når en oppretter et lokalt system, er det ønskelig å låse y-aksen i et annet punkt for å definere systemets orientering. Origo, og låsingspunktet vil da ha ulike z-verdier som vil skape en tilt i xy-planet. Dette kan løses ved at en gjør en 3D-transformasjon i rotasjon av systemet og dermed korrigerer xy-planet til å være lik horisontalplanet, eller ved at en ser bort fra z-verdier når en oppretter systemet (Ghilani, 2018, s. 389-390, 401).



Figur 14: Illustrasjon av tenkt lokalt koordinatsystem.

## 2.7 EDM og atmosfæriske forhold.

Forkortelsen EDM står for «Electromagnetic distance measurement», på norsk elektronisk avstandsmåling. Det er vanlig i dag at alle totalstasjoner har dette innlemmet i sine systemer (Anderson, 1998, s. 123). Ved bruk av EDM sendes elektromagnetiske bølger til et prisme, som reflekterer bølgene tilbake til instrumentet. Man kan måle faseforskyvningen mellom det sendte signalet og det mottatte signalet, og på bakgrunn av dette beregne avstanden. For å få optimale målinger må det korrigeres for trykk, temperatur og andre atmosfæriske forhold. For noen totalstasjoner kan man legge inn de atmosfæriske forholdene i forkant av målingene. Eventuelt kan man registrere hvordan forholdene er og føre dette inn i etterkant, før målingene skal prosesseres (Juterud, 2000, s. 29).



Figur 15: Illustrasjon av sinusbølger.

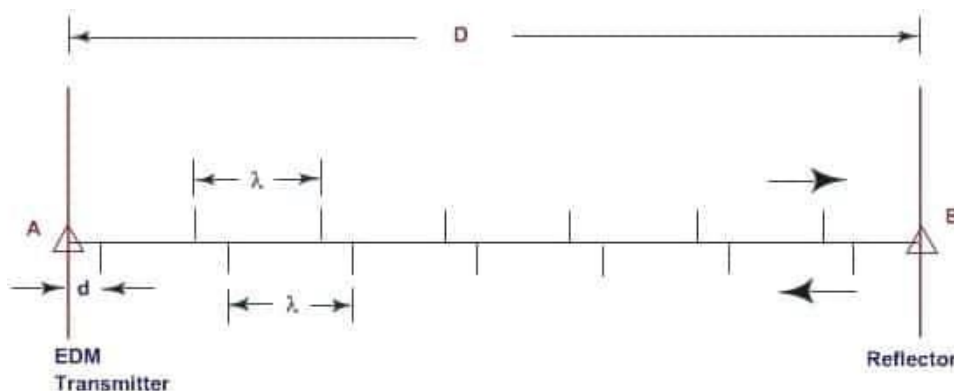
De elektromagnetiske bølger som sendes ut er i utgangspunktet komplekse. De kan representeres ved bruk av sinusbølger som vist i figur (15) (Uren, 2010, s. 127). Når den elektromagnetiske bølgen går gjennom to like punkt, for eksempel to toppunkt, har bølgen fullført en periode. Lambda ( $\lambda$ ) representerer bølgens lengde i meter og hvor langt bølgen går på en periode. Bølgens frekvens ( $f$ ) måles i hertz og representerer hvor mange ganger bølgen fullfører en periode på ett sekund. Én hertz er henholdsvis én periode per sekund. Den universelle konstanten for lysets hastighet ( $c$ ) i vakuum er grunnleggende for EDM. Luftfuktighet, temperatur og trykk er ulike atmosfæriske forhold som påvirker lyshastigheten. Det er derfor man kan bruke komponenten  $v$ , som er basert på en etablert formel som tar hensyn til de atmosfæriske forholdene. Komponentene som er nevnt i dette avsnittet kan sees i sammenheng uttrykt ved formel (2) (Uren, 2010, s. 128).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{Formel (2)}$$

Siden man nå har mulighet til å finne ut hva  $\lambda$  er, kan man videre finne avstanden (D) mellom to punkter ved bruk av denne formelen:

$$D = \frac{1}{2}(m\lambda + d) \quad \text{Formel (3)}$$

I formel (3) står «d» for faseforskjellen mellom signalet ut fra instrumentet og reflektert signal tilbake til instrument (Figur 16). Videre står «m» for antall fullstendige bølgelengder, oppgitt i heltall.  $\lambda$  er bølgelengden.



Figur 16: Illustrasjon av faseforskjellen mellom utsendt og mottatt signal.

Merk at dersom reflektoren i B hadde blitt flyttet  $\lambda/2$  (halv bølgelengde) ville ikke tilveksten «d» endres. Dette gjør at man kan bestemme den totale avstanden hvis man kjenner til den doble lengden innfor  $\lambda/2$  eller  $\lambda/4$  (kvert bølgelengde). Å skulle bestemme antall hele bølgelengder (m) vil kunne fastsettes ved å bruke en form for flerfrekvensteknikk, dette fordi det i «m» ligger en tvetydighet. Det sendes ut lys på én frekvens, slik at «d1» kan registreres. Deretter sendes et annet lys på en annen frekvens, og «d2» kan så registreres. Når man da har de to observasjonene kan man utarbeide to likninger og løse for «m» (Anderson, 1998, s. 127). Denne teknikken er integrert i totalstasjonen og dermed bestemmes «m» automatisk. Dermed trengs ingen kalkulering eller videre handling for å finne «D» (Uren, 2010, s. 130).

Når lysbølgene ferdes i atmosfæren, blir de som nevnt, påvirket av atmosfæriske forhold (Uren, 2010, s. 168). Eksempel på atmosfæriske forhold som påvirker lysbølgene er lufttrykk, temperatur og vanndamp. Vanndamp er avhengig av temperaturen i luften og den



relative luftfuktigheten (Anderson, 1998, s. 134).

Faktorer som har innvirkning på systematiske feil i lysbølgesystemer kan være følgende; Bølgens hurtighet, usikkerheter forbudet med instrumentets utsender og senteret i reflektoren. For å oppnå optimale resultat må omfanget av hver slik faktor evalueres og korrigeres for i avstandsmålingene (Anderson, 1998, s. 128).

Dersom det det blir gjort feil under inntastingen på instrumentet av noen av forholdene vil det kunne gi feil på avstandsmålingen. For eksempel vil 10°C feil på 25mmHg (millimeter kvikksølv) utgjøre 1mm per 100m, eller 10ppm feil på avstanden. Dersom det måles på kortere avstander vil de atmosfæriske forhold ikke være de største feilkildene. På korte distanser er det viktigere å ta hensyn til sentreringsfeil (Uren, 2010, s. 168).

### 2.7.1 Atmosfæriske korrigeringer

Brytningsindeksen i luft for lysbølger er en funksjon gitt av de atmosfæriske forholdene (Anderson, 1998, s. 134). For å bestemme brytningsindeksen for luft må man ha kjennskap til alle de atmosfæriske faktorene. Hastigheten ( $V$ ) til elektromagnetiske bølger i luft er en funksjon basert på lysets hastighet i vakuum ( $c$ ), her uttrykt som « $V_0$ », og brytningsindeksen for luft « $n$ ». Den korrigerede hastigheten er gitt ved følgende formel:

$$V = \frac{V_0}{n} \quad \text{Formel (4)}$$

For å bestemme korreksjonsfaktorene må man sette en referanseverdi for refraksjon i instrumentet ( $n_0$ ). Det brukes da en standard atmosfære (måleenhet for trykk) som kan beregnes eller gis for hvert EDM-instrument. Ved bruk av formel (2) og (4) kan følgende likning dannes:

$$n_0 = \frac{v_0}{\lambda_0 f_0} \quad \text{Formel (5)}$$

Her er « $V_0$ » lysets hastighet i vakuum, 299,792458km/sek. For den spesifikke avstandsmåleren er « $\lambda_0$ » modulasjonsbølgelengden i meter og « $f_0$ » er modulasjonsfrekvensen målt i kHz.

Brytningsindeksen for luft « $n_a$ », ved endring i temperatur, trykk og luftfuktighet, er gitt ved likningen:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g-1)p}{273.1+t} - \frac{1.5026e(10^{-5})}{273.2+t} \quad \text{Formel (6)}$$

Her er « $e$ » damptrykk, « $p$ » er atmosfærisk trykk og « $t$ » er lufttemperaturen. I utregninger av « $n_a$ » kan man som regel se bort fra det siste leddet i formelen, fordi damptrykket har liten effekt på lysbølgene.

For lysbølger er det nødvendig å beregne « $n_g$ », brytningsindeksen for luft, fra «*Barrell og Sears likning*» kan man beregne denne. Man trenger å kjenne til « $n_g$ » da utregningen av « $n_a$ » er påvirket av denne. « $n_g$ » kommer av likningen:

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_1^2} + \frac{0.068}{\lambda_1^4}) 10^{-6} \quad \text{Formel (7)}$$

I formel (7) er « $\lambda_1$ » bølgens lengde i mikrometer. Hvilken kilde til lys det er snakk om, for eksempel infrarødt eller kvikksølv damp, påvirker verdiene for « $\lambda_1$ » (Anderson, 1998, s. 134-136).

