



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
REALTEK

En sammenligning av RTKlib 2.4.2 og Leica Geo Office 8.2

A comparison of RTKlib 2.4.2 and Leica Geo Office 8.2

Kjersti Ensrud
Master Geomatikk

1. Sammendrag

Denne oppgaven sammenligner vektorer målt i 2016 ved statiske GNSS-målinger og prosessert i RTKlib 2.4.2 mot det samme vektornettet prosessert i Leica Geo Office 8.2. Den samme sammenligningen utføres og på vektorer målt i 2017 og 2018. Sammenligningsgrunnlaget er forsøkt å fås likest mulig ved valg av prosesserings-parameter og sletting av float-løsninger i begge vektornettene. Rådataene er målt med GNSS-mottakere men da Leica Geo Office ikke ga fix-løsninger med GLONASS er det kun GPS som er brukt i etterprosesseringen.

Vektorkomponentene til vektorene fra RTKlib 2.4.2 er sammenlignet med vektorkomponentene til vektorene fra Leica Geo Office 8.2. Systematisk avvik i ΔX , ΔY , ΔZ (ECEF) ligger på millimeternivå i alle de tre vektornettene vektorene fra 2016, 2017 og 2018 utgjør. Det samme gjør koordinatdifferansene ΔN , ΔE , ΔH (EUREF89 UTM sone 32). Ved paret t-test med signifikansnivå på 0.05 og 0.01 er det ikke grunnlag til å hevde at gjennomsnittet til RTKlib-koordinatdifferansene er større, mindre eller ulik gjennomsnittet til koordinatdifferansene til Leica Geo Office basert på vektornettene i 2016,2017 og 2018.

Feilkvadratsummene i vektornettene fra RTKlib er mindre enn den er i de fleste av Leica Geo Office vektornettene, og de passerer flere tester av standardavvik på vekstenheten enn hva vektornettene fra Leica Geo Office gjør.

3. Abstract

This master thesis compares vectors measured in 2016 with static GNSS measurements and processed in RTKlib 2.4.2 against the same vectors processed in Leica Geo Office 8.2. The same comparison is carried out on vectors measured in 2017 and 2018. The basis of comparison has been attempted to be obtained as much as possible by choosing parameters and deleting the flow solutions in both vector networks. The raw data is measured with GNSS receivers, but Leica Geo Office did not provide fix solutions with GPS and GLONASS, therefore only GPS is used in the post-processing.

The vector components of the vectors from RTKlib 2.4.2 are compared to the vector components of the vectors of the Leica Geo Office 8.2. Systematic deviation of the difference in ΔX , Y , ΔZ (ECEF) is at the millimeter level in all three vector networks. The same goes for the coordinate differences ΔN , E , ΔH (EUREF89 UTM zone 32). For the paired t-test with significance level of 0.05 and 0.01, there is no reason to assert that the average of the RTKlib coordinate differences is greater, less or different the average of the coordinate differences of Leica Geo Office based on the vector networks in 2016,2017 and 2018

The SSE (Sum of Squares of Errors) in the RTKlib vector grid are smaller than in most of the corresponding Leica Geo Office vector networks.

4. Forord

Med denne oppgaven avslutter jeg mitt femårige studie i geomatikk ved Norges Miljø- og Biovitenskaplige universitet. I den anledning ønsker jeg å takke Ola Øvstedal for god veiledning gjennom arbeidet med denne oppgaven. Vil og rette en takk til mine medstudenter, venner og familie for støtte under denne perioden.

Innhold

1. Sammendrag	3
3. Abstract	4
4. Forord	5
5. Innledning	9
6. Problemstilling	10
7. Tidligere forskning	10
8. Teori.....	11
8.1 GNSS	11
8.1.1 Statisk GNSS.....	11
8.1.1 Antennehøyde og GNSS-fasesenter	14
8.1.2 Antenne-korreksjonsfiler	16
8.1.3 Referanserammen: ITRF.....	17
8.1.4 EUREF89.....	18
8.1.5 IGS (International GNSS Service).....	19
8.1.6 RINEX-filer.....	19
8.1.7 Troposfære- og ionosfæreforsinkelse	20
8.1.8 Landsnett- og Stamnett	20
8.2 Etterprosessering.....	21
8.2.1 Klassisk statistisk metode	21
8.2.2 Kovarians og korrelasjon	22
8.2.3 Standardavvik	23
8.2.4 Normalfordeling	25
8.2.5 KOF-formatet	26
8.2.6 Programvare: Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2.....	28
8.2.7 Programvare: GISLINE	30
8.2.8 Programvare: Matlab R2017a.....	30
8.2.9 Programvare: Sk-trans.....	31
8.2.10 Programvare: Geotimer 1.0	31
8.2.11 Fortran	31
8.3 Kvalitetsmål.....	32

8.3.1	Systematiske avvik	32
8.3.3	Paret T-test.....	33
8.3.4	Utjevning av GNSS vektornett.....	34
8.3.5	Test av feilkvadratsummen (M0-test)	36
8.3.6	Muligheter for feil ved hypotesetesting.....	37
9.	Metode.....	38
9.1	Rådata	38
9.2	Installasjon: RTKLIB.....	41
9.3	Vektorprosessering og håndtering av resultatfiler	42
9.4	Sammenligning: Vektorkomponentene ΔX , ΔY , ΔZ	45
9.5	Sammenligning: Asimut, Lengde, Vertikalvinkel	46
9.6	GISLINE: Fri utjevning.....	46
9.7	GISLINE: Grovfeilsøk og fri utjevning	46
9.8	Paret T-test	47
10.	Resultater	48
10.1	Resultat: Evnen til FIX-løsninger.....	48
10.2	Resultat: Vektorkomponentene ΔX , ΔY , ΔZ (2018)	51
10.3	Resultat: Koordinatdifferansene $\Delta N, \Delta E, \Delta H$ (2018)	53
10.4	Resultat: Vektorkomponentene i $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (2017)	55
10.5	Resultat:Koordinatdifferansene $\Delta N, \Delta E, \Delta H$ (2017)	57
10.6	Resultat: Vektorkomponentene i $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (2016)	59
10.7	Resultat: Koordinatdifferansene i $\Delta N, \Delta E, \Delta H$ (2016)	61
10.8	Resultat: Paret t-test.....	63
10.9	Resultat: Asimut, avstand og vertikalvinkel (2018)	65
10.10	Resultat: Asimut, avstand og vertikalvinkel (2017)	66
10.11	Resultat: Asimut, avstand og vertikalvinkel (2016)	67
10.12	Resultat: Fri utjevning uten grovfeilsøk (2016)	68
10.13	Resultat: Fri utjevning uten grovfeilsøk (2017)	69
10.14	Resultat: Fri utjevning uten grovfeilsøk (2018)	70
10.15	Resultat: Grovfeilsøk i GISLINE (2016).....	71
10.16	Resultat: Grovfeilsøk i GISLINE (2017).....	73
10.17	Resultat: Grovfeilsøk i GISLINE (2018).....	75
11.	Diskusjon.....	77
11.1	Diskusjon: Koordinatdifferansene ΔN , ΔE , ΔH	79

11.2	Diskusjon: Asimut, avstand og vertikalvinkel	80
11.3	Diskusjon: Paret t-test.....	80
11.4	Diskusjon: Fri utjevning uten grovfeilsøk	81
11.5	Diskusjon: Grovfeilsøk og friutjevning	82
11.6	Diskusjon: Brukervennlighet	83
12.	Konklusjon.....	84
13.	Vedlegg	i
13.1	Vedlegg 1: refimport.m	i
13.2	Vedlegg 2: KOF.m.....	iii
13.3	Vedlegg 3: samleKOF.m	vi
13.4	Vedlegg 4: rovimport.m	vii
13.5	Vedlegg 6: Oversikt matlab-koder	ix
13.6	Vedlegg 7: Produksjonsløype.....	x
14.	Illustrasjon- og tabellregister	xi

5. Innledning

Programvare brukt av landmålere og geodeter har lenge vært og er fremdeles beskyttet bak lisenser. Landmålere og geodeters arbeidsoppgaver er blant annet å bestemme posisjonen til punkter på jordoverflaten, etablere fastmerker nye punkter kan refereres til, ha kontroll på hva slags nøyaktighet ulike målemetoder kan gi i beste og verste fall og å kunne si noe om nøyaktigheten til punktene som blir posisjonsbestemt. Noen få av geodetene har ansvar for å utvikle og realisere referanserammer det hele refereres til.

Det kreves en forståelse av fagfeltet geodesi for å utføre landmålerens arbeidsoppgaver. Tidligere har det ikke vært behov for autorisasjon av landmålere, men i 2018 ble dette lovfestet. Posisjonen til et punkt kan bestemmes ved å måle statisk med GNSS-mottakere og å behandle dataene i et etterprosessering-program i etterkant. GNSS-programvare har nå blitt fritt tilgjengelig da det nå finnes programvare på ulike Open-Source-plattformer. Denne oppgaven skal se nærmere på et Open-Source etterprosessering-program for GNSS-data som ligger tilgjengelig på Open-Source-plattformen GITHUB med navnet «RTKlib 2.4.2» og er programmert av Timoiji Takasu.

6. Problemstilling

Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) har de siste årene benyttet seg av det lisens-beskyttede programmet Leica Geo Office 8.2 av Leica Geosystems. Leica Geo Office-programmet 8.2 begynner å bli gammelt og skolen har problemer med lisensene. Denne oppgaven skal ta en nærmere titt på om dette lisens-beskyttede programmet kan erstattes med Open-Source-programmet RTKlib 2.4.2 programmert av Timoiji Takasu.

NMBU har benyttet Leica Geo Office til å beregne vektorer etter klassisk statiske GNSS-målinger. Denne oppgaven blir derfor å ta en nærmere titt på hvor langt unna RTKlib sine resultater ligger Leica Geo Office 8.2 sine.

Studenter ved NMBU har i 2016, 2017 og 2018 målt med statisk GNSS i Ås kommune og omegn. Disse målingene vil prosesseres i de nevnte etterprosesseringsprogrammene parallelt. Resultatene fra hvert av programmene kan dermed sammenlignes.

Studentene ved NMBU utfører utjevning og grovfeilsøk i GISLINE Landmåling. Det finnes egne innebygde rutiner for å overføre resultatene fra Leica Geo Office til GISLINE. Rutiner for overføring av resultatene fra RTKlib 2.4.2 finnes ikke og vil derfor bli utviklet.

7. Tidligere forskning

Nøyaktigheten på resultater fra RTKlib er tidligere blitt undersøkt. B. Wisniewski, K. Bruniecki og M. Moszynski fra Gdansk University of Technology i Polen har publisert en artikkel som tar for seg en evaluering av RTKlib sin posisjonsnøyaktighet ved bruk av billige GNSS mottakere og ASG-EUPOS (B. Wisniewski et al., 2013). Artikkelen sammenligner ulike posisjoningsmetoder i RTKlib (ibid). Dataene som ble evaluert ble samlet inn med en u-blox LEA-6T GNSS modul, en antenne som ansees som billig men samtidig kan oppnå posisjonsnøyaktighet på cm-nivå (ibid). De konkluderte med at RTKlib oppnådde presisjon på centimeternivå ved statisk posisjonering (ibid.)

8. Teori

8.1 GNSS

8.1.1 Statisk GNSS

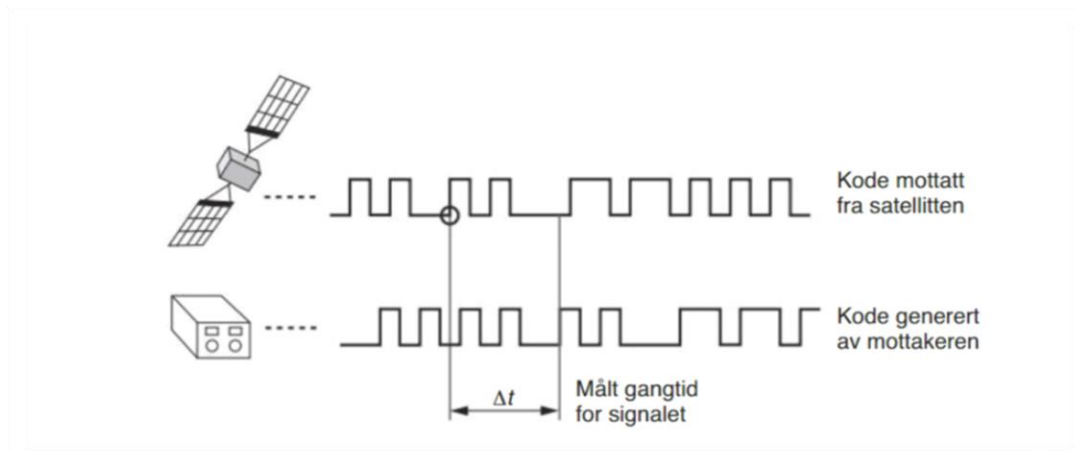
For å utføre statiske GNSS-målinger stilles en GNSS-antenne opp på et stativ over punktet på jordoverflaten og kobles til en mottaker. Den nevnte antennen tar inn radiosignaler fra de to ledende satellittsystemene GPS og GLONASS. Nyere antenner kan ta inn radiosignaler fra andre mindre kjente satellittsystemer.

Både GPS og GLONASS sine satellitter sender ut frekvenser kalt L1 og L2. I GPS systemet er L1-frekvensen på 1575.42 MHz og L2-frekvensen på 1227.60 MHz (B.Forssell, 2019a). I GLONASS-systemet er frekvensene satt noe høyere, L1-frekvensen er satt til 1598.06 MHz og L2-frekvensen er satt til 1242.94 MHz (B.Forssell, 2019b). Det har i senere til kommet til flere frekvenser, blant annet L5-frekvensen.

Ved måling med statisk GNSS er observasjonene tidsavlesninger. Det er plassert en klokke i satellitten og en i mottakeren som er koblet til antennen. Ved å multiplisere signalhastigheten med tiden det tok signalet fra satellitt til mottakerantennen beregnes avstanden mellom satellitt og mottakerantennen.

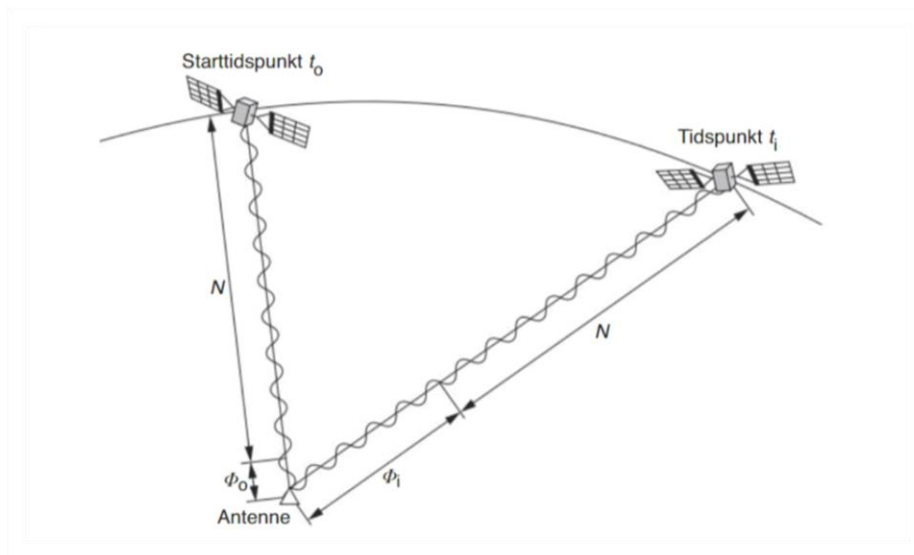
Tidspunktet signalet ble sendt ut fra satellitten finner man i satellittens navigasjonsmelding som blir sendt sammen med signalet. Denne inneholder posisjonen til satellittene ved gitt tidspunkt og bane-parameter. Tidspunktet signalet når antennen registreres av mottakeren. Dette tidspunktet kan vi finne ved at satellittsignalene består av et kode- og et fasesignal. Koden modelleres på et av satellittens signaler mens fasen leses direkte av på signalets bærebølge. Velger man å måle på koden benytter man seg av at det er den samme koden som modelleres på satellittsignalet som genereres i mottakeren.

De to sekvensene av koden forskyves trinnvis i fase til maksimal korrelasjon er oppnådd (G. Seeber, 2003).



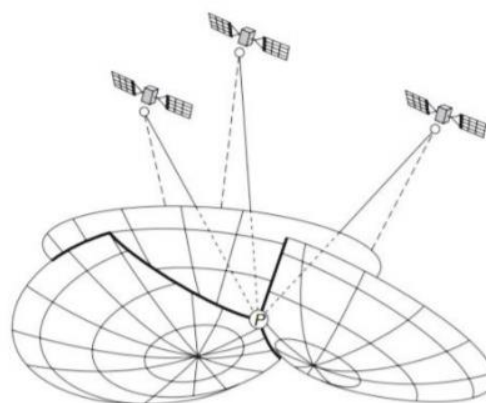
Illustrasjon 1 viser et kodesignal sendt fra en satellitt og tilsvarende kode generert i mottaker. Δt kalles gangtid og er tiden det tok signalet fra satellitt til mottaker. Figuren illustrerer oppnådd maksimal korrelasjon etter trinnvis forskyvning av koden. Bildet er hentet fra: T.Skogseth og D.Nordberg (2014)

Mottakeren genererer en referansefrekvens. Velger man å måle ved hjelp av fasen leser man av fasen på satellittsignalet og referansefrekvensen sin bæreølge når satellittsignalet når mottakeren. Observasjonen ved denne metoden er differansen mellom disse to fasene, kalt faseforskjell. For å finne avstanden mellom satellitt og antenne må man multiplisere faseforskjellen med bølgelengden og legge til og multiplisere med bølgelengden det ukjente antallet hele bølgelengder avstanden mellom satellitten og mottakerantenna utgjør, kalt N . Heltallet N kan bestemmes ved å måle i et visst tidsrom slik at det forekommer en geometriendring.