For noen høypresisjonsundersøkelser brukes forholdet mellom « $n_a$ » og « $n_0$ » for å korrigere skråavstanden direkte for atmosfæriske forhold, da brukes formel 8:

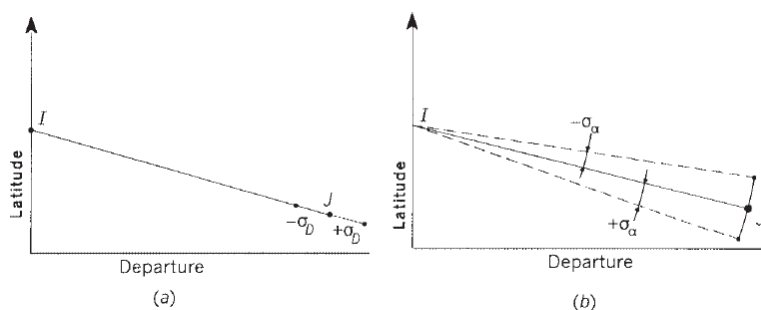
$$S_{korr} = \frac{n_0}{n_a} s \quad \text{Formel (8)}$$

« $S_{korr}$ » er da skråavstanden hvor det er korrigert for de atmosfæriske forholdene, « $n_a$ » og « $n_0$ » finner man ved formel (6) og formel (5), og « $s$ » er den observerte avstanden (Anderson, 1998, s. 137).

## 2.8 Feilellipse

En feilellipse er et visuelt virkemiddel for å demonstrere usikkerheten for samtlige retninger til ett punkt, etter en utjevning i programmer som for eksempel Gemini Oppmåling. En feilellipse er definert ved den lange og korte halvakse, og en retningsvinkel til lange halvakse (Nysæter, 2020, s. 155).

For å ha best mulige forutsetninger for å detektere en eventuell forflytning av et objekt bør det gjøres en estimering på bevegelsesmønsteret. Hvordan objektet beveger seg, og avstanden til objektet, har betydning for hvor det er optimalt å foreta målingene fra.



Figur 17: Standardavvik ved avstands- og vinkelmålinger.

På korte avstander vil målingene fra en totalstasjon ha et lavere standardavvik ved vinkelmålingene ( $\sigma_\alpha$ ) kontra avstandsmålinger ( $\sigma_D$ ). Derimot vil det ved lengre avstander være avstandsmåleren på totalstasjonen som resulterer i det laveste standardavviket. Årsaken til dette er at tverravviket (Figur 17) ved vinkelmålinger øker lineært på lengre avstander. Standardavviket på avstandsmålinger øker også lineært, men ved et punkt overgår feilen til vinkelmålingene feilen til avstandsmålingene. Dette avhenger av hvilken totalstasjon man bruker (Ghilani, 2018, s. 144).

## 3.0 Metode

### 3.1 Sikker jobb analyse (SJA)

For dette måleopplegget er det utarbeidet et eksempel på en sikker-jobbanalyse (SJA) med hensyn til miljø og sikkerhet (HMS). Grunnen til at man utarbeider en SJA er for å ivareta sikkerheten under arbeid tilknyttet et prosjekt. Ved gjennomføring av en slik analyse kan man se om det er nødvendig med tiltak for å kontrollere eller eliminere eventuelle risikoer.

Når det er snakk om fare innebærer det alle handlinger og forhold som kan utløse en uønsket hendelse, som igjen kan føre til personskade, skade på miljø eller på materielle verdier. Eksempel på farer man må ta hensyn til i denne oppgaven kan være fall fra høyder. For flere faremomenter se vedlegg 8.2 (Stamina, 2020).

### 3.2 Befaring



Figur 18: Bildet av Vikesland. Startpunkt for befaring.

For et hvert prosjekt vil det være hensiktsmessig å gjennomføre en befaring for å få et visuelt overblikk av området. Før man drar på selve befaringsreisen kan det være fordelaktig å gjøre seg noen tanker om hvordan den skal gjennomføres. Det kan for eksempel være å ta med seg nødvendig utstyr for å gjennomføre måletekniske oppgaver allerede ved første besøk. Yr.no er et gunstig verktøy for å planlegge hvilke dager som egner seg for gjennomføringen av befaringsreisen med tanke på værforholdene (Axess, 2020).

Det er ca. to og en halv times biltur fra Bergen til Vikesland (Figur 18). Fra Vikesland venter en to timers gåtur for å komme seg til blokken. Det er relativt bratt terreng i starten, og etter å ha gått halvannen time har man forsert i underkant av 500 høydemeter opp til Joasete. Herfra passerer man elva Stampa over til Furekamben, hvor man videre følger stien en kort strekning før man knekker av ned til prosjektområdet (Lommekjent, 2020).

### 3.3 Kontrollering av utstyr

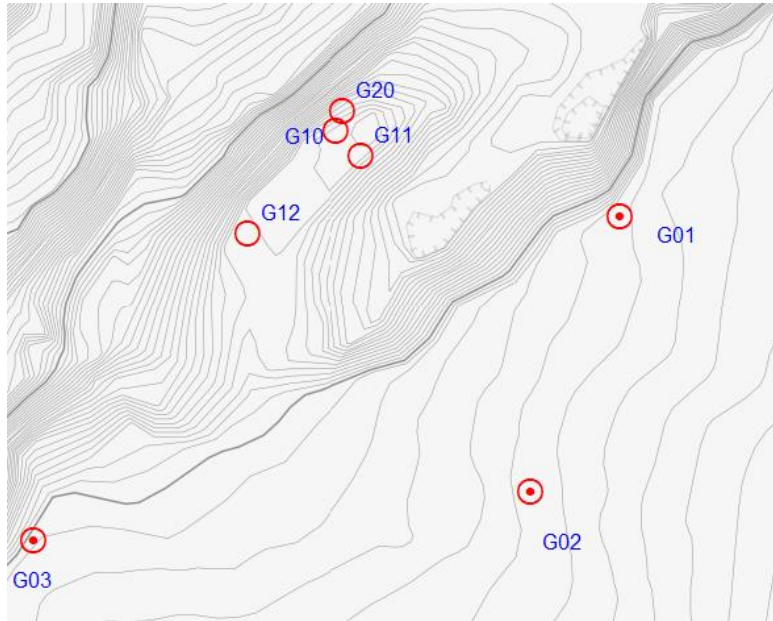
Det anbefales å gjennomføre en kontroll og kalibrering av utstyret i forkant av et måleopplegg. En kalibrering innebærer å sammenligne instrumentet som skal brukes opp mot et bedre instrument, mot en normal, eller opp mot et referansemateriale. Grunnen til

at man utfører en kalibrering av instrumentene er for å finne ut om de differerer fra korrekt verdi (Hofstad, 2019). Dersom man observerer et avvik ved kalibrering, foretas det en justering. Kalibreringer av totalstasjoner bør gjennomføres med jevne mellomrom. Dersom totalstasjonen har gjennomgått rystelser, reparasjoner, eller andre påkjenninger bør det også utføres en kalibrering. Dette er for å forsikre at instrumentet fungerer i henhold til gjeldende nøyaktighetskrav (Bjørn Geirr Harsson, 2009, s. 6).

Dagens totalstasjoner har rutiner for kalibrering og justering innlemmet i programvaren. I forkant av kalibreringen må man påse at stativ og trefot er i akseptabel tilstand. Det kan være hensiktsmessig å stille opp instrumentet i skyggen på et fast underlag og vente i 15 minutter slik instrumentet får lik temperatur som omgivelsene. Deretter utføres kalibreringer og justeringer i henhold til instrumentets manual. En GNSS-mottaker må også kontrolleres før statiske målinger. Kalibrering av GNSS-mottaker kan utføres over et kjentpunkt med høy nøyaktighet (Nysæter, 2018, s. 5-6).