Illustrasjon 2 viser en satellitt ved tidspunkt t_0 og t_i . Figuren illustrerer fasemåling hvor faseforskjellen mellom fasemålingene ϕ_0 og ϕ_i . N er det ukjente antallet hele bølgelengder avstanden mellom satellitten og mottakerantenna ved ulike tidspunkt utgjør. Bildet er hentet fra: (T.Skogseth & D.Nordberg, 2014)

Hvis man har 3 slike avstandsmålinger eller fler, enten fra kodemåling eller fasemåling, og posisjonen til satellittene er kjent, vil man kunne bestemme posisjonen til mottakerantennen (X_m , Y_m , Z_m) ved hjelp av et skjæringspunkt avstandene fra satellittene danner.



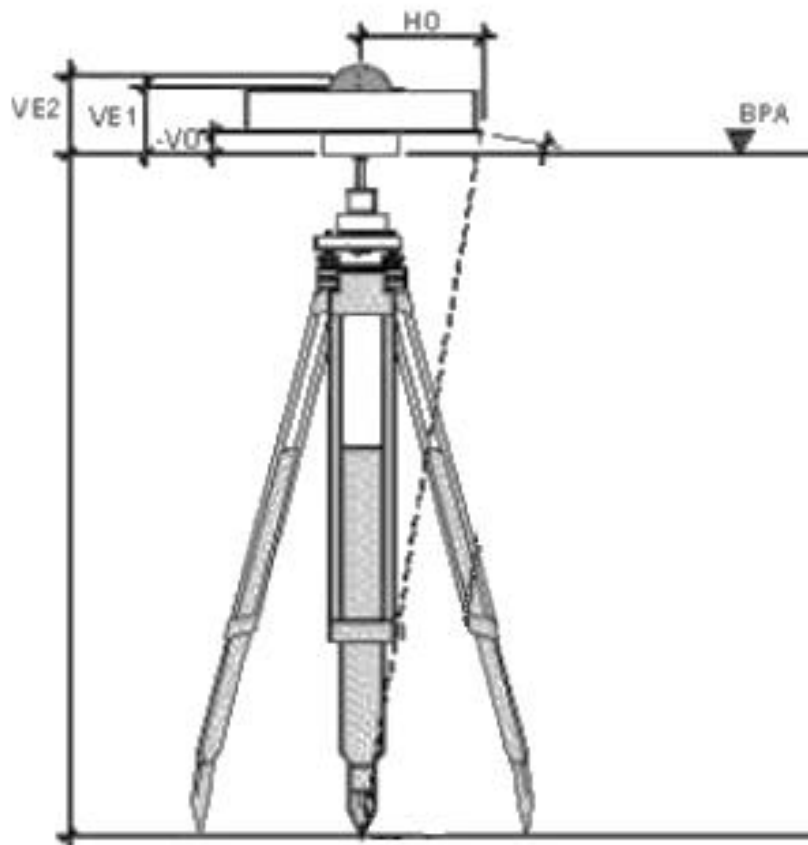
Illustrasjon 3 viser konseptet av posisjonsbestemmelse med 3 satellitter og skjæringspunktet avstandene fra satellittene danner i punktet P da mottakerantenna står sentrert over dette punktet. Bildet er hentet fra: (T.Skogseth & D.Nordberg, 2014)

8.1.1 Antennehøyde og GNSS-fasesenter

Antennehøyde er høydeforskjellen mellom antennens geometriske senterpunkt og punktet det ønskes å måle (på jordoverflaten). Antennens geometriske senterpunkt er markert på antennens sidekant. Antennehøyden kan dermed finnes ved å måle på skrå fra punktet på bakken opp til antennens sidekantmerke med et målebånd. Pythagoras formel benyttes deretter for å få vertikal antennehøyde.

Ola Øvstedal, førsteamanuensis for fakultet for realfag og teknologi i Geomatikk ved NMBU opplyste meg om at GNSS-målinger er referert til et antennefasesenter. Antennefasesenteret er ikke konstant og avhenger av vinkelen radiosignalet fra satellitten kommer inn. Antenne-fasesenteret samsvarer derfor ikke med antennens geometriske senterpunkt. For å finne antenne-fasesenteret til L1 starter man med å finne antennehøyden fra punktet på bakken og opp til det geometriske senterpunktet til antennen. Deretter legges den vertikale fasesenter-eksentrisiteten for L1 til. Samme metode brukes for å finne antenne-fasesenteret til L2.

Fasesenterets vertikale offset og L1 og L2 sine eksentrisiteter ligger tilgjengelig på IGS (International GNSS Service) sine nettsider i form av en antenne-korreksjonsfil.



Illustrasjon 4 viser oppstilt antenne på stativ for GNSS-målinger. Hvor VE1 og VE2 illustrerer eksentrisiteten til frekvensene L1 og L2. H0 er antenneradius. Den stiplede linjen er skrå antennehøyde fra bolt til merket på antennens sidekant.

8.1.2 Antenne-korreksjonsfiler

Det finnes to typer antennekorreksjoner. Absolutt- og relativ-korreksjon (NGS, 2019). «I en relativ kalibrering er alle antenneoffsetene og fasesenter variasjoner referert til en referanseantenne som vanligvis er gitt null i fasesentervariasjonsverdier» (ibid). Frekvensene L1 og L2 har ulike offset og de er gitt i nord-øst-opp med origo i antennereferansepunktet (ARP) (ibid). Ved absolutt kalibrering «blir antennen som blir testet flyttet ved hjelp av en robot slik at en bestemt satellitts signaler mottas i forskjellige vinkler ved test- og referanseantennen» (ibid). Vinkelforskjellen gjør det mulig å kansellere effekter fra referanseantennen og man sitter igjen med antenneoffset (PCO) og fasesentervariasjoner (PCV) for testantennen (ibid).

Det er etablert to filformater for antennekorreksjoner: ANTEX av IGS Antenna Calibration Working Group i 2003 og ANTINFO av NGS på slutten av 90-tallet (NGS, 2019). ANTINFO-formatet støtter kun relative antennekorreksjoner for GPS frekvensene L1 og L2 (ibid). ANTEX-formatet støtter GNSS og kan dermed håndtere ulike satellittnavigasjonssystemer og deres frekvenser med ulike kalibreringer (ibid).

ANTEX-formatet og filer i ANTINFO-formatet som ender med *.003 inneholder absolutte korreksjoner (NGS, 2019). Filen ant_info.003 inneholder relative kalibreringsverdier funnet av NGS. Mens filer som begynner med ngs* inneholder kalibreringsverdier fra både IGS og NGS (ibid).

For en mer detaljert beskrivelse av filformatene er formatbeskrivelsen til ANTEX tilgjengelig her: <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/216104678-ANTEX-format-description> og til ANTINFO her: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/documents/format.txt>

Ved å ikke benytte seg av antennekalibrering eller å bruke feil antennekalibrering vil følgen kunne være feil på centimeternivå på koordinatene til punktene som blir beregnet (NGS, 2019).

8.1.3 Referanserammen: ITRF

Alle punkt må refereres til en referanseramme. IERS (International Earth Rotation Service) har realisert referanserammer siden 1988 (Kartverket, 2018c). ITRF er en global referanseramme gitt ut av IERS (ibid). Koordinatene i ITRF blir uttrykt i geosentriske koordinater X, Y, Z (ibid). Referanserammen «blir realisert ved at målinger fra permanente GPS-stasjoner over hele jorda blir brukt til å regne ut koordinater i stasjonene. Målinger med VLBI (Very Long Base Interferometry) og SLR (Satellite Laser Ranging) blir og brukt i denne realiseringen (ibid).

På grunn av geofysiske prosesser rører alle punkt på jorda seg i forhold til den globale referanserammen (Kartverket, 2018b). «En global referanseramme må derfor i tillegg til koordinater også gi verdier for tektoniske hastigheter for stasjonen V_x, V_y, V_z » (ibid). Dette fører til at «forskjellen mellom de ulike ITRF-realiseringene ligger i centimeterområdet» (Kartverket, 2018b). Det har derfor blitt realisert ITRF referanserammer i følgende år 1994, 1996, 1997, 2000, 2005, 2008 og 2014. Referanserammene navngis med ITRF med påfølgende år de ble realisert, for eksempel ITRF2014. ITRF2014 er pr 15.05.2019 nyeste ITRF referanseramme.

8.1.4 EUREF89

Euref89 er et geodetisk datum for Europa. I Euref89 er koordinatene låst fast til slik de var i 1989. Det er koordinatene til fastmerkene som realiserer datumet. I perioden 1994-1997 ble det utført nye målinger i og beregninger med disse fastmerkene. 1997 innførte Kartverket Euref89 som det nye offentlige nasjonale geodetiske datum (T.Skogseth & D.Nordberg, 2014). EUREF89 UTM er det offisielle koordinatsystemet i Norge.

UTM (Universal Transverse Mercator)

Er et globalt kartprojeksjon-system hvor det er benyttet en liggende sylinder ved projeksjonen av jorda. Projeksjonen består av 60 soner som dekker jorda med en sonebredde på 6 lengdegrader. Origo og øst-aksen ligger i ekvatorplanet.

UTM-projeksjonen har en målestokkfaktor på 0.9996 i sentralmeridianen. Dette innebærer at en avstand målt i terrenget må korrigeres med inntil 400 ppm eller 4cm/100 meter, avhengig av avstand fra sentralmeridianen for å omregnes til en avstand i kartplanet (Kartverket, 2019)

8.1.5 IGS (International GNSS Service)

IGS er en frivillig sammenslutning av over 200 bedrifter, universiteter og forskningsinstitusjoner i over 100 land (IGS, 2019). IGS drifter et globalt nettverk av GNSS bakkestasjoner, datasenter og analysesentre for å tilby data og programmer som er essensielle for forskning innenfor geodesi (ibid). Dataene som tilbys er GNSS satellitt efemerider, jordrotasjon parameter, satellitt- og mottaker klokkeinformasjon, zenit troposfæreforsinkelse-estimer og globale ionosfære modeller (ibid). IGS bidrar med sine bakkestasjoner til utvikling av ITRF (ibid).

8.1.6 RINEX-filer

IGS (International GNSS Service) har utviklet RINEX-formatet. Formatet finnes i seks ulike versjoner: 2.10, 2.11, 3.01, 3.02, 3.03 og 3.04. Versjon 2.10 inneholder GPS og GLONASS observasjoner, metrologiske data og en navigasjonsfil med posisjonen til satellittene ved gitt tidspunkt og baneparametre. For hver nye versjon støtter RINEX-formatet flere frekvenser og GNSS-systemer. Den siste versjonen pr dags dato (3.04.2019) støtter alle tilgjengelige signaler fra GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS og IRNSS til sammenligning.

RINEX-formatet bruker «filnavnstrukturen «ssss.ddd.f.yyt» hvor de fire første bokstavene (ssss) skal informere om hvor det er målt for eksempel punktnavn, de tre neste (ddd) er dagen i året, og den åttende bokstaven (f) er målesesjon indikator» (B.Hofmann-Wellenhof et al., 2008). De to nest siste bokstavene (yy) skal erstattes med året det er målt med to sifre. Den siste bokstaven (t) er enten O eller N og definerer filtypen (ibid).

8.1.7 Troposfære- og ionosfæreforsinkelse

Atmosfæren forårsaker forsinkelse på signalet fra satellitt til GNSS-mottaker.

Den øverste delen av atmosfæren kalles ionosfæren, i denne delen finnes det frie elektroner og ioner som påvirker hastigheten på satellittsignalene (B.Forssell, 2013). Dette får konsekvenser for posisjonsbestemmelsen da utgangspunktet for bestemmelsen er tidsforskjellen mellom utsendt og mottatt signal (ibid).

Ionosfærisk forsinkelse varierer med breddegrad, årstid, tid på døgnet og med solas 11-årige syklus. Ionosfærisk forsinkelse gir normalt feil i avstandsberegningen på 5-15m (ibid). Forsinkelsen kan korrigeres for ved flerfrekvente målinger eller med en empirisk ionosfæremodell (ibid).

Den nederste delen av atmosfæren, troposfæren, hvor skyer og de fleste værphenomener foregår forårsaker og en forsinkelse. «For å beregne [denne] forsinkelsen må refraksjonsindeksen til troposfæren være kjent. Det finnes ulike modeller basert på informasjon om trykk, temperatur og fuktighet relativt til bakkestasjonen som gjør det mulig å beregne forsinkelsen.» (Leica).

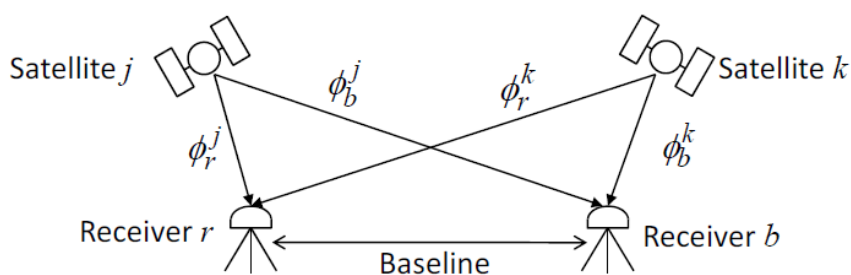
8.1.8 Landsnett- og Stamnett

Landsnettet og Stamnettet til kartverket er fastmerker markert ute i terrenget med metallbolter (som regel i fast fjell) (Kartverket (2018a)). Fastmerkene er etablert av Kartverket ved statisk GNSS (ibid). «I alle stamnett- og landsnettpunkt er det regna ut ortometrisk og ellipsoidisk høyde. Den ellipsoidiske høyden er referert til EUREF89, mens den ortometriske [var] referert til høydegrunnlaget NN1954» (ibid). Landsnett og Stamnettet består av totalt 12000 punkt (ibid). 1.januar 2019 oppdaterte Kartverket koordinatene til Landsnett og Stamnettet slik at den ortometriske høyden ble referert til det nye høydegrunnlaget NN2000 (Kartverket, 2018b). Bruksområdet til Landsnett og Stamnett er for «alle formål der det er høye nøyaktighetskrav» (Georange (2019)).

8.2 Etterprosessering

8.2.1 Klassisk statistisk metode

Ved klassisk statistisk metode for GNSS-målinger måles det samtidig med to GNSS-mottakere i hvert sitt punkt. Avstanden mellom de to mottakerne bør ikke overskride 50 km. Måletiden bør være over ca 20 min. Målingene logges internt i hver av mottakerne. Vektoren mellom mottakerne bestemmes i ettertid i et beregningsprogram. Nøyaktighetspotensialet i grunnriss ved denne metoden er 5mm + 1ppm (Kartverket, 2009).



Illustrasjon 5 viser oppsettet ved klassisk statistisk målemetode. Hvor ϕ er fasemålinger fra satellittene målt i mottaker.

Gitt punktene $A(x_1, y_1, z_1)$ og $B(x_2, y_2, z_2)$ er (S.Aanensen & O.Kristensen, 2018):

$$\overrightarrow{AB} = [x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1] \quad (1)$$

8.2.2 Kovarians og korrelasjon

Varians er et mål på hvor mye en enkelt variabel varierer. Kovarians er et mål på den lineære avhengigheten mellom to varierende størrelser. Kovariansen beregnes med formelen under hvor X og Y er variablene, \bar{X} og \bar{Y} er gjennomsnittet av variablene, og n er antall variabelpar.

$$COV(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1} \quad (2)$$

Korrelasjon er et mål for å finne ut om det er lineær samvariasjon mellom to størrelser (K.Frøslie, 2018). Korrelasjon blir ofte uttrykt ved hjelp av en korrelasjonskoeffisient (ibid). Korrelasjonskoeffisienten er et tall mellom -1 og 1 og beskriver styrken av korrelasjonen (ibid). Et positivt tall betyr positiv korrelasjon og et negativt tall betyr negativ korrelasjon (ibid). Positiv korrelasjon betyr at hvis den ene størrelsen har høye verdier vil ofte den andre størrelsen også ha det (ibid). Negativ korrelasjon er når den ene størrelsen har høye verdier mens den andre har lave verdier i forhold til den andre (ibid). Jo nærmere 1 eller -1 tallet er, jo sterkere er sammenhengen mellom de to størrelsene. Størrelsene er uavhengige hvis tallet er 0 eller nær 0 (ibid).

Korrelasjonskoeffisienten kan beregnes med formelen (Løvås, 2013)

$$r_{xy} = \frac{cov(X, Y)}{\sqrt{\sigma_x \sigma_y}} \quad (3)$$

Hvor $COV(X, Y)$ er kovariansen til størrelsene X og Y . σ_x er standardavviket til størrelse X . σ_y er standardavviket til størrelse Y .

8.2.3 Standardavvik

Standardavvik beskriver et typisk avvik fra gjennomsnittverdien.

Utgangspunktet for å finne et standardavvik er å se på hvor mye hver enkelt observasjon avviker i forhold til gjennomsnittet (Løvås, 2013). Standardavvik defineres som kvadratroten av variansen (ibid). Formel 4 gir empirisk varians som er et mål på variasjonen i et utvalg fra en statistisk fordeling. Den empiriske variansen s^2 er et estimat av den teoretiske variansen σ^2 (ibid).

$$\text{Empirisk varians} = s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

Hvor x_i er hver av observasjonene, n er antall observasjoner og \bar{x} er gjennomsnitt av observasjonene.