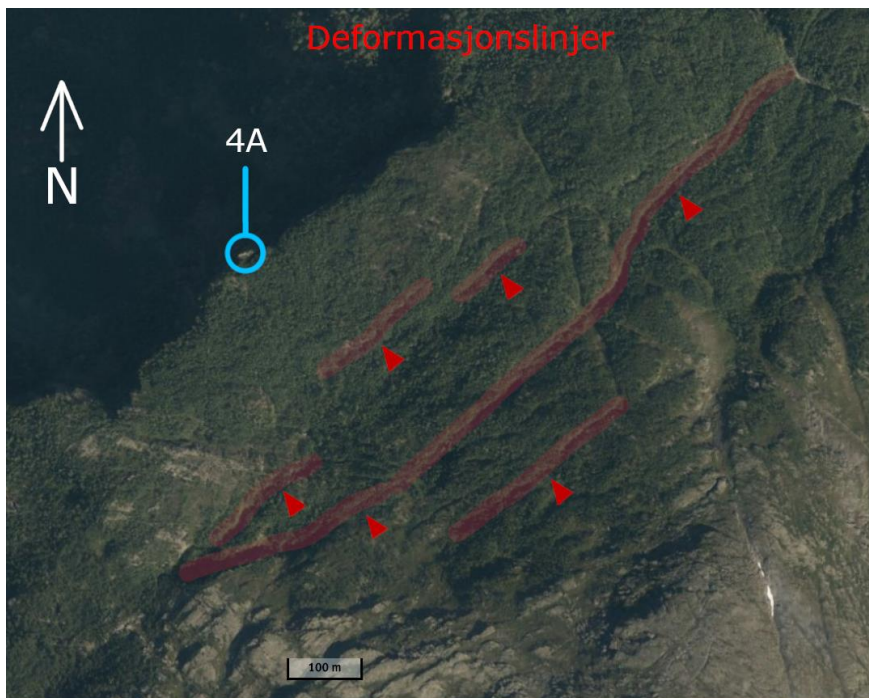
### 3.4 Anbefalinger til måleopplegg

Formålet med måleopplegget som presenteres er å kunne detektere bevegelsen av blokk 4A. Som tidligere nevnt i delkapittelet «1.3 *problemstilling*» vil måleopplegget være todelt. Når man gjør målinger fra båthavnen vil en bare kunne måle til ett punkt på blokken, og dermed ha begrenset mulighet til å detektere bevegelsesendringer i enkelte retninger. Ved å måle fra oversiden av blokk 4A, vil en kunne måle til flere punkter og dermed få muligheten til å detektere endringer i flere retninger. Sammen vil disse to stasjonene gi et bedre bilde av blokkens totale bevegelser, og målingene gjort fra oversiden vil kunne verifisere observasjonene fra båthavnen.



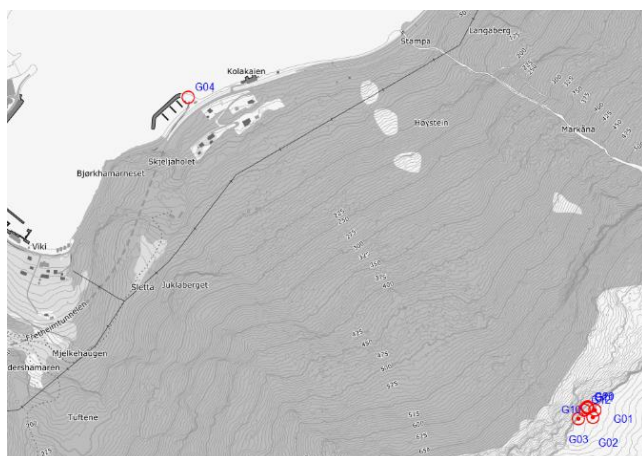
Figur 19: Illustrasjon av punktene ved blokk 4A.

Selv om fastmerkene ved blokken (G01, G02 og G03(Figur 19) er plassert på det som blir ansett som fast grunn, tyder deformasjonslinjer øst på Furekamben (Figur 20) at hele fjellpartiet kan være i bevegelse. Konsekvensen av dette vil være at de relative målingene fra frioppstillingen ikke detekterer den reelle bevegelsen av blokk 4A.



Figur 20: Deformasjonslinjer ved Furekamben

### 3.4.1 Statistiske innmålinger av kontrollpunkt



Figur 21: G04 sin plassering i forhold til blokk 4A

benyttet som kalibreringspunkt for målingene fra båthavnen. Hensikten bak kalibreringspunktet er gjort rede for under delkapittel «3.6 Korreksjoner for atmosfæriske forhold». Det er her tenkt at det i punkt G03 vil bli satt opp et stativ med et montert prisme som har spesifikasjoner som gjør det egnet til lange målinger. Punkt G04 vil bli brukt som oppstillingspunkt for totalstasjonsmålinger.

Det anbefales å måle inn fire punkt med statistiske GNSS som danner grunnlaget for monitoreringen. Tre punkter på oversiden av blokken 4A og ett nede ved båthavnen i Flåm (Figur 21).

Punkt G01, G02 og G03 vil brukes som orienteringspunkt for totalstasjonsmålinger. G03 vil også bli



Figur 22: Eksempel på et stabilt stativ.

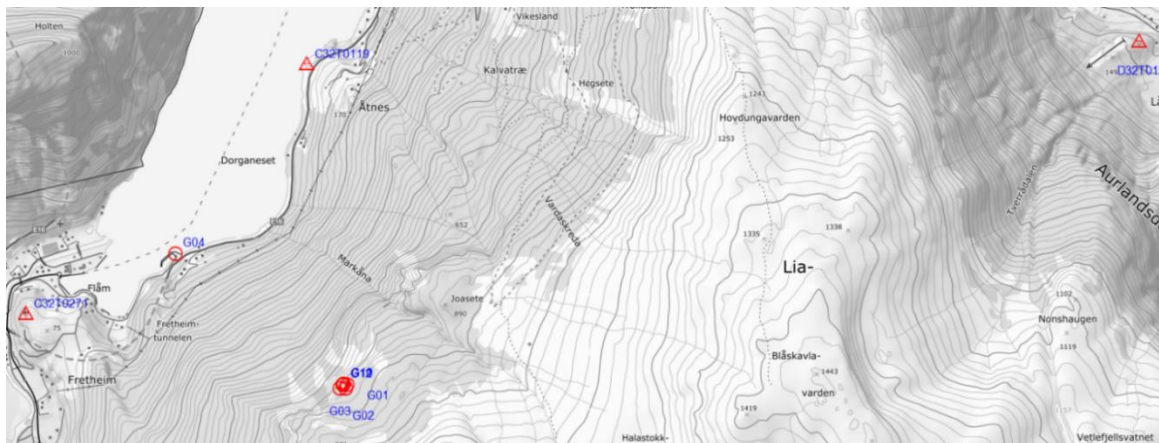


Figur 23: Eksempel på adapter.

Videre anbefales det å etablere stabile stativ (Figur 22) i alle punkter med feste for reflektorbrakett. Under innmålingene med statistisk GNSS vil man da, ved hjelp av en adapter (Figur 23), enkelt kunne feste GNSS-antennen i det samme punktet. Dette vil øke nøyaktigheten av målingene da en ikke behøver å ta hensyn til sentreringsfeil for hver måling. Et element man vil måtte passe på er offset i høyde mellom senter i reflektor versus senter i GNSS-antenne.

Fastpunktene (Figur 24, 25) som anbefales brukt er C32T0271 FRETHEIM TV, som ligger på Fretheim rett sør for Flåm sentrum, og C32T0119 OTTERNES som ligger nede ved sjøen nord-øst for Otternes. Begge disse punktene ligger ca. 2400m fra blokken. To punkt vil være tilstrekkelig, men man kan også ta med et tredje punkt D32T0178 SKYTEBANEN LOVEN som ligger ved Låvi, 6000m fra blokken. Alle disse tre punktene er landsnettpunkt og har dermed god nøyaktighet.

Befaring av punktene ble utført 25.04.20 og alle punktene er egnet for målinger med GNSS. Det er lite vegetasjon i nærheten og boltene er godt merket og lette å finne.



Figur 24: Oversiktskart inklusive landsnettpunkt.



Figur 25: Landsnettpunkt, fra venstre; FRETHEIM TV, OTTERNES og SKYTEBANEN LOVEN.

Måleopplegget skisserer bruken av tre GNSS-mottakere og de to førstnevnte landsnettpunktene ved den statiske innmålingen. To av antennene plasseres over de to kjente punktene ved hjelp av et trefotstativ med libelle, mens man plasserer den tredje antennen etter tur i de fire nye punktene som skal måles inn. Med en måletid på ca. 30 minutter vil man få gode resultater gitt at måleforholdene er gode. Det er derfor viktig med planlegging av måletidspunkt, for eksempel via [www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com).



Nøyaktigheten til en målt basislinje beregnet ved hjelp av statistisk GNSS er gitt ved formelen:

$$\sigma_{baseline} = \sqrt{\sigma_s^2 a^2 + (L + ppm)^2} \quad \text{Formel (9)}$$

(Ghilani, 2018, s. 357)

Det er tatt utgangspunkt i en Leica Viva GP14 antenne med følgende spesifikasjoner:

- $a$ : konstantleddet oppgitt av produsent av utstyret, i dette tilfelle på er denne 3mm + 0,1 ppm.
- $\sigma_s$ : er oppstillingsnøyaktigheten. Siden det anbefales å etablere stativ for montering av reflektorer med adapter for GNSS antenne vil denne falle bort for de punktene som det ønskes å måle inn. For de kjente punktene antas det at man kan stille opp med en sentreringsnøyaktighet  $\sigma_s$  på 1mm. Dette vil gi:

$$\sigma_{baseline} = \sqrt{\sigma_s^2 a^2 + (L + ppm)^2} \quad \text{Formel (10)}$$

Setter man inn verdier i denne formelen vil man for en basislinje på 2400 meter få et standardavvik på 3,18 mm, mens for en basislinje på 6000 meter blir tallet 3,22mm. Man ser at siden ppm-verdiene er såpass lave vil man ikke få noen nevneverdig forskjell.