Standardavvikene i RTKlib resultatfil

I RTKlib resultat-fil ligger base- og rover koordinater. I tillegg ligger roverkoordinatenes standardavvik. Standardavviket s_x er standardavviket til X-koordinaten til roveren, s_y er standardavviket til Y-koordinaten til roveren og s_z er standardavviket til Z-koordinaten til roveren. I resultatfilen finner man og s_{dxy} , s_{dyz} og s_{dzx} . Den absolutte verdien av s_{dxy} , s_{dyz} eller s_{dzx} betyr kvadratroten av absoluttverdien til XY, YZ eller ZX-komponenten i den estimerte kovariansmatrisen (T.Takasu, 2013). Fortegnet foran s_{dxy} , s_{dyz} og s_{dzx} er fortegnet til kovariansen. Med alle verdiene kan brukeren rekonstruere hele kovariansmatrisen (ibid). ¹

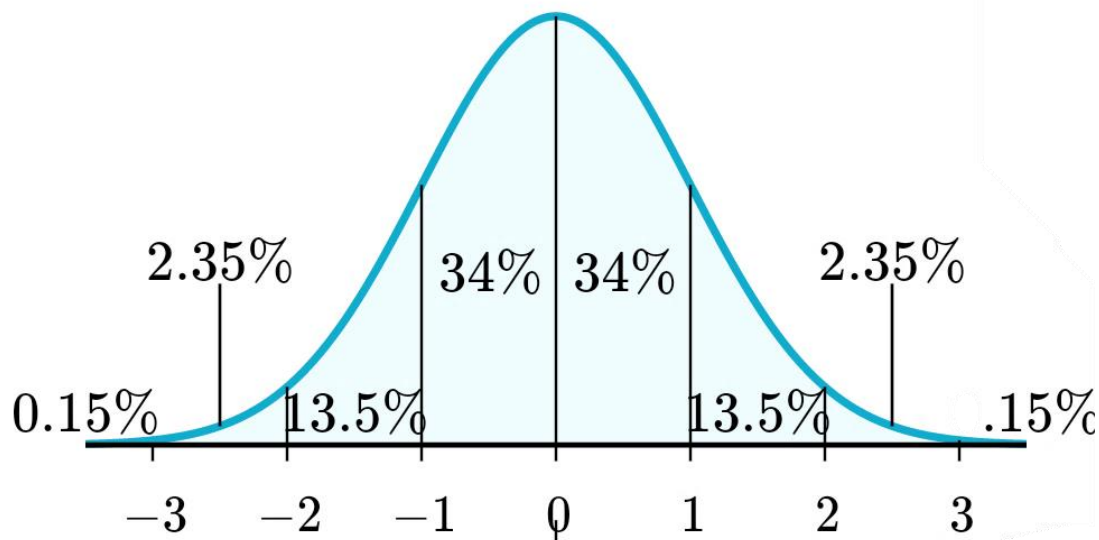
¹ Oppdaget programmeringsfeil. Har feilaktig kvadrert kovariansmatrisene. Dette medfører at kovariansmatrisene har blitt for små og at alle kovariansene har fått positivt fortegn. Resultatet av dette er at observasjonene i GISLINE er blitt tildelt for små og kun positive korrelasjoner.

8.2.4 Normalfordeling

En variabel X er normalfordelt med en forventningsverdi μ og standardavvik σ hvis sannsynlighetstettheten er lik (Løvås, 2013)

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

Ut fra formel 5 ser man at en normalfordeling krever to parameter, gjennomsnittet μ for plassering og standardavviket σ for skalering (MathWorks). Arealet under normalfordelingskurven finner man ved integrering og gir sannsynligheten for verdiene innenfor gitt intervall i integreringen (ibid). Illustrasjon 6 viser ferdig integrerte sannsynligheter for ulike intervaller som tilsvarer ett, to eller 3 standardavvik i en standard normalfordeling med gjennomsnitt lik 0 og standardavvik lik 1.



Illustrasjon 6 viser ferdig integrerte sannsynligheter for ulike intervaller i en standard normalfordeling med gjennomsnitt lik 0 og standardavvik lik 1. 68 % av dataene faller innenfor 1 standardavvik fra gjennomsnittet, 95 % av dataene faller innenfor 2 standardavvik fra gjennomsnittet og 99.7% av dataene faller innenfor 3 standardavvik fra gjennomsnittet.

8.2.5 KOF-formatet

KOF-formatet er et felles Koordinat- og Observasjonsformat utviklet av NORKART. Fila er en sekvensiell Ascii-fil. KOF-formatet har en formatbeskrivelse som forteller at: Hver linje kan ha 80 kolonner, kolonne 1 i hver linje settes blank eller med et minustegn, minus i kolonne 1 angir at linja er satt ut av funksjon, kolonne 2 og 3 er heltall som angir type datablokk for eksempel 00, 01, 02, 03, 04, 05. Hver datablokk har ulik formatering.

Under vises en oversikt over betydningen av tegnene i formatbeskrivelsen. Programmeringsspråket som er brukt i formatbeskrivelsen er Fortran.

^	= ett mellomrom
An	= alfanumerisk felt, der n = antall tegn
In	= heltall felt, der n = antall siffer
Fn.m	= realfelt der n = antall siffer og m = antall desimaler
Xn	= mellomrom, der n = antall mellomrom

For måling med statisk GNSS brukes datablokk-typene 41, 42, 43, 44 og 45.

Datablokk 41 kalles Stasjonsblokk for 1.mottakerpunkt (Basispunkt).

Formatbeskrivelsen til datablokk 41 ser slik ut:

```
      DB      Spkt      Sk      Nr      Ih      Bk      Merk
      ^  I2   ^  A10   ^  A8   ^  I8   X31   F6.3   ^  I2   ^  A7
```

Den inneholder datablokk-nummer, stasjonskode, nummer på satellitmottager, instrumenthøyde, beregningskode og merknad.

Datablokk 42 inneholder i tillegg til basepunktets kode basispunktets jordsentriske koordinater (X, Y, Z).

```

      DB      Spkt      Sk      X          Y          Z          Ih      Bk      Merk
^   I2      ^ A10      ^ A8      ^ F12.4    ^ F12.4    ^ F12.4    ^ F6.3    ^ I2      ^ A7

```

Datablokk 43 inneholder vektoren uttrykt som differanse i jordsentriske koordinater.

```

      DB      Spkt      Sk      dX          dY          dZ          Ih      Bk      Merk
^   I2      ^ A10      ^ A8      ^ F12.4    ^ F12.4    ^ F12.4    ^ F6.3    ^ I2      ^ A7

```

I datablokk 44 finner vi standardavvik (også kalt middelfeil) og korrelasjoner til vektoren som er beskrevet i datablokk 43.

```

      DB      Mx      My      Mz      Rxx      Rxy      Rxz      Ryy      Ryz      Rzz      Merk
^   I2      ^ F8.4    ^ F8.4    ^ F8.4    ^ F7.4    ^ F7.4    ^ F7.4    ^ F7.4    ^ F7.4    ^ F7.4    ^ A7

```

Under vises som et eksempel vektoren fra basepunkt T836 til roverpunkt T827 i KOF-format.

41	T836				21					0.000
42	T836			3173286.1721	605742.7037	5481205.6408				0.000
43	T827			-291.8397	-3654.1885	520.9368				0.000
44		0.0003	0.0002	0.0006	1.0000	0.0000	-0.0001	1.0000	0.0002	1.0000

Illustrasjon 7 viser et eksempel på KOF-fil produsert ved hjelp av matlab-koden «KOF.m».

8.2.6 Programvare: Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2

Leica Geo Office 8.2 er et etterprosessering-program utviklet av Leica Geosystems. RTKlib 2.4.2 er et Open Source etterprosessering-program utviklet av Timoiji Takasu. Programmet RTKlib 2.4.2 er kodet i ANSI C (C89).

Programpakken inneholder flere applikasjonsprogrammer (AP) som tar i bruk programbiblioteket og gir koden et brukergrensesnitt med inputfelt og knapper som kjører kodene. RTKlib støtter i likhet med Leica Geo Office ulike posisjonsmetoder med GNSS både i sanntid og ved etterprosessering.

GUI og CUI AP 'sene krever Microsoft Windows. På andre OS eller andre operativsystem må man selv bygge CUI Aps. Alle bibliotekfunksjonene og API'ene er skrevet i ANSI C (C89). Biblioteket bruker winsock og WIN32 med Windows og pthread for Linux.

RTKlib programpakken er gitt ut med en BSD 2-clause lisens med to tilleggskrav:

“THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.” (<https://opensource.org/licenses/BSD-2-Clause>)

Tabell 1 på neste side viser kortfattet egenskapene til de to etterprosessering-programmene som er relevante for denne problemstillingen.

Tabell 1 viser en kortfattet oversikt hvilken lisenstype programmet faller under, satellittsystemer som støttes, tilgjengelige efemerider, formater som støttes, prosesseringsmetoder, korreksjoner, datum og systemkrav for RTKlib 2.4.2 og Leica Geo Office 8.2 har.

	RTKLIB 2.4.2	LEICA GEO OFFICE 8.2
Lisenstype	Open Source: BSD 2-clause license	Betalt nettverksslisens
Satellittsystemer som støttes	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS	GPS
Efemerider	Presise, kringkastede	Presise, kringkastede
Formater som støttes	RINEX 2.10,2.11,2.12, RINEX 3.00,3.01,3.02 CLK, SP3, IONEX, SBS, EMS, ANTEX	RINEX, SP3, NGS
GNSS-data prosessering	Enfrekvent (L1) Tofrekvent (L1 + L2) Flerfrekvent (L1 + L2 + L5)	Enfrekvent (L1) Tofrekvent (L1 + L2)
	Single, Statisk, PPP-Statisk, PPP-Fixed.	SPP-Statisk, PPP-statisk, SPP- Kinematisk, PPP-kinematisk
Ionosfærekorreksjon	Broadcast, SBAS, Iono-Free LC, Estimate STEC, IONEX TEC, QZSS Broadcast, QZSS LEX	«Computed model», «Klobuchar», «standard», «no model» og en global/regional modell
Troposfærekorreksjon	Saastamoinen, SBAS, Estimert ZTD, Estimert ZTD+Grad, OFF	Hopfield, Simplified Hopfield, Saastamoinen, Essen and Froome, No troposphere og Computed.
Geoider	Ekstern fil kan lastes inn	Ekstern fil kan lastes inn
Datum	WGS84	WGS84 + verktøy for å bestemme transformasjonsparametre
Export	POS, KML, KMZ .pos	RINEX, ASCII, GIS/CAD .pdf-rapport
Systemkrav	Microsoft© Windows™ (64bit)	512 MB RAM, Microsoft© Windows™ 7, XP eller Vista

I følge (Leica) vil «de forskjellige [ionosfære]-modellene føre til forskjeller på et par millimeter i resultatene». Standardinnstillingen i programmet er at ionosfæremodell velges automatisk. «LGO velger en modell ut ifra lengde på målesesjonen. For observasjonstider på lenger enn 45 min på referansemottakeren vil en egen ionosfæremodell bli beregnet. Ved kortere observasjonstider vil Klobuchar modell bli brukt. Hvis ingen almanakkdata er tilgjengelig vil No Model bli brukt for observasjonstider under 45 min.»(Leica). Brukes standardinnstillingene beregnes roverkoordinatene ved hjelp av kringkastede efemerider som, hopfield troposfæremodell og automatisk ionosfæremodell.

8.2.7 Programvare: GISLINE

GISLINE er et geografisk informasjonssystem utviklet av NORKART. I programpakken ligger GISLINE Landmåling. I følge NORKART (2019) er GISLINE landmåling «et verktøy for datainnsamling, redigering, beregning/utjevning, pålitelighetsanalyse og dokumentasjon av alle typer landmålingsdata. Landmålingsprogrammet har nødvendig funksjonalitet for å dokumentere tilfredsstillende resultater på målingene dine, og at de oppfyller krav i standarder og forskrifter knyttet til eiendoms-landmåling og grunnlagsnett».

8.2.8 Programvare: Matlab R2017a

«MATLAB® er en programmeringsplattform og programmeringsspråk som er spesielt designet for forskere og ingeniører» MathWorks (2019).

Programmeringsspråket er spesielt egnet til matematiske beregninger da det er matrisebasert (ibid). Med MATLAB kan du analysere data, utvikle algoritmer, lage modeller og applikasjoner (ibid).

8.2.9 Programvare: Sk-trans

Kartverket (2018d) har utviklet transformasjonsprogrammet Sk-trans. Programmet kan «regne om koordinater mellom de ulike offisielle referanserammene EUREF89, ITRF, NGO1948 og ED50» (ibid). «Programmet kan også konvertere mellom plane, geografiske og jordsentriske koordinater. Dette omfatter også konvertering til og fra bygg- og anleggsprosjeksjonen EUREF89 NTM.» (ibid).

8.2.10 Programvare: Geotimer 1.0

Geotimer 1.0 er et program som konverterer mellom tidssystemer. Puttes et tidspunkt i det gregorianske tids-system inn i programmet gir programmet tidspunktet informasjon om hvilken dag og uke av året det er i det gregorianske tids-system samt i GPS-tidssystem og «Modified Julian Date». Programmet gir og hvor lenge det er siden tidspunktet som er skrevet inn i det det blir skrevet inn. Programmet er laget av Dr. Mathes.Fortran.

8.2.11 Fortran

Fortran er et programmeringsspråk som ble utviklet i 1954 for datamaskinen IBM 704 J.Backus et al. (1957). Notasjon fra Fortran brukes i KOF-formatet.

8.3 Kvalitetsmål

8.3.1 Systematiske avvik

Systematiske avvik beregnes etter formel 6 (Kartverket, 2015):

$$a = \frac{\sum \epsilon}{n} \quad (6)$$

hvor a er systematisk avvik, ϵ er et enkeltavvik som vil si verdi fra datasettet minus verdi fra kontrollen. Enkeltavvikene skal oppgis med fortegn. n er antall enkeltavvik.

Systematisk punktavvik i grunnriss beregnes med formel 7 (Kartverket, 2015)

$$a_p = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (7)$$

Hvor a_x er ut fra formel 6 blir formel 8. Tilsvarende for X og Z koordinatene

$$a_x = \frac{\sum \epsilon_x}{n_x} \quad (8)$$

Tredimensjonalt systematisk punktavvik beregnes som formel 9

$$a_{3D} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (9)$$

8.3.3 Paret T-test

En paret T-test krever at observasjonene kan danne par (X_i, Y_i) (Løvås, 2013). Hvor hver av observasjonene er fra to ulike grupper (ibid). X_i og Y_i i samme par kan være avhengige av hverandre (ibid). Y_i har forventning μ_Y mens X_i har forventning μ_X .

Differansen mellom observasjonsverdiene i par nummer i kalles $D_i = X_i - Y_i$. Testen krever følgende antagelser: Hvert observasjonspar må være statistisk uavhengige av de andre parene. Da vil alle D_i være uavhengige av hverandre og de antas å være normalfordelte med forventning μ_d og standardavvik σ_d .

Hensikten med hypotesetesten er å undersøke om det er en forskjell på de to gruppegjennomsnittene. Dette gjøres ved hjelp av test-observatoren T i likning 10.

$$T = \frac{\bar{D}}{S_D/\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (11)$$

$$S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2 \quad (12)$$

Et $100(1-\alpha)\%$ konfidensintervall for μ_d er gitt ved formel 13. Hvor $t_{\alpha/2}$ og t_α har $n-1$ frihetsgrader. Hvor n er antall observasjonspar.

$$\left[\bar{D} - t_{\alpha/2} \cdot \frac{S_D}{\sqrt{n}}, \bar{D} + t_{\alpha/2} \cdot \frac{S_D}{\sqrt{n}} \right] \quad (13)$$

Tabell 2 viser hypotesetestene og tilhørende forkastningskrav for nullhypotesen i paret T-test.

	H0	H1	Forkast H0 hvis
Alternativ 1	$\mu_1 \leq \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$	$ T > t_\alpha$
Alternativ 2	$\mu_1 \geq \mu_2$	$\mu_1 < \mu_2$	$T < -t_\alpha$
Alternativ 3	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$	$ T > t_{\alpha/2}$

8.3.4 Utjevning av GNSS vektornett

Ved måling av minst fire satellitter samtidig med to mottakere ender man opp med et ligningssystem med overflødige ligninger (C.Ghilani, 2010). Vektornett fra GNSS målinger må derfor justeres for at alle koordinatforskjeller skal bli konsistente i nettet. Dette gjøres ved hjelp av minstekvadraters metode (ibid). Prinsippet for denne metoden er å minimere feilkvadratsummen (ibid).

Utjevningen med MKM begynner med å beskrive geometrien til vektornettet (C.Ghilani, 2010). Det blir satt opp observasjonslikninger for hver enkelt vektor (ibid). I GISLINE Landmåling blir alle observasjoner transformert til asimut, avstand og vertikalvinkel før utjevningen blir kjørt. Dette er for å kunne kjøre utjevning separat i grunnriss og høyde.

Observasjonslikningene blir satt opp etter formel 14

$$Ax = l + v \quad (14)$$

hvor A er designmatrise, x er en vektor med de ukjente, l er observasjonsforskjellene, og v er en vektor som inneholder residualer for hver observasjon. Deretter blir residuallikningene satt opp etter formel 15 som kun er en omskriving av formel 14 (C.Ghilani, 2010).

$$v = Ax - l \quad (15)$$

En normalmatrise blir laget med formel 16 for å kunne sette opp normallikningene etter formel 17 (C.Ghilani, 2010).

$$N = A^T A \quad (16)$$

$$Nx = A^T l \quad (17)$$

Med vektete observasjoner blir normalmatrisen og normallikningene seende slik ut:

$$N = A^T W A \quad (18)$$

$$N x = A^T W l \quad (19)$$

Hvor W er en vektmatrise.

Ved å løse normallikningene med formel 20 ender man opp med et estimat på de ukjente.

$$x = N^{-1} A^T l \quad (20)$$

Med vektete observasjoner blir løsningen

$$x = N^{-1} A^T W l \quad (21)$$

Det finnes to typer utjevning, tvungen og fri. Ved tvungen utjevning blir koordinater til punkter markert som kjentpunkt holdt fast mens resten av punktene betraktes som ukjente og får nye koordinater etter utjevningen. Ved fri utjevning vil alle punkt betraktes som ukjente og programmet holder fast akkurat nok punkter for å få bestemt utjevningen.

8.3.5 Test av feilkvadratsummen (M0-test)

Feilkvadratsum er definert til å være «summen av hver målings vekt multiplisert med kvadratet av utjevningskorreksjonen ($=\sum pvv$)» i GISLINE Landmåling.

Feilkvadratsummen testes med hypotesene

$$H_0: m_0^2 = \bar{m}_0^2$$

$$H_1: m_0^2 \neq \bar{m}_0^2$$

hvor nullhypotesen påstår at det beregnede standardavviket på vekstenheten er lik det antatte standardavviket. Forkastes nullhypotesen er det en identifikasjon på at noe har gått galt under utjevningen.

Testobservatoren for m0-testen er

$$z = \frac{\sum pvv}{\sigma_0^2} \quad (22)$$

hvis X_1, \dots, X_n er uavhengige og normalfordelte.

Hypotese H0 forkastes hvis

$$X_{(n-e, 1-\alpha/2)}^2 > z > X_{(n-e, \alpha/2)}^2$$

8.3.6 Muligheter for feil ved hypotesetesting

Når man setter opp hypoteser og utfører en test som for eksempel en multippel t-test, parett-test, eller en m0-test finnes det en mulighet for at testens resultat ikke samsvarer med virkeligheten. Feilene man kan gjøre ved hypotesetesting kalles type I- og type II-feil.

Tabell 3 viser en oversikt over to mulige feil som kan gjøres ved hypotesetesting. Type I feil hvor nullhypotesen H_0 blir forkastet når den er riktig, og Type II feil hvor H_0 ikke blir forkastet selv om den er gal.

	H_0 er riktig	H_1 er riktig
Ikke forkast H_0	Riktig konklusjon	Type II-feil
Forkast H_0	Type I-feil	Riktig konklusjon

Det kalles Type I-feil dersom man ender opp med å forkaste nullhypotesen selv om den er riktig. Hvis man ikke forkaster nullhypotesen selv om den er feil gjør man en Type II-feil. Signifikansnivået alpha som blir satt for en test sier hvor stor sannsynlighet man tillater at det kan være for Type-I feil. Et signifikansnivå $\alpha=0.05$ vil si at man godtar en sannsynlighet for Type-I feil lik 5% (Ø.Borgan, 2007).

9. Metode

9.1 Rådata

Rådataene for denne analysen er statiske GNSS-målinger målt av studenter ved NMBU i 2016, 2017 og 2018. Alle punktene er i Ås og omegn. Det er brukt TPSPG_A1 antenner i både referanse- og rover-punkt. Punktene er navngitt ved å forkorte kartverkets stamnett- og landsnettpunktnavn.

Tabell 4 Tabellen viser punktnavnene i brukt i rådataene i første kolonne og navnene Kartverket har gitt punktene i sitt Landsnett og Stamnett i andre kolonne, stedsnavn for området punktet ligger i, og koordinatene N, E og H i Euref89 UTM 32. Høydene er ellipsoidiske. Koordinatene er gitt av Kartverket gjennom Ola Øvstedal

		Stedsnavn	N	E	H
T713	G36T0713	SOLBERGSTRAND	6610374.782	592987.332	46.388
T819	G36T0819	TOVERUD	6609587.311	595617.387	129.540
T303	G36T0303	DELI	6607488.007	598543.368	118.452
T312	G36T0312	KROM	6609423.410	599268.488	122.263
T831	G36T0831	ABBERUD	6612052.132	601002.757	133.393
T223	G36T0223	STØKKEN	6612254.730	598328.393	136.982
T620	G36T0620	HAUGEN	6612246.292	595716.117	134.059
T827	G36T0827	KORSEGÅRDEN	6615189.290	598276.517	125.239
T836	G36T0836	BLÅFJELLET	6614184.336	601838.800	165.602
T850	G36T0850	HOLMÅSEN	6615483.836	592000.042	123.735
T716	G36T0716	ELLE	6612507.654	592293.923	41.777
T817	G36T0817	HAYER	6613705.506	593432.101	130.805
T828	G36T0828	KLOMMESTEIN	6614489.289	594976.569	133.135



Illustrasjon 8 viser vektornettet som ble målt sommer 2016 i Ås kommune og omegn.



Illustrasjon 9 viser vektornettet som ble målt sommer 2017 i Ås kommune og omegn.



Illustrasjon 10 viser vektornettet som ble målt sommer 2018 i Ås kommune og omegn.

9.2 Installasjon: RTKLIB

RTKLIB 2.4.2 installeres fra www.rtklib.com . For en mer detaljert beskrivelse se det digitale vedlegget «MANUAL RTKLIB 2.4.2 for GMGD211» i vedlegg 9.

9.3 Vektorprosessering og håndtering av resultatfiler

Vektorene ble beregnet i Leica Geo Office, eksportert til SKI ASCII Baseline format, og konvertert til KOF ved hjelp av en innebygd funksjon kalt «Tolk satellittvektorer til KOF» i GISLINE. I RTKlib finnes det ingen innebygd funksjon som beregner vektorer og konverterer til KOF. Derfor programmerte jeg et matlab-script for å utføre dette. Programkoden «KOF.m» tar resultat-filene fra RTKlib som input og gir en KOF-fil for hver vektor som output. Resultatene fra RTKlib 2.4.2 RTKpost sin resultat-fil blir lagt inn i NORKART sitt KOF-format ved hjelp av programkoden «KOF.m» (se Vedlegg 2).

Resultat-filene fra RTKlib ble navngitt på en slik måte at filnavnet forteller hvilke punkter vektoren går mellom og hvilket punkt som er rover og hvilket som er base. Filnavnet ble da slik: `dagiåret_rtklib_c_refnavn_rovnavn.pos / 159_rtklib_c_T850_T713.pos`. (Bokstaven c markerer at det er «continous ambiguities» som er brukt). Bokstaven c i filnavnet må ikke fjernes uten å erstattes av en bokstav eller et ord da det vil ødelegge prosessen videre i matlab-scriptene.

Funksjonsfilen «KOF.m» tar inn variabelen «rootPath». Denne variabelen må være stien til mappen man har lagt resultat-filene fra RTKlib i.

For eksempel: `rootPath = 'D:\Desktop\data\vektorer'`

For å kjøre funksjonsfilen «KOF.m» må man åpne et nytt skript i matlab og skrive inn:

```
rootPath = 'D:\Desktop\data\vektorer';
KOF(rootPath);
```

NB! Viktig at «KOF.m» ligger i samme mappe som det nye skriptet disse to linjene ble skrevet inn i.

Variabelen `rootPath` blir da tatt inn i funksjonen «`dirPlus.m`» programmert av Kenneth P. Eaton. Programkoden «`dirPlus.m`» henter ut alle filnavn med «.pos» i

seg og legger det i strings i en variabel kalt filnavn. Ved hjelp av denne listen med filnavn går koden igjennom de neste stegene for hver av resultat-filene.

Base- og roverkoordinatene hentes ut ved hjelp av refimport og rovimport som er to skript som ble auto-genererte ved hjelp av matlab (Vedlegg 1 og 4).

Basekoordinatene plasseres senere i datablokk 42. Videre finner koden vektorkomponentene dX, dY og dZ og plasserer dem senere i datablokk 43.

Matlab-koden «rovimport.m» henter ikke kun ut roverkoordinatene men og dens tilhørende standardavvik sx,sy,sz,sdxy,sdyz,sdxz. Disse plasseres senere i datablokk 44.

Basenavn og rovernavn hentes ut for å kunne plassere basenavnet i datablokk 41 og 42 og rovernavnet i datablokk 43. Disse hentes ut ved å splitte filnavnet til resultatfilen fra RTKLIB.

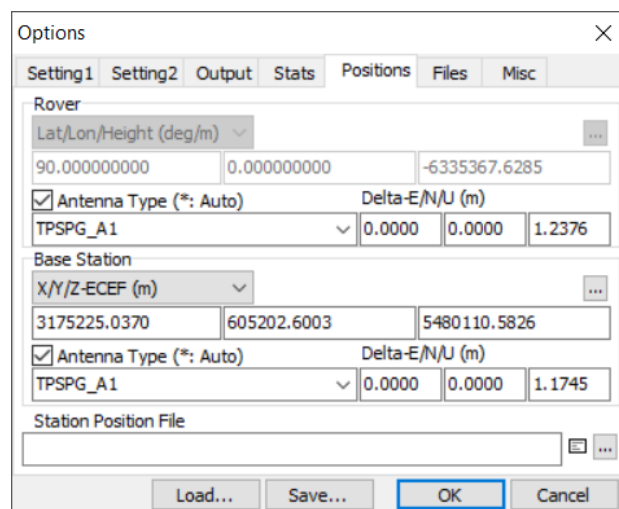
Videre brukes basenavn og rovernavnet til å lage KOF-filnavn. Deretter opprettes KOF-filen og dataene skrives til fil ved hjelp av den innebygde matlab-funksjonen fprintf og formatbeskrivelsen fra NORKART. Les mer om funksjonen fprintf her: <https://se.mathworks.com/help/matlab/ref/fprintf.html>

Programkoden «samleKOF.m» ble programmert for å samle hver enkelt KOF-fil sammen i en KOF-fil for å effektivisere den videre prosessen. Da det kun går å legge en KOF-fil inn i GISLINE om gangen. Denne koden fikk jeg hjelp til å kode fra en bruker på Matlabcentral. Spørsmål og svar ligger her:

https://se.mathworks.com/matlabcentral/answers/446450-linebreak-between-two-txt-files-in-one-txt-file?s_tid=prof_contriblnk

Matlab-koden «dirPlus.m» kodet av Kenneth P. Eaton ble brukt for å ha mulighet til å ha en mappestruktur i filene.

Ved prosessering av resultatfiler i RTKlib ved bruk av muligheten til å hente antennehøyde og referansestasjonens koordinater automatisk fra RINEX-fila ble det oppdaget at dette førte til en systematisk feil i høyde på ca 1.5 m. Dette ble oppdaget ved å skille koordinatene i grunnriss og høyde dvs transformere koordinatene fra X,Y,Z til N, E, H og deretter ta differansen mellom koordinatene beregnet i Leica Geo Office og RTKlib. Problemet viste seg å være et kjent problem i følge RTKlibs forum på GitHub. Manualen er ufullstendig i å beskrive hvordan dette skal gjøres. Oppsettet i figuren under løste problemet med antennehøyden i RTKlib 2.4.2. Hvor «X/Y/Z-ECEF (m)» velges i nedtrekk-menyen for å definere ønsket metode for å hente referansens koordinater. Koordinatene for referansestasjonen og antennehøyden for rover og referansestasjonen ble hentet fra RINEX-fila manuelt.



Illustrasjon 11 viser antenneoppsettet i RTKlib. Antennen TPSPG_A1 med korreksjoner for ulike zenith-vinkler hentes fra atx-filen. Koordinater fra RINEX-filen til referansemottakeren skrives inn manuelt. Det samme med antennehøydene til rover og referanse.

Et annet problem var at antennetypen er navngitt som «TPSPG_A1 NONE» i RINEX-fila. RTKlib og Leica Geo Office legger derfor denne antennen inn i sitt program. Problemet er at de ikke henter ut noen korreksjonstall for de ulike zenith-vinklene fra atx-fila. I atx-fila og ant_info.003 ligger den inne som TPSPG_A1 og det er derfor denne som brukes.

9.4 Sammenligning: Vektorkomponentene ΔX , ΔY , ΔZ

Leica Geo Office-vektorene og RTKlib-vektorene ble sammenlignet i et Excel-regneark. Koordinatene fra resultat-filene til programmene ble manuelt lagt inn og vektorkomponentene til hver av de tenkte vektorene i de tre vektornettene ble beregnet med formel 1. Koordinatene ble deretter transformert fra Euref89 ECEF-koordinater til EUREF89 UTM sone 32 koordinater i SKtrans, og koordinatdifferansene ble beregnet på samme måte som vektorkomponentene.

Differansen mellom UTM koordinatdifferansene fra LGO og RTKlib ble funnet og det ble beregnet systematisk avvik (gjennomsnitt), standardavvik og varians. Differansen mellom vektorkomponentene ble beregnet som kontroll.

9.5 Sammenligning: Asimut, Lengde, Vertikalvinkel

KOF-filen fra RTKlib og Leica Geo Office ble lagt inn i GISLINE. GISLINE transformerte Euref89 ECEF-koordinatene og de ellipsoidiske høydene til Euref89 UTM sone 32. Høydene forble ellipsoidiske ved å sette geoidehøyden til null før import. GISLINE beregnet automatisk asimut, lengde og vertikalvinkel. Disse ble overført til EXCEL hvor differansene ble beregnet.

9.6 GISLINE: Fri utjevning

Det ble laget to landmålingsprosjekt, et for vektornettet fra LGO og et for vektornettet fra RTKlib. Under gjennomsnittparameterne til prosjektene ble geoidehøyden satt lik 0 for å ta hensyn til at det er ellipsoidiske høyder og ikke ortometriske høyder som blir brukt. KOF-filene med alle vektorene i nettet ble importert inn i hvert sitt prosjekt og standardavvikene ble skalert med 10 etter anbefaling fra Ola Øvstedal og Leica selv da det av erfaring har vist seg at standardavvikene har en tendens til å være for optimistiske. Det ble utført fri utjevning på de 6 vektornettene i GISLINE.

9.7 GISLINE: Grovfeilsøk og fri utjevning

Det ble utført grovfeilsøk for hvert av de to vektornettene for hver av de tre årene det er blitt utført GNSS-målinger. Vektornettet ble åpnet i GISLINE Landmåling og geoidehøyden ble satt til 0 for å kunne bruke ellipsoidiske høyder i prosjektet. Vektorene som er basert på en float-løsning ble slettet da disse ikke har noen bestemt tvetydighet N (se illustrasjon 2). Det ble utført fri utjevning på nettene etter grovfeilsøket. Utjevningen ble utført separat i grunnriss og høyde.

Hver enkelt vektor ble testet ved en observasjonstest. Observasjonstesten ble utført som en fri multippel T-test. Ved utslag i observasjonstesten, ble observasjonen med høyest testverdi passiv og observasjonstesten utføres på nytt. Hadde flere observasjoner samme testverdi ble begge satt passive. Dette ble gjentatt helt til observasjonene ikke gir noe utslag i observasjonstesten.

9.8 Paret T-test

Setter koordinatdifferansene fra RTKlib 2.4.2 som X-observasjoner ($X_i = \Delta N_{RTK_i}$) og koordinatdifferansene fra Leica Geo Office 8.2 som Y-observasjoner

($Y_i = \Delta N_{LGO_i}$). Disse variablene danner observasjonsparene (X_i, Y_i). Deretter beregnes differansen mellom koordinatdifferansene. Testobservatoren ble beregnet med formel 10. Konfidensintervallet for μ_D med formel 13.

Hypotesetestene for gjennomsnittverdiene til koordinatdifferansene fra RTKlib 2.4.2 og Leica Geo Office 8.2 ble satt opp etter tabell 2. Kvantilene i t-fordelingen ble funnet med Excel-funksjonen T.INV.2T. Excel-formelen ble brukt for å kunne beregne t-kuantil for ønsket frihetsgrad.

For eksempel blir Excel-formelen seende slik ut =T.INV.2T(2*0.05;43) når $\alpha=0.05$. Metoden er kontrollert med t-fordelingens kvantiltabell i «Statistikk for universiteter og høyskoler» av Gunnar G.Løvås.

10. Resultater

10.1 Resultat: Evnen til FIX-løsninger

Tabell 5 viser en oversikt over fix- og floatløsninger ved prosessering av vektorer fra RINEX-filene fra 2016 i Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2. FRA-FIL fil er filnavnet til observasjonsfilen fra referansemottakeren, og TIL-FIL er filnavnet til observasjonsfilen fra rovermottakeren etter en målesesjon. FRA- og TIL-filene definerer hvilke punkt vektorene i vektornettet fra 2016 går fra og til.