Dette standardavviket sier noe om den absolutte nøyaktigheten, altså nøyaktighet i forhold til en overordnet geodetisk referanseramme. Global nøyaktighet er ikke avgjørende for det måleopplegget som skisseres her. Nabonøyaktigheten, også kalt relativ nøyaktighet, gir uttrykk for den lokale nøyaktigheten og det er denne som er viktig i dette tilfellet (Kartverket, 2015, s. 12).

#### 3.4.2 Totalstasjonsmålinger for å beregne bevegelse på blokken

For å kunne monitorere bevegelser av blokken anbefales det å bruke totalstasjon. På bakgrunn av resultatene som kommer frem i kapittel «4.0 Resultat» vil det ikke være hensiktsmessig å stille opp en stasjon i kjente punkt. Det er heller gunstig å bruke punktene som referanse for å bestemme oppstillingspunktet. Det er tenkt at man skal kunne bruke fri oppstilling og at man starter med å måle inn de kjente punktene før det måles til de tre

prismene som er etablert ute på blokken. Det vil være praktisk med to oppstillinger for å detektere bevegelse. Ute på blokk 4A anbefales det å montere fire prizmer (G10, G11, G12 og G20). Da det allerede er etablert et stativ med en InSAR-reflektor ute på blokken, kan det være fornuftig å bruke et feste som man kan klemme på InSAR-stativet. Festet bør ha én reflektor (G20) vendt nedover mot båthavnen og én (G10) som er vendt oppover mot innmålingspunktene. De to andre reflektorene (G11 og G12) bør etableres i en L i forhold til InSAR slik at man på den måten kan detektere «pitch» og «roll» på blokken (Figur 18). I og med at arbeidet her vil kreve omfattende sikringstiltak vil det være hensiktsmessig å ha reflektorer stående permanent slik man ikke er avhengig av å entre blokken hver gang man skal måle.

Selve monitoreringen av bevegelsene vil bli gjort ved hjelp av totalstasjonsmålinger fra to stasjoner på oppsiden av blokken. I punkt G04, ved båthavnen i Flåm, anbefales det å støype en søyle med oppsett for totalstasjonen på toppen, eventuelt et tilstrekkelig stivt og solid metallstativ med samme formål. Her vil man også måtte ha en form for adapter slik at man enkelt kan utføre den statiske GNSS-innmålingen av punktet.

For Leica TCR1201 TCR + er det oppgitt følgende standardavvik:

- 1 mm ± 1,5 ppm
- 1" som tilsvarer 0,3086 mgon

I dette måleopplegget simuleres det for å kunne vise hvor små endringer man vil kunne detektere. For å vise dette brukes standardavviket som er oppgitt for det utstyret man anvender. Videre brukes feilforplantningsloven for å regne ut standardavvik i x, y og z-retning. Den matematiske sammenhengen for å finne koordinaten til G10 er gitt av formlene 11-13:

$$x_p = x_a + s \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\alpha) \quad \text{Formel (11)}$$

$$y_p = y_a + s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\alpha) \quad \text{Formel (12)}$$

$$z_p = z_a + s \cdot \cos(\varphi) \quad \text{Formel (13)}$$

«p» er ukjent punkt, «a» er totalstasjonens posisjon, «s» er skråavstand, «φ» er vertikalvinkel og «α» er horisontalvinkel.

Det totale differensial er gitt ved formlene 14-16:

$$d_{xp} = \frac{\partial xb}{\partial xa} \cdot d_{xa} + \frac{\partial xb}{\partial s} \cdot d_s + \frac{\partial xb}{\partial \alpha} \cdot d_\alpha + \frac{\partial xb}{\partial \varphi} \cdot d_\varphi \quad \text{Formel (14)}$$

$$d_{xp} = 1^2 \cdot d_{xa}^2 + (\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_s^2 - (s \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_\alpha^2 + (s \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\varphi))^2 \cdot d_\varphi$$

$$d_{yp} = \frac{\partial yb}{\partial ya} \cdot d_{ya} + \frac{\partial yb}{\partial s} \cdot d_s + \frac{\partial yb}{\partial \alpha} \cdot d_\alpha + \frac{\partial yb}{\partial \varphi} \cdot d_\varphi \quad \text{Formel (15)}$$

$$d_{yp} = 1^2 \cdot d_{ya}^2 + (\sin(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_s^2 - (s \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_\alpha^2 + (s \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\varphi))^2 \cdot d_\varphi$$

$$d_{zp} = \frac{\partial zb}{\partial za} \cdot d_{za} + \frac{\partial zb}{\partial s} \cdot d_s + \frac{\partial zb}{\partial \alpha} \cdot d_\alpha + \frac{\partial zb}{\partial \varphi} \cdot d_\varphi \quad \text{Formel (16)}$$

$$d_{zp} = 1^2 \cdot d_{za}^2 + \cos(\varphi)^2 \cdot d_s^2 - (s \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_\alpha^2$$

Dersom man benytter flere oppstillinger for å bestemme det samme punktet må man dele på 2. Den matematiske sammenhengen er gitt ved:

$$x_p = \frac{1}{2} \cdot (x_a + s_1 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \cos(\alpha_1)) + (x_\beta + s_2 \cdot \sin(\varphi_2) \cdot \cos(\alpha_2)) \quad \text{Formel (17)}$$

$$y_p = \frac{1}{2} \cdot (y_a + s_1 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\alpha_1)) + (y_\beta + s_2 \cdot \sin(\varphi_2) \cdot \sin(\alpha_2)) \quad \text{Formel (18)}$$

$$z_p = (z_a + s_1 \cdot \cos(\varphi_1)) + (z_\beta + s_2 \cdot \cos(\varphi_2)) \quad \text{Formel (19)}$$

Estimerte standardavvik og varians er gitt ved formel 20-25:

$$\sigma_x^2 = d_{xp}^2 = 1^2 \cdot d_{xa}^2 + (\cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_s^2 - (s \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_\alpha^2 + (s \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\varphi))^2 \cdot d_\varphi \quad \text{Formel (20)}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} \quad \text{Formel (21)}$$

$$\sigma_y^2 = 1^2 \cdot d_{ya}^2 + (\sin(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_s^2 - (s \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_\alpha^2 + (s \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\varphi))^2 \cdot d_\varphi \quad \text{Formel (22)}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_y^2} \quad \text{Formel (23)}$$

$$\sigma_z^2 = 1^2 \cdot d_{za}^2 + \cos(\varphi)^2 \cdot d_s^2 - (s \cdot \sin(\varphi))^2 \cdot d_a^2 \quad \text{Formel (24)}$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_z^2} \quad \text{Formel (25)}$$

« $\sigma_{xyz}$ » er beregnet standardavvik i x-, y- og z-retning.

Siden antallet målinger i dette tilfellet ikke er særlig omfattende bør man også ta seg tid til å notere måleverdiene underveis, selv om man bruker den elektroniske måleboken til totalstasjonen. Området oppe ved blokken ligger ganske utilgjengelig til og det ekstra arbeidet manuell skriving medfører kan lønne seg dersom man har gjort feil eller dersom man får problemer med minnet i måleboken.

### 3.5 Opprettelse av plan på blokken og normalvektor

Etter å ha utført de første målingene av blokken vil man ved hjelp av utjevning med minste kvadraters metode sitte igjen med koordinater for de tre punktene som er etablert ute på blokken. Dermed vil det være mulig å etablere et plan med tilhørende normalvektor. For å etablere et slikt plan trenger man tre punkt. Disse danner to vektorer og man kan videre finne normalvektoren til dette planet ved kryssprodukt. Normalvektoren er en vektor som står vinkelrett på planet. Grunnen til at det er anbefalt å benytte denne metoden for å fremstille resultatene er fordi det er enkelt å visuelt fremvise endringene fra første til siste

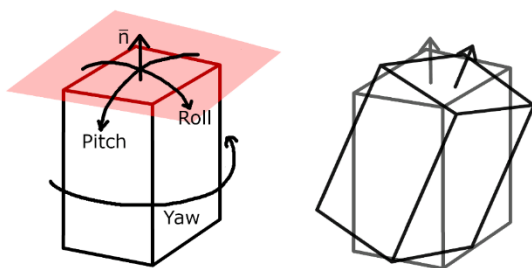
måling. Endringer i z-verdien, til et eller flere av punktene, vil føre til endring i

normalvektoren. Dersom blokken kun beveger seg i x/y planet, eller alle punktene i z-planet endres likt, vil ikke normalvektoren endre seg.

Men om noen av koordinatsettene forandrer seg slik det oppstår en endring i «pitch» eller

«roll» vil man kunne detektere endring i vinkelen til normalvektoren (Figur 26). Se

vedlegg 8.1.



Figur 26: Illustrasjon av vinkelforskjeller til normalvektoren.

### 3.6 Simulering- feilellipse

Hvor man stiller opp totalstasjonen i forhold til blokken vil som tidligere nevnt ha en påvirkning på kvaliteten av målingene. En faktor som kan påvirke om man kan detektere en bevegelse eller ikke er forskjellen på vinkelmålinger versus avstandsmålinger. Om man tar utgangspunkt i den samme typen totalstasjon (Leica TCR 1201 +) som er nevnt i kapittel «3.4.2 Totalstasjonsmålinger for å beregne bevegelse på blokken» har denne avstandsmåleren et standardavvik på 1 mm + 1.5 ppm.