2016			
FRA-FIL	TIL-FIL	LGO	RTKlib
T836152i.16O	T620152l.16O	FIX	FIX
T831152l.16O	T827152l.16O	FIX	FIX
T831152l.16O	T620152j.16O	FIX	FIX
T836153i.16O	T831153i.16O	FIX	FIX
T216153j.16O	T827153j.16O	FIX	FIX
T620154h.16O	T716154h.16O	FIX	FIX
T620154h.16O	T216154h.16O	FIX	FIX
T817154k.16O	T216154k.16O	FIX	FIX
T817154k.16O	T716154k.16O	FIX	FIX
T850154n.16O	T817154m.16O	FIX	FIX
T850154n.16O	T716154m.16O	FIX	FIX
T828155h.16O	T216155h.16O	FIX	FIX
T620155i.16O	T828155i.16O	FIX	FIX
T828155k.16O	T817155k.16O	FIX	FIX
		100 %	100 %

Tabell 6 viser en oversikt over fix- og floatløsninger ved prosessering av vektorer fra RINEX-filene fra 2016 i Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2. FRA-FIL fil er filnavnet til observasjonsfilen fra referansemottakeren, og TIL-FIL er filnavnet til observasjonsfilen fra rovermottakeren etter en målesesjon. FRA- og TIL-filene definerer hvilke punkt vektorene i vektornettet fra 2017 går fra og til.

2017			
FRA-FIL	TIL-FIL	LGO	RTKlib
T836158h.17O	T827158h.17O	FIX	FIX
T831158h.17O	T836158h.17O	FIX	FIX
T831158i.17O	T223158k.17O	FIX	FIX
T831158i.17O	T312158k.17O	FLOAT	FIX
T312158n.17O	T819158n.17O	FIX	FLOAT
T303158n.17O	T312158n.17O	FLOAT	FLOAT
T223159i.17O	T836159i.17O	FIX	FIX
T827159k.17O	T223159k.17O	FIX	FIX
T223159m.17O	T312159m.17O	FLOAT	FIX
T819160h.17O	T303160h.17O	FIX	FIX
T819160h.17O	T223160h.17O	FIX	FIX
T819160j.17O	T620160k.17O	FIX	FIX
T819160j.17O	T713160k.17O	FIX	FIX
T850160m.17O	T620160m.17O	FIX	FIX
T850160m.17O	T713160m.17O	FIX	FIX
T620163g.17O	T223163h.17O	FIX	FIX
T827163l.17O	T850163l.17O	FIX	FIX
		76.50 %	88.20 %

Tabell 7 viser en oversikt over fix- og floatløsninger ved prosessering av vektorer fra RINEX-filene fra 2016 i Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2. FRA-FIL fil er filnavnet til observasjonsfilen fra referansemottakeren, og TIL-FIL er filnavnet til observasjonsfilen fra rovermottakeren etter en målesesjon. FRA- og TIL-filene definerer hvilke punkt vektorene i vektornettet fra 2017 går fra og til.

2018			
FRA-FIL	TIL-FIL	LGO	RTKlib
T836156h.18O	T827156h.18O	FIX	FIX
T836156h.18O	T831156h.18O	FIX	FIX
T223156j.18O	T836156j.18O	FIX	FIX
T223156j.18O	T831156j.18O	FIX	FIX
T223156m.18O	T216156m.18O	FIX	FIX
T223156m.18O	T620156m.18O	FIX	FIX
T827157h.18O	T223157i.18O	FIX	FIX
T827157k.18O	T216157k.18O	FIX	FIX
T216158h.18O	T620158i.18O	FIX	FIX
T216158h.18O	T828158h.18O	FIX	FIX
T620158k.18O	T716158k.18O	FIX	FIX
T620158k.18O	T828158k.18O	FIX	FIX
T828158m.18O	T716158m.18O	FIX	FIX
T828158m.18O	T850158m.18O	FIX	FIX
T850159h.18O	T716159h.18O	FIX	FIX
T850159k.18O	T530159k.18O	FIX	FIX
T530159m.18O	T828159m.18O	FIX	FIX
		100 %	100 %

10.2 Resultat: Vektorkomponentene ΔX , ΔY , ΔZ (2018)

Tabell 8 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔX fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2018. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_x , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔX (m)										
	T827	T831	T836	T216	T620	T223	T828	T716	T850	T530
T836	-0.0014	0.0028								
T223		0.0001	-0.0004	0.0026	0.0013					
T827				-0.005		-0.0045				
T216					0.0058		0.0093			
T620							0.0028	0.0097		
T828								0.0135	0.0044	
T850								0.0058		-0.0064
T530							0.0039			
a_x	0.00261									
Standardavvik	0.00537									
Variasjonsbredde	0.0199									

Tabell 9 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔY fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2018. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_y , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔY										
	T827	T831	T836	T216	T620	T223	T828	T716	T850	T530
T836	0.002	0.0015								
T223		-0.0014	-0.0014	0.0011	0.0011					
T827				0.0024		-0.0006				
T216					0.0043		0.0033			
T620							0.0002	0.004		
T828								0.0039	0.0001	
T850								0.0023		-0.0031
T530							-0.0061			
a_y	0.001									
Standardavvik	0.00275									
Variasjonsbredde	0.0104									

Tabell 10 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔZ fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2018. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_z , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔZ										
	T827	T831	T836	T216	T620	T223	T828	T716	T850	T530
T836	0.011	0.0088								
T223		-0.0014	-0.0051	-0.003	0.0012					
T827				-0.0131		-0.0017				
T216					0.0097		0.015			
T620							0.0026	0.0255		
T828								0.037	0.0113	
T850								0.0165		-0.0382
T530							-0.0097			
a_z	0.00391									
Standardavvik	0.01668									
Variasjonsbredde	0.0637									

10.3 Resultat: Koordinatdifferansene $\Delta N, \Delta E, \Delta H(2018)$

Tabell 11 viser differansen mellom koordinatdifferansen ΔN fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2018. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_N , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔN										
	T827	T831	T836	T216	T620	T223	T828	T716	T850	T530
T836	0.0062	0.0019								
T223		-0.0006	-0.0021	-0.0039	-0.0013					
T827				-0.0027		0.0031				
T216					-0.0006		-0.0008			
T620							-0.0011	0.0041		
T828								0.0067	0.0019	
T850								0.0031		-0.0134
T530							-0.0074			
a_N	-0.00041									
Standardavvik	0.0049									
Variasjonsbredde	0.0196									

Tabell 12 viser differansen mellom koordinatdifferansen ΔE fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2018. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_E , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔE										
	T827	T831	T836	T216	T620	T223	T828	T716	T850	T530
T836	0.0032	0.0009								
T223		-0.0013	-0.0012	0.0007	0.0008					
T827				0.0034		0.0001				
T216					0.0032		0.0015			
T620							-0.0003	0.0021		
T828								0.0012	-0.0008	
T850								0.0011		-0.0015
T530							-0.0065			
a_E	0.00039									
Standardavvik	0.00236									
Variasjonsbredde	0.0099									

Tabell 13 viser differansen mellom koordinatdifferansen ΔH fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2018. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_H , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔH										
	T827	T831	T836	T216	T620	T223	T828	T716	T850	T530
T836	0.0085	0.009								
T223		-0.001	-0.005	-0.001	0.002					
T827				-0.013		-0.004				
T216					0.012		0.018			
T620							0.004	0.027		
T828								0.039	0.012	
T850								0.018		-0.037
T530							-0.007			
a_H	0.00479									
Standardavvik	0.01695									
Variasjonsbredde	0.049									

10.4 Resultat: Vektorkomponentene i $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (2017)

Tabell 14 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔX fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2017. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_x , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔX									
	T223	T303	T620	T312	T836	T850	T827	T819	T713
T819	0.0014	-0.0058	-0.0018						0.0013
T831	0.0003				-0.0001				
T223					0.0053				
T827	-0.0013					0.0047			
T836							0.0037		
T303									
T312									
T850			-0.0136						0.0203
T620	-0.0045								
a_x	0.00076								
Standardavvik	0.00772								
Variasjonsbredde	0.0105								

Tabell 15 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔY fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2017. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_y , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔY									
	T223	T303	T620	T312	T836	T850	T827	T819	T713
T819	0.0007	-0.0032	-0.0110						-0.0055
T831	0.0025				-0.0021				
T223					-0.0045				
T827	-0.0019					0.0068			
T836							0.0045		
T303									
T312									
T850			-0.0078						-0.0008
T620	-0.0005								
a_y	-0.00175								
Standardavvik	0.00487								
Variasjonsbredde	0.0135								

Tabell 16 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔZ fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2017. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_z , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔZ									
	T223	T303	T620	T312	T836	T850	T827	T819	T713
T819	-0.0070	-0.0016	-0.0110						0.0305
T831	0.0004				-0.0071				
T223					0.0057				
T827	-0.0012					0.0089			
T836							0.0080		
T303									
T312									
T850			-0.0078						0.0387
T620	0.0060								
a_z	0.00481								
Standardavvik	0.01479								
Varbredde	0.0465								

10.5 Resultat: Koordinatdifferansene $\Delta N, \Delta E, \Delta H$ (2017)

Tabell 17 viser differansen mellom koordinatdifferansen ΔN fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2017. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_N , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔN									
	T223	T303	T620	T312	T836	T850	T827	T819	T713
T819	-0.0048	0.0046	0.0129						0.0150
T831	-0.0004				-0.0032				
T223					-0.0011				
T827	0.0008					-0.0004			
T836							0.0003		
T303									
T312									
T850			0.0094						0.0024
T620	0.0051								
a_N	0.00312								
Standardavvik	0.00607								
Variasjonsbredde	0.0198								

Tabell 18 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔE fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2017. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_E , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔE									
	T223	T303	T620	T312	T836	T850	T827	T819	T713
T819	0.0005	-0.0022	-0.0108						-0.0060
T831	0.0024				-0.0020				
T223					-0.0054				
T827	-0.0016					0.0058			
T836							0.0038		
T303									
T312									
T850			-0.0054						-0.0046
T620	-0.0023								
a_E	-0.00214								
Standardavvik	0.00450								
Variasjonsbredde	0.0118								

Tabell 19 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔH fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2017. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_H , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔH									
	T223	T303	T620	T312	T836	T850	T827	T819	T713
T819	-0.0050	-0.0050	0.0140						0.0260
T831	0.0010				-0.0060				
T223					0.0070				
T827	-0.0020					0.0110			
T836							0.0090		
T303									
T312								-	
T850			-0.0130						0.0430
T620	-0.0010								
a_H	0.00667								
Standardavvik	0.01515								
Variasjonsbredde	0.049								

10.6 Resultat: Vektorkomponentene i $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (2016)

Tabell 20 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔX fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2016. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_x , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔX							
	T620	T827	T831	T716	T216	T817	T828
T836	0.0055		-0.0046				
T831	0.0014	-0.0062					
T216		0.0055					
T620				0.0049	-0.0022		0.0064
T817				-0.002	-0.0147		
T850				0.0021		-0.0024	
T828					-0.0041	0.0047	
a_x	-0.00041						
Standardavvik	0.00594						
Variasjonsbredde	0.0211						

Tabell 21 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔY fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2016. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_y , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔY							
	T620	T827	T831	T716	T216	T817	T828
T836	0.0118		-0.0014				
T831	0.01	-0.0106					
T216		-0.0037					
T620				0.0082	0.0037		0.0056
T817				0.0008	-0.0027		
T850				0.0036		-0.003	
T828					-0.0005	0.0031	
a_y	0.00178						
Standardavvik	0.00604						
Variasjonsbredde	0.0224						

Tabell 22 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔZ fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2016. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_z , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔZ							
	T620	T827	T831	T716	T216	T817	T828
T836	0.0184		-0.0104				
T831	0.0078	-0.0298					
T216		0.0051					
T620				0.0294	-0.0057		-0.0003
T817				-0.0013	-0.0214		
T850				0.0106		0.0086	
T828					-0.0091	-0.0009	
a_z	0.00007						
Standardavvik	0.01531						
Variasjonsbredde	0.0398						

10.7 Resultat: Koordinatdifferansene i $\Delta N, \Delta E, \Delta H$ (2016)

Tabell 23 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔN fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2016. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_N , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔN							
	T620	T827	T831	T716	T216	T817	T828
T836	0.003		-0.0012				
T831	0.0014	-0.0083					
T216		-0.0016					
T620				0.0096	-0.0015		-0.0063
T817				0.0009	0.0021		
T850				0.0031		0.0068	
T828					-0.0011	-0.0049	
a_N	0.00014						
Standardavvik	0.00484						
Variasjonsbredde	0.0151						

Tabell 24 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔE fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2016. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_E , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔE							
	T620	T827	T831	T716	T216	T817	T828
T836	0.0105		-0.0004				
T831	0.0096	-0.0091					
T216		-0.0047					
T620				0.0069	0.0041		0.0045
T817				0.0012	0.0000		
T850				0.0031		-0.0026	
T828					0.0003	0.0023	
a_E	0.00184						
Standardavvik	0.00532						
Variasjonsbredde	0.0196						

Tabell 25 viser differansen mellom vektorkomponenten ΔH fra Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2 for vektorene i vektornettet fra 2016. I første kolonne ligger punktnavn hvor en referansemottaker har stått i måletidspunktet. I første rad ligger punktnavn på punkt hvor rovermottakeren har stått i måletidspunktet. Systematisk avvik a_H , standardavvik og variasjonsbredde er beregnet for differansene. Enhet for størrelsene i tabellen er meter.

ΔH							
	T620	T827	T831	T716	T216	T817	T828
T836	0.02		-0.012				
T831	0.008	-0.03					
T216		0.007					
T620				0.029	-0.006		0.004
T817				-0.002	-0.0260		
T850				0.01		0.006	
T828					-0.01	0.002	
a_H	0.00000						
Standardavvik	0.01610						
Variasjonsbredde	0.05						

10.8 Resultat: Paret t-test

Tabell 26 viser hypotesetester satt opp etter tabell 2 for koordinatdifferansene fra RTKlib 2.4.2 og Leica Geo Office 8.2. Hvor μ_{RTK} er gjennomsnittet til koordinatdifferansene fra RTKlib og μ_{LGO} er gjennomsnittet til koordinatdifferansene fra Leica Geo Office.

	H0	H1	Forkast H0 hvis
Alternativ 1	$\mu_{RTK} \leq \mu_{LGO}$	$\mu_{RTK} > \mu_{LGO}$	$ T > t_\alpha$
Alternativ 2	$\mu_{RTK} \geq \mu_{LGO}$	$\mu_{RTK} < \mu_{LGO}$	$T < -t_\alpha$
Alternativ 3	$\mu_{RTK} = \mu_{LGO}$	$\mu_{RTK} \neq \mu_{LGO}$	$ T > t_{\alpha/2}$

Tabell 27 viser t-kvantiler fra t-fordeling beregnet med Excel-funksjonen T.INV.2T. t-kvantilene er beregnet med 43 frihetsgrader da det er 44 par som testes.

α	0.05	0.025	0.01	0.005
F = 43	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951

Tabell 28 viser konfidensintervall for gjennomsnittet til differansene μ_d til $(\Delta N_{RTK}, \Delta N_{LGO})$ -parene i paret t-test. Ved signifikansnivåene 0.05 og 0.01. Med testverdi $T = 0.7985$.

α	0.05	0.01
$\mu_D (\Delta N_{RTK}, \Delta N_{LGO})$	[-0.00097,0.0023]	[-0.0015,0.0028]

Tabell 29 viser svar på hypotesetestene i tabell 26 for $(\Delta N_{RTK}, \Delta N_{LGO})$ -parene ved signifikansnivåene 0.05 og 0.01. Med testverdi $T = 0.7985$.

α	0.05	0.01
Alternativ 1	Behold H0	Behold H0
Alternativ 2	Behold H0	Behold H0
Alternativ 3	Behold H0	Behold H0

Tabell 30 viser konfidensintervall for gjennomsnittet til differansene μ_D til $(\Delta E_{RTK}, \Delta E_{LGO})$ -parene i paret t -test. Ved signifikansnivåene 0.05 og 0.01. Med test-verdi $T = 0.1151$

α	0.05	0.01
$\mu_D (\Delta E_{RTK}, \Delta E_{LGO})$	[-0.0012, 0.0014]	[-0.0017, 0.0018]

Tabell 31 viser svar på hypotesetestene i tabell 26 for $(\Delta E_{RTK}, \Delta E_{LGO})$ -parene ved signifikansnivåene 0.05 og 0.01. Med test-verdi $T = 0.1151$

α	0.05	0.01
Alternativ 1	Behold H0	Behold H0
Alternativ 2	Behold H0	Behold H0
Alternativ 3	Behold H0	Behold H0

Tabell 32 viser konfidensintervall for gjennomsnittet til differansene μ_D til $(\Delta H_{RTK}, \Delta H_{LGO})$ -parene i paret t -test. Ved signifikansnivåene 0.05 og 0.01. Med test-verdi $T = 1.5338$

α	0.05	0.01
$\mu_D (\Delta H_{RTK}, \Delta H_{LGO})$	[-0.0012, 0.0088]	[-0.0028, 0.0102]

Tabell 33 viser svar på hypotesetestene i tabell 26 for $(\Delta H_{RTK}, \Delta E_{LGO})$ -parene ved signifikansnivåene 0.05 og 0.01. Med test-verdi $T = 1.5338$.

α	0.05	0.01
Alternativ 1	Behold H0	Behold H0
Alternativ 2	Behold H0	Behold H0
Alternativ 3	Behold H0	Behold H0

10.9 Resultat: Asimut, avstand og vertikalvinkel (2018)

Tabell 34 viser forskjellen mellom Asimut, avstand og vertikalvinkel mellom vektoren etter-prosessert i Leica Geo Office og RTKlib i 2018 vektornettet. Fra og til-kolonnene definerer hvilken vektor det gjelder. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

2018				
Fra	Til	Δ Asimut (gon)	Δ Avstand (m)	Δ Vertikalvinkel (gon)
T216	T620	-0.0001	-0.0010	-0.0003
T216	T828	0.0000	-0.0010	-0.0008
T223	T216	0.0000	-0.0040	0.0000
T223	T620	0.0000	-0.0010	0.0000
T223	T831	0.0000	-0.0010	0.0000
T223	T836	0.0000	-0.0020	0.0001
T530	T828	0.0003	-0.0010	0.0002
T620	T716	0.0002	-0.0030	-0.0005
T620	T828	0.0000	-0.0010	-0.0002
T827	T216	-0.0001	-0.0030	0.0004
T827	T223	0.0000	-0.0030	0.0001
T828	T716	0.0001	-0.0060	-0.0007
T828	T850	0.0000	0.0020	-0.0002
T836	T827	0.0000	-0.0030	-0.0002
T836	T831	0.0000	-0.0020	-0.0002
T850	T530	0.0007	-0.0060	0.0018
T850	T716	0.0000	-0.0030	-0.0003
Gjennomsnitt		0.0001	-0.0023	-0.0001

10.10 Resultat: Asimut, avstand og vertikalvinkel (2017)

Tabell 35 viser forskjellen mellom Asimut, avstand og vertikalvinkel mellom vektoren etter-prosessert i Leica Geo Office og RTKlib i 2017 vektornettet. Fra og til-kolonnene definerer hvilken vektor det gjelder. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

2017				
Fra	Til	Δ Asimut	Δ Avstand	Δ Vertikalvinkel
T223	T836	0.0000	-0.0050	-0.0001
T620	T223	-0.0001	-0.0020	0.0000
T819	T223	0.0001	-0.0030	0.0001
T819	T303	-0.0001	-0.0040	0.0001
T819	T620	-0.0003	0.0130	-0.0003
T819	T713	0.0003	0.0090	-0.0006
T827	T223	0.0000	0.0000	0.0000
T827	T850	0.0000	-0.0060	-0.0001
T831	T223	0.0000	-0.0020	0.0000
T831	T836	0.0000	-0.0030	0.0002
T836	T827	0.0000	-0.0030	-0.0002
T850	T620	0.0000	-0.0110	0.0002
T850	T713	0.0000	-0.0030	-0.0005
Gjennomsnitt:		0.0003	0.0107	0.0001

10.11 Resultat: Asimut, avstand og vertikalvinkel (2016)

Tabell 36 viser forskjellen mellom Asimut, avstand og vertikalvinkel mellom vektoren etter-prosessert i Leica Geo Office og RTKlib i 2016 vektornettet. Fra og til-kolonnene definerer hvilken vektor det gjelder. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

2016				
Fra	Til	Δ Asimut	Δ Avstand	Δ Vertikalvinkel
T216	T827	0.0000	-0.0050	-0.0002
T620	T216	0.0001	-0.0010	0.0001
T620	T716	0.0002	-0.0070	-0.0005
T620	T828	0.0001	-0.0080	-0.0001
T817	T216	0.0000	0.0010	0.0005
T817	T716	0.0000	-0.0020	0.0001
T828	T216	0.0001	0.0000	0.0005
T828	T817	-0.0002	0.0000	-0.0001
T831	T620	0.0000	-0.0100	-0.0001
T831	T827	-0.0002	0.0000	0.0005
T836	T620	0.0000	-0.0110	-0.0002
T836	T831	0.0000	0.0010	0.0003
T850	T716	-0.0001	-0.0030	-0.0002
T850	T817	0.0000	-0.0070	-0.0002
Gjennomsnitt		-0.00001	-0.00371	0.00003

10.12 Resultat: Fri utjevning uten grovfeilsøk (2016)

Tabell 37 viser resultat etter fri utjevning i grunnriss uten grovfeilsøk i vektornettet fra 2016 i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Grunnriss 2016	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	27.0621	6.6647
Standardavvik på vekstenheten	1.5017	0.7452

Tabell 38 viser resultat etter fri utjevning i høyde uten grovfeilsøk i vektornettet fra 2016 i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Høyde 2016	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	159.8016	103.480
Standardavvik på vekstenheten	5.1608	4.1529

Tabell 39 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i grunnriss fra 2016 etter fri utjevning uten grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Grunnriss)				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2016	0.05	21.02	12	27.06
RTKlib 2016	0.05	21.02	12	6.66

Tabell 40 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i høyde fra 2016 etter fri utjevning uten grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Høyde)				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2016	0.05	12.59	6	159.80
RTKlib 2016	0.05	12.59	6	103.48

10.13 Resultat: Fri utjevning uten grovfeilsøk (2017)

Tabell 41 viser resultat etter fri utjevning i grunnriss uten grovfeilsøk i vektornettet fra 2017 i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Grunnriss 2017	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	34.2845	8.1652
Standardavvik på vekstenheten	1.8516	0.9036

Tabell 42 viser resultat etter fri utjevning i høyde uten grovfeilsøk i vektornettet fra 2017 i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Høyde 2017	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	275.6024	77.1842
Standardavvik på vekstenheten	7.4243	3.9290

Tabell 43 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i grunnriss fra 2017 etter fri utjevning uten grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Grunnriss)				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2017	0.05	18.31	10	34.28
RTKlib 2017	0.05	18.31	10	8.17

Tabell 44 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i høyde fra 2017 etter fri utjevning uten grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Høyde)				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2017	0.05	11.07	5	275.60
RTKlib 2017	0.05	11.07	5	77.18

10.14 Resultat: Fri utjevning uten grovfeilsøk (2018)

Resultater av fri utjevning av vektornettene fra Leica Geo Office og RTKlib. Det er ikke utført noen grovfeilsøk i nettene.

Tabell 45 viser resultat etter fri utjevning i grunnriss uten grovfeilsøk i vektornettet fra 2018 i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Grunnriss 2018	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	30476606.5638	1321665.9860
Standardavvik på vekstenheten	1380.1405	287.4093

Tabell 46 41 viser resultat etter fri utjevning i høyde uten grovfeilsøk i vektornettet fra 2018 i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Høyde 2018	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	20087.6651	2895.5623
Standardavvik på vekstenheten	50.1095	19.0249

Tabell 47 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i grunnriss fra 2018 etter fri utjevning uten grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Grunnriss)				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2018	0.05	26.29	16	30476606.56
RTKlib 2018	0.05	26.29	16	1321665.99

Tabell 48 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i høyde fra 2018 etter fri utjevning uten grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Høyde)				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2018	0.05	15.51	8	20087.67
RTKlib 2018	0.05	15.51	8	2895.56

10.15 Resultat: Grovfeilsøk i GISLINE (2016)

Ved test av observasjoner i vektornettet fra Leica Geo Office målt i 2016 ble det utslag på 1 av 28 observasjoner i grunnriss ved testing med multippel t-test med alfa lik 0.05. Observasjonen det ble gjort utslag på var T850 – T817. Observasjonen ble satt til passiv i neste observasjonstest og dette førte til at vektoren T850 – T716 ble ukontrollerbar. I det tilsvarende vektornettet fra RTKlib var det ingen av de 28 observasjonene som ga utslag. Ved testing av høyde i vektornettet fra Leica Geo Office ble resterende høydeobservasjoner godkjent. I vektornettet fra RTKlib tilfredsstilte alle høydeobservasjoner observasjonstesten.

Tabell 49 viser statistikk etter fri utjevning i grunnriss av vektornettene fra 2016 etter grovfeilsøk i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Grunnriss	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	9.6496	6.6647
Standardavvik på vekstenheten	0.9823	0.7452

Tabell 50 viser statistikk etter fri utjevning i høyde av vektornettene fra 2016 etter grovfeilsøk i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Høyde	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	159.6195	103.4802
Standardavvik på vekstenheten	5.6501	4.1529

Tabell 51 viser resultat etter Kjikkvadrat-test av vektornettene i grunnriss fra 2016 etter grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Grunnriss)				
Kjikkvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2016	0.05	18.31	10	9.65
RTKlib 2016	0.05	21.02	12	6.66

Tabell 52 viser resultat etter Kjikkvadrat-test av vektornettene i høyde fra 2016 etter grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote)

Test av M0 (Høyde)				
Kjikkvadrat- test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2016	0.05	11.07	5	159.62
RTKlib 2016	0.05	12.59	6	103.48

10.16 Resultat: Grovfeilsøk i GISLINE (2017)

Resultat fra grovfeilsøk og utjevning i vektornettene fra 2017 uten vektorene T831-T312, T312-T819, T303-T312 og T223-312 da disse er float-løsninger. Float-løsningene er slettet i begge nettene for å starte med tilnærmet like vektornett.

Ved test av observasjoner i vektornettet fra RTKlib målt i 2017 ble det ingen utslag i grunnriss ved testing med multippel t-test med alfa lik 0.05. I testen av høydeobservasjonene ble det utslag i punkt T831. Vektorene til dette punktet ble derfor satt passive. Med ny observasjonstest i grunnriss og høyde gikk alle observasjoner igjennom testen. I vektornettet fra Leica Geo Office gikk alle observasjoner igjennom testen. Da feilkvadratsummen var 275,602 ble det valgt å sette vektorene til T831 passive da testverdien 4.07 skilte seg ut fra de andre testverdiene i høydetesten selv om den ikke overskrider tabellverdien på 5.85.

Tabell 53 viser statistikk etter fri utjevning i grunnriss av vektornettene fra 2017 etter grovfeilsøk i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Grunnriss	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	23.8165	6.7822
Standardavvik på vekstenheten	1.7254	0.9207

Tabell 54 viser statistikk etter fri utjevning i høyde av vektornettene fra 2017 etter grovfeilsøk i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Høyde	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	53.6239	2.4085
Standardavvik på vekstenheten	3.6614	0.7760

Tabell 55 viser resultat etter Kjikkvadrat-test av vektornettene i grunnriss fra 2017 etter grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Test av M0 Grunnriss				
Kjikkvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2017	0.05	15.51	8	23.82
RTKlib 2017	0.05	15.51	8	6.78

Tabell 56 viser resultat etter Kjikkvadrat-test av vektornettene i høyde fra 2017 etter grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Test av M0 Høyde				
Kjikkvadrat- test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2017	0.05	9.49	4	53.62
RTKlib 2017	0.05	9.49	4	2.41

10.17 Resultat: Grovfeilsøk i GISLINE (2018)

Ved observasjonstest med multippel t-test med alfa lik 0.05 i grunnriss i Leica Geo Office vektornettet fra 2018 blir det utslag på retningsobservasjonen til vektor T223-T620. Med denne vektoren passiv ble det utslag på avstandsobservasjonen til vektor T223-T836. Med vektor T223-T836 gikk alle de resterende 30 observasjonene igjennom testen i grunnriss. I observasjonstest i høyde ble det utslag i vektor T223-T216 og T827-T216. Med disse vektorene passive ble det utslag i T850-T716. Med vektor T850-T716 gikk de 24 grunnrissobservasjonene og 12 høydeobservasjonene igjennom testen.

Ved den samme observasjonstesten i grunnriss i RTKlib vektornettet fra 2018 blir det og utslag på retningsobservasjonen til vektoren T223-T620. Med denne vektoren passiv passerte alle grunnrissobservasjoner igjennom testen. I observasjonstesten av høydeobservasjonene ble det utslag i vektor T223-T216 og T827-T216. Med disse vektorene passive ble det utslag høyde i vektor T850-T716. Med vektor T850-T716 gikk de resterende 13 høydeobservasjonen igjennom testen i høyde, og de 24 resterende grunnrissobservasjonene testen i grunnriss.

Tabell 57 viser statistikk etter fri utjevning i grunnriss av vektornettene fra 2018 etter grovfeilsøk i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Grunnriss	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	7.9813	3.9147
Standardavvik på vekstenheten	0.9988	0.6257

Tabell 58 viser statistikk etter fri utjevning i høyde av vektornettene fra 2018 etter grovfeilsøk i GISLINE: Feilkvadratsum og standardavvik på vekstenheten. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Høyde	Leica Geo Office	RTKlib
Feilkvadratsum	1.4392	1.4313
Standardavvik på vekstenheten	0.5998	0.5350

Tabell 59 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i grunnriss fra 2018 etter grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Test av M0 Grunnriss				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2017	0.05	15.51	8	7.98
RTKlib 2017	0.05	18.31	10	3.91

Tabell 60 viser resultat etter Kjikvadrat-test av vektornettene i høyde fra 2018 etter grovfeilsøk i GISLINE. Resultatene er påvirket av en programmeringsfeil (les fotnote).

Test av M0 Høyde				
Kjikvadrat-test	Signifikansnivå	Tabell verdi	Frihetsgrader	Beregnet verdi
LGO 2017	0.05	9.49	4	1.44
RTKlib 2017	0.05	11.07	5	1.43

11. Diskusjon

RTKlib 2.4.2 er ikke den nyeste versjonen av programmet pr dags dato, men det er denne versjonen som er valgt da RTKlib 2.4.3 fremdeles kun er i betaversjon. Analysen av programmet RTKlib 2.4.2 er gjennomført slik at alle steg i analysen er utført parallelt med Leica Geo Office 8.2. Rådataene som er benyttet i de to etterprosesserings-programmene er identiske. For å få et godt sammenligningsgrunnlag er derfor vektorene som har fått floatløsning i det ene programmet ikke bare fjernet fra tilhørende vektornett men og vektornettet fra det andre programmet fra tilsvarende år.

Ved etterprosesserings av GNSS-data er etterprosesserings-programmets evne til å oppnå fix-løsning viktig, da float løsninger må forkastes. Hvis oppnådd fix-løsning tilsier suksess har RTKlib og LGO en suksessrate på 100% på 2 av 3 datasett. Det siste datasettet har LGO en suksessrate på 76.5% mens RTKlib har på 88.2%.

Ved valg av prosesserings-parameter er det forsøkt å få oppsettet så likt som mulig. Tabellen under viser oversikt over hvilke parameter som er brukt i de to programmene.

Tabell 61 vise valgte prosesserings-parameter i Leica Geo Office 8.2 og RTKlib 2.4.2

Parametre	LGO	RTKlib
Cut-off angle	15°	15°
Efemerider	Broadcast	Broadcast
GNSStype	GPS	GPS
Frekvenser	L1/E1 + L2	L1 + L2
Sampling rate	15	15
Troposfæremodell	Hopfield	Saastamoinen
Ionosfæremodell	Computed	Broadcast
Min distanse	8 km	0

En forskjell er at LGO bruker troposfæremodellen Hopfield mens RTKlib bruker Saastamoinen. Troposfæremodellen Saastamoinen finnes i begge programmene men da LGO selv velger Hopfield ble dette valgt. I følge Leica sin brukermanual vil bruk av de ulike modellene utgjøre et par millimeter på resultatet.

Alle vektorene i nettene er mellom 1 og 7 km lange. Det er derfor ikke brukt noen korreksjon for tidejord da måletiden er på rundt en time og referansemottakeren og rovermottakeren vil bli hevet eller senket likt.

Det er viktig å påpeke at det ikke ble forventet at punktene i vektornettene oppfyller kravene for landsnettpunkt. Det er forventet feil i innsamlingen av data da det er første gang studentene har målt med statisk GNSS utstyr. Feil i observasjonsfilene får ikke noen konsekvenser da det ikke er kvaliteten på nettet studentene har målt som ble undersøkt, men hvordan RTKlib 2.4.2 klarer seg i forhold til Leica Geo Office 8.2.

Leica Geo Office støtter kun ant_info.003 korreksjonsfiler for antenner, mens RTKlib støtter ANTEX. NGS har gått fra å bruke ant_info.003 til å kun bruke ANTEX-filer da de mener at «det er klart at for å øke nøyaktigheten til prosessert GNSS-data bør ANTEX formatet brukes istedenfor ant_info.003 (NGS, 2019).

11.1 Diskusjon: Koordinatdifferansene ΔN , ΔE , ΔH

I 2018-vektornettet er systematisk avvik i nord på sub millimeternivå i nord og øst mens det er på millimeternivå i høyde. I nord er systematisk avvik -0.0004 m, i øst 0.0004 m, og i høyde 0.0048 m. Systematisk punktavvik i grunnriss er 0.00056 m. Tredimensjonalt systematisk avvik er på 0.0048 m.

I 2017-vektornettet er systematisk avvik i nord, øst og høyde på millimeternivå. Det systematiske avviket i nord er 0.0031 m, i øst -0.0021 m og i høyde 0.0067 m. Systematisk punktavvik i grunnriss er 0.0038 m. Tredimensjonalt systematisk avvik er på 0.0077 m.

I 2016-vektornettet er systematisk avvik i nord og øst i 4 desimal mens det i høyde er 0. Noe som er noe urovekkende. Systematisk avvik i nord er 0.0001 m, i øst 0.0018 m og i høyde 0 m. Systematisk avvik i grunnriss blir da 0.0018 m og det tredimensjonale.

11.2 Diskusjon: Asimut, avstand og vertikalvinkel

Forskjellene i asimut ligger i fjerde desimal i 2018, 2017 og 2016.

Avstandsforskjellene ligger på millimeternivå i 2018 og 2016, mens det ligger på centimeternivå i 2017. For vertikalvinkelene i likhet med asimut ligger forskjellene i fjerde desimal alle de tre årene.

11.3 Diskusjon: Paret t-test

Det er valgt en paret t-test til fordel for en uparet t-test da det er forventet at variablene er sterkt korrelert på grunn av at det er brukt de samme rådataene i begge etterprosesseringsprogrammene som gir ΔN_{RTK} og ΔN_{LGO} .