Om målingene blir gjort fra en totalstasjon som er montert rett ovenfor prismene på blokken, som man kan se på figur 27, er det hovedsakelig avstandsmåleren som måler i den estimerte bevegelsesretningen. I en perfekt oppstilling vil resultatet være at feilellipsen til målingene er størst i x retning i det lokale koordinatsystemet, og at standardavviket blir størst i den estimerte bevegelsesretningen. For vinkelmålinger er standardavviket ett buesekund, som vil si at instrumentet har en indre feil på 0,3086 mgon (Leica, 2020, s. 10).



Figur 27: Eksempel på feilellipse, avstandsmåling.



Figur 28: Eksempel på feilellipse, vinkelmålinger.

Ettersom vinkelmålinger vil resultere i et lavere avvik enn avstandsmålinger, er det optimalt å gjennomføre målingene fra en totalstasjon som er montert i en vinkel så nærme 100/300 gon som mulig i forhold til blokken. Som man kan se på figur 28, vil det da være mindre usikkerhet i antatt bevegelsesretning. Feilellipsen vil være mindre i x-retningen enn ved avstandsmålingene, og standardavviket lavest i den antatte bevegelsesretningen.

### 3.7 Korreksjoner for atmosfæriske forhold

Med de spesifikasjoner som kommer med totalstasjonen (Leica TCR 1201+) vil man kunne bruke vedlegget 8.12 for å kunne korrigere for de atmosfæriske forholdene på avstanden fra G04 og G20 (se figur 29).



Figur 29: G04 (gul), G20 (blå) og G03 (rød).

De statiske innmålingene gjør at den sanne avstanden mellom G03 og G04 er kjent ( $d_{sann}$ ). Når en måler avstanden G04-G03 med totalstasjon, gir dette oss avstanden  $S_{G04G03}$ . Ut ifra totalstasjonens spesifikasjoner finner man bølgens lengde i meter ( $\lambda_0$ ) og målefrekvens ( $f_0$ ). Disse verdiene sammen med lysets hastighet brukes i formel 24 for å regne ut  $n_0$ .

$$n_0 = \frac{V_0}{\lambda_0 f_0} \quad \text{Formel (26)}$$

En kan da bruke formel 25 for å finne refraksjonsindeksen  $n_a$ .

$$n_a = \frac{n_0}{d_{sann}} \times S_{G04G03} \quad \text{Formel (27)}$$

Videre kan en bruke formel 26 for å finne den korrigerede avstanden G04 og G20.

$$S_{korr} = \frac{n_0}{n_a} \times S_{G04G20} \quad \text{Formel (28)}$$

Dette gjør at det skapes en robusthet mot atmosfæriske korreksjonsforhold, i og med at høydeforskjellen mellom punktene G04 og G20 er på over 800 meter.

## 4.0 Resultat

### 4.1 Korreksjon for UTM i studieområdet

For å finne ut hvor mye en må korrigere for ved bruk av UTM må en først finne den aktuelle sentralmeridianen for UTM-sonen en befinner seg i. Ettersom Joasetbergi befinner seg ca. 100 km fra sentralmeridianen på 9 grader øst, kan man regne ut forvrengingen ved hjelp av formel 29.

$$\Delta D_k = -0.0004 \cdot D_0 + \frac{y_m^2}{2R^2} \cdot D_0 \quad \text{Formel (29)}$$

$\Delta D_k$  er korreksjonen [km].

$D_0$  er avstanden på ellipsoiden. Angis i formelen i [km]

$y_m$  er midlere øst-verdi for punktene. Angis i formelen i [km]

R er jordradius. Midlere verdi er 6390km (Skogseth, 1998, s. 120)

Om man plotter dette inn i et utregningsprogram (her Matlab), eller regner det ut manuelt, får man en korreksjon på 27,49 cm per kilometer for en tenkt måling i studieområdet. Se vedlegg 8.11.

### 4.2 Korreksjon for atmosfæriske forhold

Skråavstanden mellom punktet G04 og opp til G03 er estimert til å være om lag 1673,80 meter ( $d_{\text{sann}}$ ). Mellom G04 og G03 estimeres en avstand på 1673,75 meter ( $s_{G04G03}$ ). Det er da tenkt en korrigerings for atmosfæriske forhold på denne avstand til 5cm.

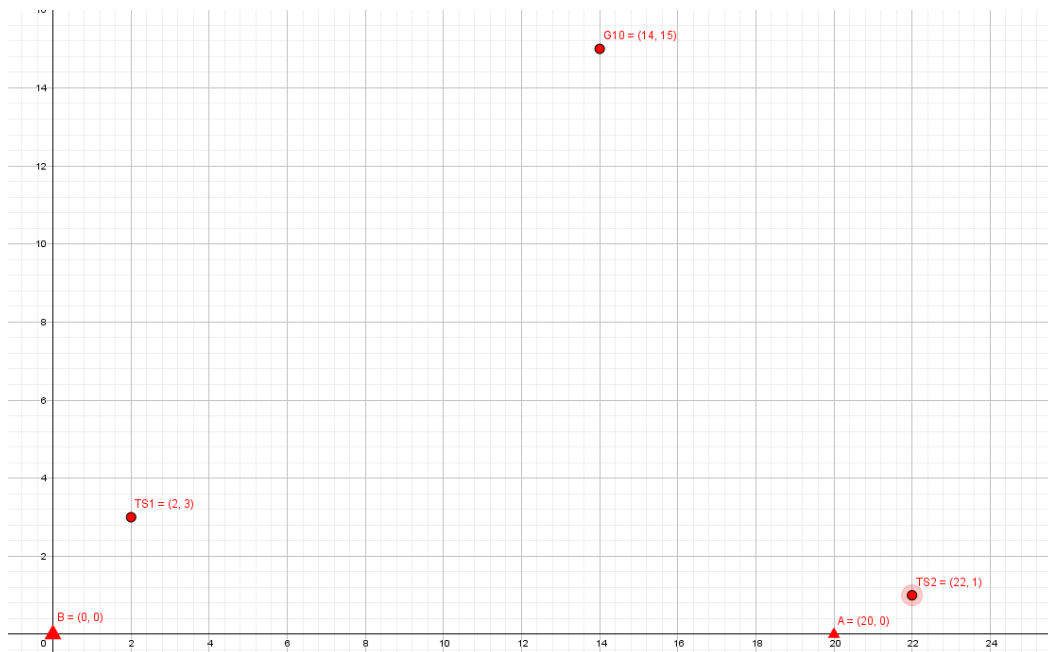
Når man vet denne korreksjonen og « $n_0$ » til den valgte totalstasjonen, i dette tilfelle 1,99861, kan man finne ut hva brytningsindeksen for luft ved endringer i atmosfæriske forhold « $n_a$ » er. Man bruker formel 25 som er bygget på formel 8. Fra dette beregnes « $n_a$ » til 1,99856. For å finne den korrigerede avstanden mellom punkt G04 og G20 benytter man « $n_0$ » og « $n_a$ », samt den målte avstanden mellom de to punktene.

Det estimeres at den målte avstanden mellom de to sistnevnte punktene er 1655m ( $s_{G04G20}$ ). Til slutt benyttes formel 26 og man finner en avstand korrigert for atmosfæriske forhold mellom G04 og G20. Denne ble i dette eksempelet utregnet til 4,97cm. Det er brukt vedlegg 8.12 for denne utregningen.

### 4.3 Forventet nøyaktighet på målingene

For å kunne si noe om hvor nøyaktig det forventes å kunne måle må man, siden det ikke er gjort noen konkrete målinger, simulere målingene. På figur 30 ser man det måleoppsettet som har blitt brukt for å simulere nøyaktigheten. Det tas utgangspunkt i et lokalt koordinatsystem med origo i punktet B. Det er ikke brukt de samme navnene på de kjente punktene siden dette er et teoretisk forsøk på å vise hvilken nøyaktighet som kan forventes.

Det som er interessant å undersøke er nabonøyaktigheten mellom oppstillingspunktet og det punktet som ønskes monitorert. De kjente punktene er kalt A og B. Punktene TS1 og TS2 er frioppstillinger for å bestemme posisjonen til G10, som symboliserer ett av punktene på blokk 4A.



Figur 30: Skissert oppsett for målinger.



Tallene fra Tabell 1 er hentet fra vedlegg 8.3-8.5 som viser den forventede nøyaktigheten til målingene dersom man hadde målt fra kjente punkt. Her er standardavviket til det kjente punktet satt til 1 mm. De to første radene viser standardavviket for x, y og z dersom man måler en helsats, de to neste radene viser tilsvarende dersom man måler 4 helsatser.