	H0	H1	Forkast H0 hvis
Alternativ 1	$\mu_{RTK} \leq \mu_{LGO}$	$\mu_{RTK} > \mu_{LGO}$	$ T > t_{\alpha}$
Alternativ 2	$\mu_{RTK} \geq \mu_{LGO}$	$\mu_{RTK} < \mu_{LGO}$	$T < -t_{\alpha}$
Alternativ 3	$\mu_{RTK} = \mu_{LGO}$	$\mu_{RTK} \neq \mu_{LGO}$	$ T > t_{\alpha/2}$

Nullhypotesen beholdes i alle hypotesetestene som inngår i paret t-test med $\alpha = 0.05$ og ved $\alpha=0.01$. Det er ikke grunnlag til å hevde at gjennomsnittet til RTKlib-koordinatdifferansene er større, mindre eller ulik gjennomsnittet til koordinatdifferansene til Leica Geo Office basert på vektornettene i 2016,2017 og 2018.

Med en sannsynlighet på 95% ligger μ_D for $\Delta N_{RTKlib} - \Delta N_{LGO}$ innenfor et intervall med en bredde på 3.3 mm, [-0.0097,0.0023] m. Med en sannsynlighet på 99% økes intervallet til et intervall med en bredde på 4.3mm, [-0.0015,0.0028] m.

Med en sannsynlighet på 95% ligger μ_D for $\Delta E_{RTKlib} - \Delta E_{LGO}$ innenfor et intervall med en bredde på 2.6 mm, [-0.0012, 0.0014] m. Med en sannsynlighet på 99% økes intervallet til et intervall med en bredde på 3.5 mm, [-0.0017,0.0018] m.

Med en sannsynlighet på 95% ligger μ_D for $\Delta H_{RTKlib} - \Delta H_{LGO}$ innenfor et intervall med en bredde på 1 cm, [-0.0012,0.0088]. Med en sannsynlighet på 99% økes intervallet til et intervall med en bredde på 1.3 cm, [-0.0028,0.0102] m.

11.4 Diskusjon: Fri utjevning uten grovfeilsøk

Det ble utført fri utjevning på vektornettene fra de to programmene parallelt for hvert år. Float-løsningene ble fjernet slik at vektornettene kun besto av fix-løsninger.

GISLINE Landmåling bruker minste kvadraters metode (MKM) som den matematiske modellen for koordinatutjevning og prinsippet for denne metoden er å minimere feilkvadratsummen. I GISLINE Landmåling finnes de to ulike utjevninger fri og tvungen utjevning. Det var først tenkt å bruke tvungen utjevning med fire kjentpunkt med landsnett og stamnettkoordinater.

Vektornettene studentene har målt passet ikke med kjentpunktene, grunnen til dette antar jeg er brukerfeil ved GNSS-målingene. Det ble det derfor valgt å bruke fri utjevning. Etter fri utjevning av nettene kan man se at feilkvadratsummen i grunnriss er 4 ganger større i LGO-nettene enn i RTKlib-nettene i 2016 og 2017. I 2018 er feilkvadratsummen i grunnriss hele 23 ganger større enn i RTKlib-nettet. Dette tyder på at det er noe feil med en eller flere observasjoner i dette nettet. I høyde er også feilkvadratsummene i LGO-nettene høyere enn i RTKlib-nettene. I 2016 er feilkvadratsummen i høyde 1.2 ganger større enn i RTKlib-nettet, i 2017 er feilkvadratsummen i høyde 3.5 ganger større og i 2018 er feilkvadratsummen i høyde 7 ganger større i LGO-nettet i forhold til RTKlib-nettet.

På standardavviket på vekstenheten i grunnriss vises en trend med at den er mindre i RTKlib-nettene enn LGO-nettene. Disse standardavvikene er testet med m_0 -test. I 2016 nettene forkastes hypotesen om at den beregnede m_0 er lik den antatte m_0 i LGO-nettet, men beholdes i RTKlib nettet. Dette betyr at m_0 er signifikant forskjellig i LGO-nettet fra den antatte m_0 . I RTKlib er den ikke signifikant forskjellig med $\alpha=0.05$. I 2017 forkastes hypotesene likt som i 2016 men i 2017 forkastes H_0 -hypotesen i begge vektornettene, både LGO-vektornettet og RTKlib-vektornettet. Hypotese H_0 ved test av standardavvik på vekstenheten i høyde forkastes i alle nett, alle år.

11.5 Diskusjon: Grovfeilsøk og friutjevning

I grovfeilsøket og den etterfulgte frie utjevningen i GISLINE er det ikke kvalitet på nettet som er viktig men å se om de to programmene gir grovfeil på de samme punktene og i samme retning på samme datasett.

Da hensikten med utjevning med minste kvadraters metode er å minimere feilkvadratsummene ble disse sammenlignet etter utjevningene av de to tilsvarende vektornettene. For å få mest mulig likt sammenligningsgrunnlag ble vektorene som fikk floatløsning i det ene programmet også slettet fra nettet fra det andre programmet. Slik at vektornettene som blir sammenlignet inneholder de samme vektorene før grovfeilsøk.

Etter grovfeilsøk er feilkvadratsummene fra RTKlib og Leica Geo Office i de tre nettene som forventet nærmere hverandre i størrelse enn uten grovfeilsøk.

Feilkvadratsummene fra RTKlib vektornettet er fremdeles noe mindre enn i Leica Geo Office-nettet alle de tre årene. I 2016 passerer begge nettene m0-testen i grunnriss, og det blir utslag for begge i test av høyde. I 2017 passerer RTKlib-nettet m0-testen i grunnriss og høyde, mens Leica Geo Office-nettet får utslag i begge testene. I 2018-nettet ser det ut til at grovfeilen i nettet er blitt vellykket fjernet da feilkvadratsummene har minket i stor grad i begge nettene. RTKlib-nettet og Leica Geo Office-nettet passerer m0-testen i 2018.

11.6 Diskusjon: Brukervennlighet

Brukergrensesnittet til RTKlib 2.4.2 består i stor grad av nedtrekks-menyer hvor man bestemmer variabler i koden til Timoiji Takasu. Leica Geo Office (LGO) har et design som skjuler mye av innstillingene slik at kun det mest nødvendige er lett tilgjengelig mens man må dypere inn i programmet for å gjøre mer avanserte innstillinger. I RTKlib 2.4.2 må man forholde seg til fil-stier mens i LGO blir informasjon hentet inn og presentert for deg.

LGO har en fremstilling av måletiden til RINEX-filen som barer på en tidslinje. Dette gjør at man med en gang ser om målingene overlapper. I RTKlib må man åpne RINEX-filen ved å trykke på en knapp og lese av tidspunkt manuelt.

Når man bruker GISLINE har man en innebygd rutine for å importere resultat-filene fra LGO. For å få resultat-filene fra RTKlib må man bruke eksterne programmeringsfiler for å få de over til KOF. Denne metoden er beskrevet i metodekapittelet mens det er vedlagt en brukermanual « RTKLIB 2.4.2 Produksjonsløype for NMBU-emnet GMGD211» i vedlegg 7.

Når det gjelder diskusjon av brukervennligheten til de to programmene blir dette kun basert på min egen erfaring. I løpet av arbeidet med denne oppgaven har jeg brukt RTKlib 2.4.2 brukergrensesnittet som er laget for Windows. Det er mulig å bruke kommandovinduet i Windows og kjøre kodene til Timoiji Takasu. Dette åpner for å effektivisere prosessen ved å slippe å legge inn parameter manuelt for hver vektor, men det krever at man setter seg inn i hvilken rekkefølge kodene skal kjøres. Dermed er det mye høyere terskel å produsere vektorer på denne måten enn å bruke brukergrensesnittet. Brukermanualen til RTKlib er svært omfattende og krever en del å sette seg inn i. Brukermanualen til Leica Geo Office er lettere å bruke. Dette er grunnen til at produksjonsløypa i vedlegg 7 er laget.

Den store fordelen med RTKlib 2.4.2 er at hver av elevene kan ha programmet på sin egen pc.

12. Konklusjon

En viktig egenskap til et etterprosessering-program er evnen til å gi fix-løsninger, da alternativet float-løsning fører til at resultatet må forkastes. RTKlib hadde en suksessrate på 100% i 2016-datasettet, 88% i 2017-datasettet og 100% i 2018-datasettet. Til sammenligning hadde Leica Geo Office suksessrater på 100%, 77%, 100% i tilsvarende datasett. De 96 punktene som er prosessert gir ikke grunnlag for å si at RTKlib har en høyere suksessrate for fix enn Leica Geo Office. Det man kan konkludere med er at RTKlib sin evne til fix-løsning virker lovende og bør undersøkes med en større mengde data.

Resultatet av en etterprosessering av statisk GNSS-observasjoner, roverens koordinater, har en nøyaktighetsforventning på centimeternivå. I denne analysen er vektorkomponentene og koordinatdifferansene fra Leica Geo Office satt som referanse. Vektorkomponentene og koordinatdifferansene ligger generelt noen millimeter unna Leica Geo Office sine. Feilkvadratsummene er i denne analysen noe lavere i RTKlib-vektornettene enn i Leica Geo Office-vektornettene etter utjevning uten og med grovfeilsøk før utjevning.

Når det gjelder brukervennlighet vil jeg si at ved bruk av manualene til programmene og brukergrensesnittet til RTKlib er det noe høyere terskel å lære seg RTKlib 2.4.2 istedenfor Leica Geo Office 2.4.2 til etterprosessering av statiske GNSS-målinger da brukermanualen til RTKlib 2.4.2 er svært omfattende.

13. Vedlegg

13.1 Vedlegg 1: refimport.m

```
function ref = refimport(filename, startRow, endRow)
%IMPORTFILE Import numeric data from a text file as a matrix.
%   RTKLIBBCT836T827 = IMPORTFILE(FILENAME) Reads data from text file
%   FILENAME for the default selection.
%
%   RTKLIBBCT836T827 = IMPORTFILE(FILENAME, STARTROW, ENDROW) Reads data
%   from rows STARTROW through ENDROW of text file FILENAME.
%
% Example:
%   rtklibbct836T827 = importfile('158_rtklibb_c_T836_T827.txt', 23, 23);
%
%   See also TEXTSCAN.

% Auto-generated by MATLAB on 2019/03/01 14:03:41

%% Initialize variables.
delimiter = ' ';
if nargin<=2
    startRow = 21;
    endRow = 21;
end

%% Format for each line of text:
%   column5: double (%f)
%   column6: double (%f)
%   column7: double (%f)
% For more information, see the TEXTSCAN documentation.
formatSpec = '%*s%*s%*s%*s%f%f%f%*s%*s%*s%*s%*s%*s%*s%*s%*s%[\n\r]';

%% Open the text file.
fileID = fopen(filename,'r');
```

```

%% Read columns of data according to the format.
% This call is based on the structure of the file used to generate this
% code. If an error occurs for a different file, try regenerating the code
% from the Import Tool.
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, endRow(1)-startRow(1)+1,
'Delimiter', delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true, 'TextType', 'string',
'HeaderLines', startRow(1)-1, 'ReturnOnError', false, 'EndOfLine', '\r\n');
for block=2:length(startRow)
    frewind(fileID);
    dataArrayBlock = textscan(fileID, formatSpec, endRow(block)-
startRow(block)+1, 'Delimiter', delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true,
'TextType', 'string', 'HeaderLines', startRow(block)-1, 'ReturnOnError',
false, 'EndOfLine', '\r\n');
    for col=1:length(dataArray)
        dataArray = [dataArray{col};dataArrayBlock{col}];
    end
end

%% Close the text file.
fclose(fileID);

%% Post processing for unimportable data.
% No unimportable data rules were applied during the import, so no post
% processing code is included. To generate code which works for
% unimportable data, select unimportable cells in a file and regenerate the
% script.

%% Create output variable
ref = [dataArray{1:end-1}];

```

13.2 Vedlegg 2: KOF.m

Programmeringsfeil er markert rødt.

```
function K = KOF(rootPath)
% Eksporterer RTKlib 2.4.2 RTKpost Static Single Output til KOF-format.
% Funksjonen KOF m?legges i en mappe med en undermappe med
% resultatfilene fra RTKpost. Funksjonen resulterer i at resultatet
% fra rtklib legges inn i NORKARTs KOF-format.
% Kodet av Kjersti Ensrud

filnavn = dirPlus(rootPath, 'FileFilter', '\.pos$', 'PrependPath',
false);
addpath(rootPath)

%% Importerer data fra RTKlib-filene
for i = 1:length(filnavn)
ref = refimport(string(filnavn(i)));
rov = rovimport(string(filnavn(i)));

%% Basekoordinater
Xb = ref(1);    Yb = ref(2);    Zb = ref(3);

%% Roverkoordinater
Xr = rov(1);    Yr = rov(2);    Zr = rov(3);

%% Vektorkomponenter
dX = Xr-Xb;    dY = Yr-Yb;    dZ = Zr-Zb;

%% Standardavvik
Mx = rov(4);    My = rov(5);    Mz = rov(6); % sdx sdy sdz

%% Kovarians
Kxy = rov(7)^2;    Kyz = rov(8)^2;    Kzx = rov(9)^2; % Fordi sdx er
kvadratroten av kovariansen.

%% Korrelasjonskoeffisient = kovarians/sqrt(sdx*sdxy)
Rxx = 1;          Ryy = 1;          Rzz = 1;
```

```

Rxy = Kxy/sqrt((Mx*My));      Ryz = Kyz/sqrt((My*Mz));      Rzx =
Kzx/sqrt((Mz*Mx));

%% Henter ut punktnavn til rover og base
splitt    = strsplit(string(filnavn(i)),'_');
splitt2   = strsplit(string(splitt(5)),'.');
```

basenavn = splitt(4); rovernavn = splitt2(1);

```

%% Skriver data til KOF-format

%Lager KOF-filnavn
KOFFilnavn =
sprintf('%.0f_%.0f_%.0f_%.0f.s.KOF',splitt(1),splitt(2),splitt(3),basenavn,r
overnavn);

fileID = fopen(KOFFilnavn,'w');
%% 41 STASJONSBLOKK FOR 1. MOTTAGERPUNKT
%   DB   Spkt   Sk   Nr       Ih   Bk Merk % ^ I2 ^ A10 ^ A8 ^ I8 X31
F6.3 ^ I2 ^ A7
fprintf(fileID,' 41 %10s %8s %8d                               %6.3f
%2d %7s',basenavn,' ',21,0.000);
%% 42 STASJONSBLOKK FOR 1. MOTTAGERPUNKT MED KOORDINATER
%   DB Spkt Sk X Y Z Ih Bk Merk % ^ I2 ^ A10 ^ A8 ^ F12.4 ^ F12.4 ^
F12.4 ^ F6.3 ^ I2 ^ A7
fprintf(fileID,'\n 42 %10s %8s %12.4f %12.4f %12.4f %6.3f %2d
%7s',basenavn,' ',Xb,Yb,Zb,0.000);
%% 43 M?EBLOKK
%   DB Spkt Sk dX dY dZ Ih Bk Merk % ^ I2 ^ A10 ^ A8 ^ F12.4 ^ F12.4 ^
F12.4 ^ F6.3 ^ I2 ^ A7
fprintf(fileID,'\n 43 %10s %8s %12.4f %12.4f %12.4f %6.3f %2d
%7s',rovernavn,' ',dX,dY,dZ,0.000);
%% 44 KOORDINATBLOKK
%   DB Mx My Mz Rxx Rxy Rxz Ryy Ryz Rzz Merk % ^ I2 ^ F8.4 ^ F8.4 ^ F8.4 ^
F7.4 ^ F7.4 ^ F7.4 ^ F7.4 ^ F7.4 ^ F7.4 ^ A7
fprintf(fileID,'\n 44 %8.4f %8.4f %8.4f %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f %7.4f
%7.4f %7s',Mx,My,Mz,Rxx,Rxy,Rxz,Ryy,Ryz,Rzz);
```



```
fclose(fileID);
```

```
end
```

```
end
```

13.3 Vedlegg 3: samleKOF.m

```
function [SKOF] = samleKOF(rootPath)
%Kodet av Kjersti Ensrud

filnavn = dirPlus(rootPath, 'FileFilter', '\.KOF$', 'PrependPath',
false);
addpath(rootPath)

data = fileread(char(filnavn(1)));
if data(end) ~= char(10)
    data(end + 1) = char(10);
end

for i = 2:length(filnavn)

    data = [data, fileread(char(filnavn(i)))];
    if data(end) ~= char(10)
        data(end + 1) = char(10);
    end
    [fid, msg] = fopen('output.KOF', 'W');
    if fid == -1, error(msg);end
    fwrite(fid, data, 'char');
end
fclose(fid);
```

13.4 Vedlegg 4: rovimport.m

```
function rov = rovimport(filename, startRow, endRow)
%IMPORTFILE Import numeric data from a text file as a matrix.
%   RTKLIBBCT836T827 = IMPORTFILE(FILENAME) Reads data from text file
%   FILENAME for the default selection.
%
%   RTKLIBBCT836T827 = IMPORTFILE(FILENAME, STARTROW, ENDROW) Reads
data
%   from rows STARTROW through ENDROW of text file FILENAME.
%
% Example:
%   rtklibbcT836T827 = importfile('158_rtklibb_c_T836_T827.txt', 27,
27);
%
%   See also TEXTSCAN.

% Auto-generated by MATLAB on 2019/03/01 14:06:42

%% Initialize variables.
delimiter = ' ';
if nargin<=2
    startRow = 25;
    endRow = inf;
end

%% Format for each line of text:
formatSpec = '%s%s%f%f%f*s*s%f%f%f%f%f*f*s*s%[\n\r]';

%% Open the text file.
fileID = fopen(filename,'r');

%% Read columns of data according to the format.
% This call is based on the structure of the file used to generate this
% code. If an error occurs for a different file, try regenerating the
code
% from the Import Tool.
```

```
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, endRow(1)-startRow(1)+1,
'Delimiter', delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true, 'TextType',
'string', 'HeaderLines', startRow(1)-1, 'ReturnOnError', false,
'EndOfLine', '\r\n');
for block=2:length(startRow)
    frewind(fileID);
    dataArrayBlock = textscan(fileID, formatSpec, endRow(block)-
startRow(block)+1, 'Delimiter', delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true,
'TextType', 'string', 'HeaderLines', startRow(block)-1,
'ReturnOnError', false, 'EndOfLine', '\r\n');
    for col=1:length(dataArray)
        dataArray{col} = [dataArray{col};dataArrayBlock{col}];
    end
end

%% Close the text file.
fclose(fileID);

%% Create output variable
rov = [dataArray{1:end-1}];
```

13.5 Vedlegg 6: Oversikt matlab-koder

Filnavn	Hva koden gjør	Programmert av
refimport.m	Importerer koordinatene til referanse-mottakeren fra resultatfilen fra RTKlib. = Vedlegg 1	Kjersti Ensrud
rovimport.m	Importerer koordinatene til rover-mottakeren fra resultatfilen fra RTKlib. = Vedlegg 4	Kjersti Ensrud
KOF.m	Overfører koordinater beregnet av RTKlib som vektorer i KOF-format. = Vedlegg 2. (Programmeringsfeil er merket med rødt.)	Kjersti Ensrud
samleKOF.m	Henter ut filnavnene til alle KOF-filene i en mappe. Legger all data i KOF-filene i en ny KOF-fil. = Vedlegg 3.	Kjersti Ensrud
dirPlus.m	Gjør det mulig å ha mappestruktur i matlab.	Kenneth P. Eaton

13.6 Vedlegg 7: Produksjonsløype

Produksjonsløype som er en kortversjon av kapittel 6: Metode er tenkt som en brukermanual for studentene ved NMBU ved eventuell bruk av RTKlib i emnet GMD211. Produksjonsløypen ligger som digitalt vedlegg under denne linken: https://www.dropbox.com/s/kh6ftma21pvzwbz/MANUAL_GMGD211.pdf?dl=0

NB! Viktig å rette opp i programmeringsfeil i «KOF.m» før denne brukermanualen brukes. Det vil si linje markert rødt i vedlegg 2.