Oppstilling i Kjente punkt A og B. S i [mm]							
		1mm + 1" vinkelfeil			2mm + 2" vinkelfeil		
Oppstillingspunkt		A	B	A+B	A	B	A+B
Målt 1 gang	Sx	1.36	1.24	0.92	2.1	1.78	1.37
Målt 1 gang	Sy	1.07	1.2	0.85	1.26	1.67	1.19
Målt 1 gang	Sz	1.01	1.01	0.71	1.04	1.04	0.74
Målt 4 ganger	Sx	1.1	1.07	0.77	1.36	1.24	0.92
Målt 4 ganger	Sy	1.02	1.05	0.75	1.07	1.2	0.85
Målt 4 ganger	Sz	1	1	0.71	1.01	1.01	0.71

Tabell 1: Estimert standardavvik for punkt for G10 med oppstilling i kjente punkt.

Ved å sammenligne to totalstasjoner med ulikt standardavvik vil en illustrere differansen i målenøyaktighet som vist i *Tabell 1*. Måleopplegget på oversiden av blokk 4A har veldig korte avstander, derfor er det valgt å se bort ifra den avstandsavhengige feilen ved avstandsmålingene. Denne utgjør maks 1,5 ppm for de fleste nyere totalstasjoner, og dette vil være ubetydelig på så korte avstander. Den avstandsavhengige feilen er derimot tatt med i utregningen av standardavviket fra båthavnen og opp til blokken, siden det her er snakk om en mye lengre avstand. Feltet som er merket A+B viser forventet nøyaktighet dersom man måler fra både A og B.

Som man ser av *Tabell 1* ligger standardavviket både i x- og y-retning rundt 1 mm dersom man stiller opp i ett kjent punkt og noe lavere dersom man måler fra både punkt A og B. Standardavviket i z-retning er ubetydelig, årsaken til dette er at vertikalvinkelen ligger nært 100 gon og at avstandene er korte. Man ser også at antallet repeterende målinger øker nøyaktigheten noe. Det er verdt å merke seg at den største feilkilden ligger i standardavviket til posisjonen i det kjente punktet, og dermed gir tabellen et noe kunstig resultat.

Frioppstilling i TS1 og TS2. S i [mm]							
		1mm + 1" vinkelfeil			2mm + 2" vinkelfeil		
Oppstillingspunkt		TS1	TS2	TS1 + TS2	TS1	TS2	TS1 + TS2
Målt 1 gang	Sx	1.11	0.98	0.74	2.22	1.96	1.48
Målt 1 gang	Sy	1.33	1.43	0.98	2.66	2.85	1.95
Målt 1 gang	Sz	0.16	0.18	0.12	0.33	0.37	0.25
Målt 4 ganger	Sx	0.55	0.49	0.37	1.11	0.98	0.74
Målt 4 ganger	Sy	0.67	0.71	0.49	1.33	1.43	0.98
Målt 4 ganger	Sz	0.8	0.9	0.6	0.16	0.18	0.12

Tabell 2: Estimert standardavvik for punkt G10 med frioppstilling.

Dersom man ikke stiller opp i kjente punkt, vedlegg 8.6-8.8, men heller bruker disse som grunnlag for en eller flere frioppstillinger vil man kunne oppnå en noe bedre nøyaktighet. Ved fire repeterende målinger med det beste utstyret og målinger fra to stasjoner kan man komme ned i en forventet nøyaktighet på rundt 0,5 mm. Man ser også at verdien av flere repeterende målinger kommer godt fram i *Tabell 2*. Dersom man bare hadde målt én helsats ville usikkerheten til målingene ha vært dobbelt så stor som ved fire repeterende målinger.

For målinger fra G04 til G20					
		Vinkel 200 gon		Vinkel 100 gon	
		1mm +1.5 ppm + 1" vinkelfeil	2mm +2 ppm + 2" vinkelfeil	1mm +1.5 ppm + 1" vinkelfeil	2mm +2 ppm + 2" vinkelfeil
Oppstillingspunkt		G04	G04	G04	G04
Målt 1 gang	Sx	7.18	14.17	4.09	8.18
Målt 1 gang	Sy	4.09	8.18	7.18	14.17
Målt 1 gang	Sz	8.36	10.64	5.08	8.36
Målt 4 ganger	Sx	3.58	7.09	2.05	4.09
Målt 4 ganger	Sy	2.05	4.09	3.58	7.09
Målt 4 ganger	Sz	2.54	4.18	2.54	4.18

Tabell 2: Estimert standardavvik for punkt G20 ved målinger fra punkt G04.

*Tabell 3* viser estimert nøyaktighet i x- og y-retning ved målinger fra oppstillingspunktet G04 ved båthavnen i Flåm, vedlegg 8.9 og 8.10. Simuleringen viser standardavvik i x-, y- og z-retning med retningsvinkel på 100 og 200 gon. Punkt G04 ligger ikke vinkelrett på den y-aksen vi har brukt som utgangspunkt for simuleringene, men avviket ligger rundt 10 gon. *Tabell 3* brukes for å vise hvordan posisjonsnøyaktigheten påvirkes av avstand og vinkelen mellom oppstillingspunktet og retningen man antar størst bevegelse i, altså i nordvestlig retning. Ved 4 repeterende målinger er standardavviket i x-retning 3,57mm og y-retning 2,05mm. Standardavviket i z-retning er 2.54 ved 4 repeterende målinger.

For målinger med retningsvinkel på 100 gon vil posisjonsnøyaktigheten i x- og y-retning bli

omvendt, dette kommer av den matematiske sammenhengen gitt i kapittel «3.4.2 *Totalstasjonsmålinger for å beregne bevegelse på blokken*». Verdiene i z-retning er upåvirket siden horisontalvinkel ikke er avgjørende. Det er ikke blitt simulert målinger ved forskjellige avstander i denne studien, men bakgrunnen for at dette har en påvirkning finner man i den matematiske sammenhengen.

## 5.0 Diskusjon

### 5.1 Valg av utstyr

Utstyret som er anbefalt for dette måleopplegget er basert på flere faktorer.

For å kunne gjennomføre totalstasjonsmålinger er man avhengig av å etablere kjente punkt med statisk GNSS. Referansepunktene på blokk 4A er opprettet for at man skal kunne sikte til samme punkt på blokken ved hver måling. Totalstasjon er valgt som målemetode fordi dette instrumentet gir meget høy nøyaktighet på målinger, og dermed kan man detektere selv små bevegelser på blokk 4A. Det foregår allerede monitorering ved blokk 4A ved bruk av ekstensometer og InSAR. Et ekstensometer vil kun gi informasjon om bevegelse i én retning, mens ved bruk av totalstasjon vil man kunne undersøke om det skjer en endring i «pitch» og «roll». Det vil si at man får mer informasjon ved bruk av totalstasjon enn ved bruk av InSAR og ekstensometer.

For InSAR-satellittreflektoren som er montert på 4A, er det høy nøyaktighet. Dersom blokken beveger seg mye på motsatt side av der InSAR-reflektoren er montert, vil den ikke kunne fange opp denne bevegelsen like godt som det totalstasjonsmålingene til referansepunktene gjør. Dette er fordi disse punktene dekker større deler av blokken enn det ene punktet hvor InSAR-reflektoren står. Bakdelen med å bruke totalstasjon er at dette instrumentet må fraktes opp og ned til blokk 4A i forbindelse med hver måling, mens de to andre monitoreringsinstrumentene er fastmontert. Anbefalingen for måleopplegget legger vekt på at det bare skal være behov for få turer opp til blokk 4A. En gang for etablering av kjente punkt og fastsetting av prismer, og noen få ganger for å måle inn til «prismepunktene» for å detektere bevegelse.

## 5.2 Atmosfæriske forhold

Det vil være anbefalt å måle flere ganger nede fra G04 og opp til blokken. For hver måling fra G04 vil kalibreringspunktet G03 anvendes. Hensikten med å etablere G03 som et kalibreringspunkt er at man kan korrigere for de atmosfæriske forholdene på den lange avstanden mellom Flåm og blokk 4A. Det er rimelig å anta at forholdene i disse parameterne endres når det er stor høydeforskjell og en lang distanse mellom punktene. Ved å bruke kalibreringspunktet som ligger nær blokk 4A kan man korrigere målingene for atmosfæriske forhold.

Som man kan se av resultatene i «4.2 Korreksjon for atmosfæriske forhold» er det tenkt en korreksjon på 5 cm mellom kalibreringspunktet og målepunktet nede i Flåm. Ved å sette estimert avstand til punkt på blokk G20 til 1655 m, finner man her at korreksjonen på målingen er 4.97 cm. Dette vil høres rimelig ut da det er en kortere avstand mellom G04 og G20 enn mellom G04 og G03.

Dersom man bare hadde tatt hensyn til de atmosfæriske forholdene nede ved G04, ville det kunne gi en feil i målingene. Som man innledningsvis i oppgaven kunne lese er det skrevet en bacheloroppgave hvor det ble konkludert med at temperatur er den faktoren som vil påvirke avstandsmålingene mest av de atmosfæriske forholdene (Marianne Fosse & Kolstad, 2017). Dette vil også være relevant for vår studie, da høydeforskjellen opp til blokk 4A er stor. Kalibreringspunkt G03 er etablert slik man kan ta høyde for temperaturforskjellen oppe ved blokken og nede i Flåm.

Det må også tas hensyn til årstidsvariasjoner, noe som kan spille en rolle for de atmosfæriske forholdene. Det vil for eksempel ved høy temperatur om sommeren være høyere luftfuktigheten enn ved kaldere temperaturer på vinteren. Ved sterk kulde vil innvirkningen til luftfuktigheten være nærmest ubetydelig (Lippestad, 2009). Selv om de atmosfæriske forholdene vil ha liten effekt på målingene må det alltid tas hensyn til disse forholdene.

### 5.3 Korreksjon for UTM

Siden forvrengingen ved bruk av UTM blir på 27 cm er det hensiktsmessig å vurdere et annet koordinatsystem for prosjektet. Alternativene er da NTM med en korreksjonsfaktor på 11 ppm eller å opprette et lokalt nett som vil ha en korreksjonsfaktor på 0 ppm. Fordelene med å bruke NTM over et lokalt nett er i hovedsak at en slipper arbeidet med å opprette et eget nett i området. En ulempe med å bruke NTM er at en selv ikke kan bestemme orienteringen på koordinatsystemet, og i tillegg vil tallverdiene være bestemt ut ifra sonens sentralmeridian. Da vil koordinatverdiene bli svært høye i forhold til om man hadde brukt et lokalt koordinatsystem.

Velger en derimot å bruke et lokalt koordinatsystem vil en selv kunne bestemme orienteringen av koordinatsystemet. Dette gjør at en selv kan bestemme positiv retning, noe som er gunstig for et slikt prosjekt da en lett kan angi retninger i forhold til aksene til det lokale systemet. Et lokalt system vil heller ikke ha noen forvrengninger, og en trenger da ikke ta hensyn til noen ppm-korreksjon. Videre vil et lokalt nett gi oss svært lave og håndterbare tall som vil være enkle å tolke i forhold til origo. Dette betyr at tilt og forskyvning vil være lett å detektere. I tillegg vil en selv kunne bestemme origo for systemet.

Ulempen med et lokalt system er at en faktisk må opprette systemet. Dette kan dog gjøres veldig enkelt ved at en bruker x- og y-koordinatene til allerede kjente punkt for å danne systemets origo, og et annet punkt til å låse retningen til den ene aksen. Z-verdiene til origo og låsningspunktet i y-retning kan man selv bestemme slik at verdiene blir hensiktsmessige i forhold til prosjektet. For blokk 4A kan man velge å sette z-verdiene til null, og dermed jobbe med den aktuelle høyden som blokken befinner seg på. Alternativt kan man bruke blokkens laveste punkt som null, og få veldig små høydeverdier som er lette å tolke. Ved begge alternativene slipper en å gjøre en 3D-transformasjon, så lenge z-verdiene er lik vil xy-planet være likt horisontalplanet.

## 5. 4 Nøyaktighet på måleopplegget

De mest nøyaktige målingene oppnås ved å anvende to frioppstillinger med fire repeterende målinger fra oversiden av blokken. Her vil standardavviket i x- og y-retning være henholdsvis 0,37 mm og 0,49 mm, og i z-retning 0,6 mm. Dette vil gi et godt grunnlag for å etablere et plan som representerer de tre punktene på blokken, og på denne måten vise endringer på en god måte.

Måleopplegget som er skissert tar utgangspunkt i at det kun måles til et punkt på blokken fra oppstillingen i Flåm, og dermed mister man muligheten til å detektere endringer i «*roll*» og «*pitch*». Dette kunne man til dels ha løst ved å etablere flere punkter på blokken som er synlige fra Flåm. Ved å etablere et punkt helt sør på blokken ville man kunne detektere «*roll*». Fordi blokken tilter oppover mot Furekamben ville detektering av «*pitch*» ha blitt mer problematisk siden det vil være umulig å etablere et prisme som er synlig ifra Flåm. Alternative løsninger på dette problemet vil være å etablere et ekstra stasjonspunkt. Det vil kunne være mulig å finne et punkt i nærheten av Vikesland der man ser blokken. Avstanden vil da doubles og dette vil påvirke målenøyaktigheten, i tillegg vil det være nødvendig med reflektorer med bedre spesifikasjoner.

For å måle inn kjente punkter på oppsiden av blokken er det en forutsetning at det ikke er noe bevegelse i fjellpartiet. Det er synlige deformasjonslinjer lengre oppe i fjellsiden og man kan derfor ikke være sikker på at dette er tilfelle. Dersom de kjente punktene beveger seg, vil grunnlaget for hele måleopplegget være borte. Ikke bare for målingene ovenfra, men også monitoreringen fra Flåm siden kalibreringspunktet for atmosfæriske forhold vil være avgjørende for nøyaktigheten.

## 6.0 Konklusjon

Hovedfokuset for studien var å undersøke om det var mulig å monitorere blokk 4A fra et punkt nede i Flåm. Ved fire repeterende målinger og korreksjon for atmosfæriske forhold vil man kunne oppnå en nøyaktighet i x-retning på 3,58 mm, i y-retning 2,05 mm og i z-retning 2,54 mm. Tidligere målinger utført av NVE viser en årlig bevegelse på opptil 20 mm og således vil man kunne konkludere med at denne metoden vil kunne brukes. Dette forutsetter at det ikke er bevegelse i fjellpartiet. Slik måleopplegget er skissert vil det derimot ikke være mulig å detektere en bevegelse som ikke allerede er målt av eksisterende målinger med InSAR og ekstensometer. For målinger fra oversiden av blokken vil man kunne detektere bevegelser med en nøyaktighet på 0,5 mm, gitt at fjellpartiet ovenfor blokken ikke beveger seg.

## 7.0 Fremtiden

I denne oppgaven er det vektlagt planlegging og anbefalinger for hvordan detektere bevegelser på blokk 4A ved hjelp av monitorering. Det kan dermed være aktuelt å videreføre det som er planlagt her til virkeligheten. Da kunne man sett om de antakelsene som er gjort teoretisk i denne oppgaven er realiserbare for ekte måleopplegg.

## 8.0 Vedlegg

8.1 Utregning av normalvektor ved hjelp av tre punkt på blokk 4A.pdf

8.2 Sikker-jobb-analyse.pdf

8.3 Estimert standardavvik i xy-retning. Oppstilling i kjent punkt. 1mm, 1buesekund.pdf

8.4 Estimert standardavvik i xy-retning. Oppstilling i kjent punkt. 2mm, 2buesekund.pdf

8.5 Estimert standardavvik i z-retning. Oppstilling i kjent punkt.pdf

8.6 Estimert standardavvik i xy-retning for frioppstilling. 1mm, 1buesekund.pdf

8.7 Estimert standardavvik i xy-retning for frioppstilling. 2mm, 2buesekund.pdf

8.8 Estimert standardavvik i z-retning for frioppstilling.pdf

8.9 Estimert standardavvik i xy-retning. Målinger fra båthavn.pdf

8.10 - Estimert standardavvik i z-retning. Målinger fra båthavn.pdf

8.11 Forvrenging UTM.pdf

## 9.0 Referanser

- Anderson, J. M. (1998). *Surveying : theory and practice* (7th ed. utg.). Boston: WCB/McGraw-Hill.
- Axess. (2020). Inspection of hull and structures. Hentet fra <https://www.axessgroup.com/inspection-services/inspection-of-hull-and-structures/>
- Bjørn Geirr Harsson, L. G. (2009). Kontroll og kalibrering av elektro-optiske avstandsmålere. I(s. 22): Statens kartverk. Hentet fra <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/kalibrering.pdf>
- Burkholder, E. (2018). *Satellite Geodesy and Global Navigation Satellite Systems* CRC Press.
- Caroline Otterstad, M. T. o. H. A. K. (2016). Monitorering av deformasjoner i fjell ved bruk av totalstasjon og laserskanner. Atmosfærisk påvirkning på observasjoner ved bruk av Leica TS15 totalstasjon. Hentet 12.03 2020 fra <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2399626>
- Dueholm, K. S. (2005). *GPS* (3. udg. utg.). København: Nyt Teknisk Forlag.
- Ghilani, C. D. (2011). *Elementary surveying : an introduction to geomatics* (13th ed. utg.). Boston: Pearson.
- Ghilani, C. D. (2018). *Adjustment computations : spatial data analysis*. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Giæver, O. P. (2014, 30.10). De norske tsunamiene. Hentet fra <https://www.abcnyheter.no/nyheter/2014/10/30/210818/de-norske-tsunamiene>
- Hofstad, K. (2019). Kalibrering. Hentet fra <https://snl.no/kalibrering>
- Juterud, L. J. (2000). *Oppmålingslære* ([Fellespråklig utg.]. utg.). Oslo: Gyldendal undervisning.
- Kartverket. (2009). *SATELLITTBASERT POSISJONSBESTEMMELSE*. Hønefoss: Kartverket. Hentet fra <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/satbasssystemer.pdf>
- Kartverket. (2015). Geodatakvalitet. *Standarder geografisk informasjon*, 106. Hentet fra <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/geodatakvalitet.pdf>



- Kartverket.no. EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5 - 30. Hentet fra <https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/posisjonstjenester/euref89ntmbeskrivelse.pdf>
- Leica. (2020). Leica TPS1200+ Series High performance Total Station. Hentet fra [http://www.kankou.co.jp/en/kumonos/downloads/Leica\\_TPS1200+.pdf](http://www.kankou.co.jp/en/kumonos/downloads/Leica_TPS1200+.pdf)
- Lene Kristensen, E. A. (2016). Bakkebaserte radarmålinger på Børa i Romsdalen og Stampa ved Flåm. Hentet 26.02 2020 fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016\\_84.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_84.pdf)
- Lene Kristensen, T. B. (2018). Overvåking av Joasetbergi. Hentet fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018\\_48.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_48.pdf)
- Lippestad, H. (2009). Kaldere kulde ved kysten? I. yr.no. Hentet fra [https://www.yr.no/artikkel/kaldere-kulde-ved-kysten\\_-1.6477408](https://www.yr.no/artikkel/kaldere-kulde-ved-kysten_-1.6477408)
- Lommekjent. (2020). Vikesland-Hovdungo-Trodladokki-Høgsete-Vikesland. Hentet fra <http://www.lommekjent.no/turer/952667>
- Marianne Fosse, M. B., Ole Jørgen Flesland og Malene & Kolstad, K. (2017). Atmosfærisk påvirkning på observasjoner ved bruk av Leica TS15 totalstasjon. Hentet 12.03 2020 fra [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmloi/bitstream/handle/11250/2451225/Bacheloroppgave\\_2017\\_Bognoy\\_Fosse\\_Flesland\\_Kolstad.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmloi/bitstream/handle/11250/2451225/Bacheloroppgave_2017_Bognoy_Fosse_Flesland_Kolstad.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- NGU. (2015). Ekstensometer. Hentet 17.04 2020 fra <https://www.ngu.no/emne/ekstensometer>
- NGU. (2020a). Fyllitt. Hentet 26.03 2020 fra <https://www.ngu.no/emne/fyllitt>
- NGU. (2020b). INSAR NORGE. Hentet 17.04 2020 fra <https://www.ngu.no/emne/insar-norge>
- NVE. (2020a). Fjellskred. Fenomen, risiko og beredskap. Hentet 18.03 2020 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/fjellskredovervaking/fjellskred-fenomen-risiko-og-beredskap/?ref=mainmenu>
- NVE. (2020b, 24.01). Joasetbergi. Hentet fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/fjellskredovervaking/kontinuerlig-overvakede-fjellpartier/joasetbergi/>
- NVE. (2020c). Om fjellskredovervåkingen. Hentet 05.04 2020 fra <https://www.varsom.no/fjellskredovervaking/om-fjellskredovervakingen/?ref=mainmenu>
- NVE. (2020d). Satellittbasert radarmåling (SB - Insar). Hentet 20.04 2020 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/fjellskredovervaking/instrumentering/satellittbasert-radarmaling-sb-insar/>

- Nysæter, H. (2018). Kompendium i eiendomsmåling. Hentet fra [https://home.hvl.no/ansatte/hny/LEI105/kompendium\\_LEI105.pdf](https://home.hvl.no/ansatte/hny/LEI105/kompendium_LEI105.pdf)
- Nysæter, H. (2020). LANDMÅLING -REGNEMETODER. Hentet 03.04 2020 fra <https://nydata.no/LR20012020.pdf>
- Skogseth, T. (1998). *Grunnleggende landmåling* (2. utg. utg.). Oslo: Universitetsforl.
- Skogseth, T. (2014). *Grunnleggende landmåling* ([3. utg.]. utg.). Oslo: Gyldendal undervisning.
- Soldal, B. (2018). Grunnvannsundersøkelser av fjellparti Joasete-Høgsete, Flåm, Aurland kommune. I: The University of Bergen.
- Stamina. (2020). SJA Sikker jobb analyse. Hentet fra <https://www.staminahelse.no/hms-system/risikovurdering/sikker-jobb-analyse/>
- Sæbø, M. (2019). Turistfella Flåm. Hentet fra <https://www.geoforskning.no/nyheter/geofarer/2155-turistfella-flam>
- Uren, J. (2010). *Surveying for engineers* (5th ed. utg.). Basingstoke: Palgrave Macmillan.

## 10. Tabell- og figurliste:

### Figur 1:

Bilde tatt fra Joasetbergi med Flåm og Aurlandsfjorden i bakgrunnen.

[https://geo365.no/wp-content/uploads/2019/11/Joasetebergi\\_Flaam\\_oversiktsfoto-2000x1500.jpg.webp](https://geo365.no/wp-content/uploads/2019/11/Joasetebergi_Flaam_oversiktsfoto-2000x1500.jpg.webp) Foto: Tanja Marie Gjerde.

### Figur 2:

Plassering av blokk 4A. Redigert i paint.

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0013795212003298-gr1.jpg>

### Figur 3:

Deformasjonslinjen mellom blokk og Furekamben. Foto: Privat.

### Figur 4:

Avstand fra blokk 4A til nærmeste bebyggelse. Kartudrag fra Norgeskart.

<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1003&zoom=13.383851632665221&lat=6772842.85&lon=73376.06&markerLat=6772362.921592501&markerLon=74204.59376780284&panel=searchOptionsPanel&sok=Furekamben>

**Figur 5:**

Eksempel på ekstensometer.

<https://www.ngu.no/emne/ekstensometer>

**Figur 6:**

InSAR – reflektor på blokk 4A. Foto: Privat.

**Figur 7:**

Totalstasjon.

<https://snl.no/totalstasjon>

**Figur 8:**

Leica GPR111 basic prisme.

<https://leica-geosystems.com/-/media/images/leicageosystems/products/total-stations/more/accessories/reflectors/lgs-17-reflectors-pro-3000-gpr111-440x527.ashx?la=nn-no&hash=9A448257BD59754D1DFCC838B4D85D7C>

**Figur 9:**

Antall tilgjengelige satellitter med 10 grader elevation cutoff.

[www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com)

**Figur 10:**

Antall tilgjengelige satellitter med 30 grader elevation cutoff.

[www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com)

**Figur 11:**

Skyplot med 10grader cutoff.

[www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com)

**Figur 12:**

Skyplot med 30grader cutoff.

[www.gnssplanningonline.com](http://www.gnssplanningonline.com)

**Figur 13:**

Lov om avtagende utbytte. Illustrasjon laget i MatLab.

**Figur 14:**

Illustrasjon av tenkt lokalt system. Kilde: Norgeskart, redigert med GIMP.

**Figur 15:**

Illustrasjon av sinusbølge.

<https://www.chegg.com/homework-help/definitions/sine-wave-2>

**Figur 16:**

Illustrasjon av faseforskjellen mellom utsendt og mottatt signal

<https://theconstructor.org/wp-content/uploads/2016/10/measurement-of-distance-with-edm.jpg>.

**Figur 17:**

(Ghilani, 2018, s. 144)

Standardavvik ved avstands- og vinkelmålinger

**Figur 18:**

Bilde av Vikesland. Startpunkt for befarings.

<https://twitter.com/audhalbritter/status/1123187360475303938/photo/1>

**Figur 19:**

Illustrasjon av punktene ved blokk 4A. Kilde: Gemini Oppmåling.

**Figur 20:**

Deformasjonslinjer ved Furekamben. Foto: Bakgrunn hentet fra Norgeskart, redigert i GIMP.

**Figur 21:**

G04 sin plassering i forhold til blokk 4A. Kilde: Gemini oppmåling

**Figur 22:**

Bilde av stabilt stativ. Foto: Privat.

**Figur 23:**

Eksempel på adapter.

<https://blinken.no/netthandel/oppmaalingsutstyr/prisme-og-roverstenger/tilbehoer-prisme-roverstenger/adapter-ql-til-5-8-25mm/>

**Figur 24:**

Oversiktskart inklusive landsnettpunkt. Kilde: Gemini oppmåling

**Figur 25:**

Landsnettpunkt, fra venstre; FRETHEIM TV, OTTERNES og SKYTEBANEN LOVEN. Foto: Privat.

**Figur 26:**

Illustrasjon av vinkelforskjeller til normalvektoren. Foto: Produsert i GIMP.

**Figur 27:**

Eksempel på feilellipse, avstandsmåling. Foto: Bakgrunn hentet fra Norgeskart, redigert i GIMP

**Figur 28:**

Eksempel på feilellipser, vinkelmålinger. Foto: Bakgrunn hentet fra Norgeskart, redigert i GIMP.

**Figur 29:**

G04 (gul), G20 (blå) og G03 (rød). Bakgrunn hentet fra Kartverket, redigert i Paint.

**Figur 30:**

Skissert oppsett for målinger. Utklipp fra GEOGEBRA.

**Tabell liste:****Tabell 1:**

Estimert standardavvik for punkt for G10 med oppstilling i kjente punkt.

**Tabell 2:**

Estimert standardavvik for punkt G10 med frioppstilling.

**Tabell 3:**

Estimert standardavvik for punkt G20 ved målinger fra punkt G04.