14. Illustrasjon- og tabellregister

ILLUSTRASJON 1 VISER ET KODESIGNAL SENDT FRA EN SATELLITT OG TILSVARENDE KODE GENERERT I MOTTAKER. ΔT KALLES GANGTID OG ER TIDEN DET TOK SIGNALET FRA SATELLITT TIL MOTTAKER. FIGUREN ILLUSTRERER OPPNÅDD MAKSIMAL KORRELASJON ETTER TRINNVIS FORSKYVNING AV KODEN. BILDET ER HENTET FRA: T.SKOGSETH OG D.NORDBERG (2014).....	12
ILLUSTRASJON 2 VISER EN SATELLITT VED TIDSPUNKT t_0 OG t_1 . FIGUREN ILLUSTRERER FASEMÅLING HVOR FASEFORSKJELLEN MELLOM FASEMÅLINGENE ϕ_0 OG ϕ_1 . N ER DET UKJENTE ANTALLET HELE BØLGELENGDER AVSTANDEN MELLOM SATELLITTEN OG MOTTAKERANTENNA VED ULIKE TIDSPUNKT UTGJØR. BILDET ER HENTET FRA: (T.SKOGSETH & D.NORDBERG, 2014).....	13
ILLUSTRASJON 3 VISER KONSEPTET AV POSISJONSBESTEMMELSE MED 3 SATELLITTER OG SKJÆRINGS-PUNKTET AVSTANDENE FRA SATELLITTENE DANNER I PUNKTET P DA MOTTAKERANTENNA STÅR SENTRERT OVER DETTE PUNKTET. BILDET ER HENTET FRA: (T.SKOGSETH & D.NORDBERG, 2014).....	13
ILLUSTRASJON 4 VISER OPPSTILT ANTENNE PÅ STATIV FOR GNSS-MÅLINGER. HVOR VE_1 OG VE_2 ILLUSTRERER EKSENTRISITETEN TIL FREKVENSENE L_1 OG L_2 . H_0 ER ANTENNERADIUS. DEN STIPLEDE LINJEN ER SKRÅ ANTENNEHØYDE FRA BOLT TIL MERKET PÅ ANTENNENS SIDEKANT.	15
ILLUSTRASJON 5 VISER OPPSETTET VED KLASSEK STATISK MÅLEMETODE. HVOR ϕ ER FASEMÅLINGER FRA SATELLITTENE MÅLT I MOTTAKER.	21
ILLUSTRASJON 6 VISER FERDIG INTEGRERTE SANNSYNLIGHETER FOR ULIKE INTERVALLER I EN STANDARD NORMALFORDELING MED GJENNOMSNITT LIK 0 OG STANDARDAVVIK LIK 1. 68 % AV DATAENE FALLER INNENFOR 1 STANDARDAVVIK FRA GJENNOMSNITTET, 95 % AV DATAENE FALLER INNENFOR 2 STANDARDAVVIK FRA GJENNOMSNITTET OG 99.7% AV DATAENE FALLER INNENFOR 3 STANDARDAVVIK FRA GJENNOMSNITTET.	25
ILLUSTRASJON 7 VISER ET EKSEMPEL PÅ KOF-FIL PRODUSERT VED HJELP AV MATLAB-KODEN «KOF.M».	27
ILLUSTRASJON 8 VISER VEKTORNETTET SOM BLE MÅLT SOMMER 2016 I ÅS KOMMUNE OG OMEGN.	39
ILLUSTRASJON 9 VISER VEKTORNETTET SOM BLE MÅLT SOMMER 2017 I ÅS KOMMUNE OG OMEGN.	39
ILLUSTRASJON 10 VISER VEKTORNETTET SOM BLE MÅLT SOMMER 2018 I ÅS KOMMUNE OG OMEGN.	40
ILLUSTRASJON 11 VISER ANTENNEOPPSETTET I RTKLIB. ANTENNE TYPEN TPSPG_A1 MED KORREKSJONER FOR ULIKE ZENITH-VINKLER HENTES FRA ATX-FILEN. KOORDINATER FRA RINEX-FILEN TIL REFERANSEMOTTAKEREN SKRIVES INN MANUELT. DET SAMME MED ANTENNEHØYDENE TIL ROVER OG REFERANSE.	44
TABELL 1 VISER EN KORTFATTET OVERSIKT HVILKEN LISENSTYPE PROGRAMMET FALLER UNDER, SATELLITTSYSTEMER SOM STØTTES, TILGJENGELIGE EFEMERIDER, FORMATER SOM STØTTES, PROSESSERINGSMETODER, KORREKSJONER, DATUM OG SYSTEMKRAV FOR RTKLIB 2.4.2 OG LEICA GEO OFFICE 8.2 HAR.	29
TABELL 2 VISER HYPOTSETESTENE OG TILHØRENDE FORKASTNINGSKRAV FOR NULLHYPOTSESEN I PARET T-TEST.	33
TABELL 3 VISER EN OVERSIKT OVER TO MULIGE FEIL SOM KAN GJØRES VED HYPOTSETESTING. TYPE I FEIL HVOR NULLHYPOTSESEN H_0 BLIR FORKASTET NÅR DEN ER RIKTIG, OG TYPE II FEIL HVOR H_0 IKKE BLIR FORKASTET SELV OM DEN ER GAL.	37
TABELL 4 TABELLEN VISER PUNKTNAVNE I BRUKT I RÅDATAENE I FØRSTE KOLONNE OG NAVNENE KARTVERKET HAR GITT PUNKTENE I SITT LANDSNETT OG STAMNETT I ANDRE KOLONNE, STEDSNAVN FOR OMRÅDET PUNKTET LIGGER I, OG KOORDINATENE N , E OG H I EUREF89 UTM 32. HØYDENE ER ELLIPSOIDISKE. KOORDINATENE ER GITT AV KARTVERKET GJENNOM OLA ØVSTEDAL.....	38
TABELL 5 VISER EN OVERSIKT OVER FIX- OG FLOATLØSNINGER VED PROSESSERING AV VEKTORER FRA RINEX-FILENE FRA 2016 I LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2. FRA-FIL ER FILNAVNEN TIL OBSERVASJONSFILEN FRA REFERANSEMOTTAKEREN, OG TIL-FIL ER FILNAVNEN TIL OBSERVASJONSFILEN FRA ROVERMOTTAKEREN ETTER EN MÅLESEJON. FRA- OG TIL-FILENE DEFINERE HVILKE PUNKT VEKTORERNE I VEKTORNETTET FRA 2016 GÅR FRA OG TIL.....	48
TABELL 6 VISER EN OVERSIKT OVER FIX- OG FLOATLØSNINGER VED PROSESSERING AV VEKTORER FRA RINEX-FILENE FRA 2016 I LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2. FRA-FIL ER FILNAVNEN TIL OBSERVASJONSFILEN FRA REFERANSEMOTTAKEREN, OG TIL-FIL ER FILNAVNEN TIL OBSERVASJONSFILEN FRA ROVERMOTTAKEREN ETTER EN MÅLESEJON. FRA- OG TIL-FILENE DEFINERE HVILKE PUNKT VEKTORERNE I VEKTORNETTET FRA 2017 GÅR FRA OG TIL.....	49
TABELL 7 VISER EN OVERSIKT OVER FIX- OG FLOATLØSNINGER VED PROSESSERING AV VEKTORER FRA RINEX-FILENE FRA 2016 I LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2. FRA-FIL ER FILNAVNEN TIL OBSERVASJONSFILEN FRA REFERANSEMOTTAKEREN, OG TIL-	

FIL ER FILNAVNEN TIL OBSERVASJONSFILEN FRA ROVERMOTTAKEREN ETTER EN MÅLESEJON. FRA- OG TIL-FILENE DEFINERE HVILKE PUNKT VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017 GÅR FRA OG TIL.....	50
TABELL 8 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔX FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2018. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_x , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	51
TABELL 9 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔY FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2018. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_y , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	51
TABELL 10 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔZ FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2018. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_z , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	52
TABELL 11 VISER DIFFERANSEN MELLOM KOORDINATDIFFERANSEN ΔN FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2018. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_N , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	53
TABELL 12 VISER DIFFERANSEN MELLOM KOORDINATDIFFERANSEN ΔE FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2018. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_E , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	53
TABELL 13 VISER DIFFERANSEN MELLOM KOORDINATDIFFERANSEN ΔH FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2018. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_H , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	54
TABELL 14 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔX FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_x , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	55
TABELL 15 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔY FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_y , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	55
TABELL 16 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔZ FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_Z , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	56
TABELL 17 VISER DIFFERANSEN MELLOM KOORDINATDIFFERANSEN ΔN FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAVN HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAVN PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_N , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBREDDE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	57

TABELL 18 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔE FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_E , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	57
TABELL 19 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔH FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2017. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_H , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	58
TABELL 20 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔX FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2016. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_X , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	59
TABELL 21 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔY FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2016. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_Y , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	59
TABELL 22 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔZ FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2016. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_Z , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	60
TABELL 23 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔN FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2016. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_N , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	61
TABELL 24 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔE FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2016. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_E , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	61
TABELL 25 VISER DIFFERANSEN MELLOM VEKTORKOMPONENTEN ΔH FRA LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2 FOR VEKTORENE I VEKTORNETTET FRA 2016. I FØRSTE KOLONNE LIGGER PUNKTNAV N HVOR EN REFERANSEMOTTAKER HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. I FØRSTE RAD LIGGER PUNKTNAV N PÅ PUNKT HVOR ROVERMOTTAKEREN HAR STÅTT I MÅLETIDSPUNKTET. SYSTEMATISK AVVIK A_H , STANDARDAVVIK OG VARIASJONSBR EDDRE ER BEREGNET FOR DIFFERANSENE. ENHET FOR STØRRELSENE I TABELLEN ER METER.	62
TABELL 26 VISER HYPOTSETESTER SATT OPP ETTER TABELL 2 FOR KOORDINATDIFFERANSENE FRA RTKLIB 2.4.2 OG LEICA GEO OFFICE 8.2. HVOR MRTK ER GJENNOMSNI TTET TIL KOORDINATDIFFERANSENE FRA RTKLIB OG MLGO ER GJENNOMSNI TTET TIL KOORDINATDIFFERANSENE FRA LEICA GEO OFFICE.	63
TABELL 27 VISER T-KVANTILER FRA T-FORDELING BEREGNET MED EXCEL-FUNKSJONEN T.INV.2T. T-KVANTILENE ER BEREGNET MED 43 FRIHETSGRADER DA DET ER 44 PAR SOM TESTES.	63
TABELL 28 VISER KONFIDENSINTERVALL FOR GJENNOMSNI TTET TIL DIFFERANSENE M_0 TIL $(\Delta N_{RTK}, \Delta N_{LGO})$ -PARENE I PARET T-TEST. VED SIGNIFIKANSNIVÅENE 0.05 OG 0.01. MED TESTVERDI $T = 0.7985$	63
TABELL 29 VISER SVAR PÅ HYPOTSETESTENE I TABELL 26 FOR $(\Delta N_{RTK}, \Delta N_{LGO})$ -PARENE VED SIGNIFIKANSNIVÅENE 0.05 OG 0.01. MED TESTVERDI $T = 0.7985$	63
TABELL 30 VISER KONFIDENSINTERVALL FOR GJENNOMSNI TTET TIL DIFFERANSENE M_D TIL $(\Delta E_{RTK}, \Delta E_{LGO})$ -PARENE I PARET T-TEST. VED SIGNIFIKANSNIVÅENE 0.05 OG 0.01. MED TEST-VERDI $T = 0.1151$	64
TABELL 31 VISER SVAR PÅ HYPOTSETESTENE I TABELL 26 FOR $(\Delta E_{RTK}, \Delta E_{LGO})$ -PARENE VED SIGNIFIKANSNIVÅENE 0.05 OG 0.01. MED TEST-VERDI $T = 0.1151$	64

TABELL 32 VISER KONFIDENSINTERVALL FOR GJENNOMSNIET TIL DIFFERANSENE MD TIL (ΔH_{RTK} , ΔH_{LGO})-PARENE I PARET T-TEST. VED SIGNIFIKANSNIVÅENE 0.05 OG 0.01. MED TEST-VERDI $T = 1.5338$	64
TABELL 33 VISER SVAR PÅ HYPOTETESTENE I TABELL 26 FOR (ΔH_{RTK} , ΔE_{LGO})-PARENE VED SIGNIFIKANSNIVÅENE 0.05 OG 0.01. MED TEST-VERDI $T = 1.5338$	64
TABELL 34 VISER FORSKJELLEN MELLOM ASIMUT, AVSTAND OG VERTIKALVINKEL MELLOM VEKTOREN ETTER-PROSESSERT I LEICA GEO OFFICE OG RTKLIB I 2018 VEKTORNETTET. FRA OG TIL-KOLONNENE DEFINERER HVILKEN VEKTOR DET GJELDER. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	65
TABELL 35 VISER FORSKJELLEN MELLOM ASIMUT, AVSTAND OG VERTIKALVINKEL MELLOM VEKTOREN ETTER-PROSESSERT I LEICA GEO OFFICE OG RTKLIB I 2017 VEKTORNETTET. FRA OG TIL-KOLONNENE DEFINERER HVILKEN VEKTOR DET GJELDER. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	66
TABELL 36 VISER FORSKJELLEN MELLOM ASIMUT, AVSTAND OG VERTIKALVINKEL MELLOM VEKTOREN ETTER-PROSESSERT I LEICA GEO OFFICE OG RTKLIB I 2016 VEKTORNETTET. FRA OG TIL-KOLONNENE DEFINERER HVILKEN VEKTOR DET GJELDER. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	67
TABELL 37 VISER RESULTAT ETTER FRI UTJEVNING I GRUNNRISSEN UTEN GROVFEILSØK I VEKTORNETTET FRA 2016 I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	68
TABELL 38 VISER RESULTAT ETTER FRI UTJEVNING I HØYDE UTEN GROVFEILSØK I VEKTORNETTET FRA 2016 I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	68
TABELL 39 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I GRUNNRISSEN FRA 2016 ETTER FRI UTJEVNING UTEN GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	68
TABELL 40 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I HØYDE FRA 2016 ETTER FRI UTJEVNING UTEN GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).....	68
TABELL 41 VISER RESULTAT ETTER FRI UTJEVNING I GRUNNRISSEN UTEN GROVFEILSØK I VEKTORNETTET FRA 2017 I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	69
TABELL 42 VISER RESULTAT ETTER FRI UTJEVNING I HØYDE UTEN GROVFEILSØK I VEKTORNETTET FRA 2017 I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	69
TABELL 43 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I GRUNNRISSEN FRA 2017 ETTER FRI UTJEVNING UTEN GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	69
TABELL 44 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I HØYDE FRA 2017 ETTER FRI UTJEVNING UTEN GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).....	69
TABELL 45 VISER RESULTAT ETTER FRI UTJEVNING I GRUNNRISSEN UTEN GROVFEILSØK I VEKTORNETTET FRA 2018 I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	70
TABELL 46 41 VISER RESULTAT ETTER FRI UTJEVNING I HØYDE UTEN GROVFEILSØK I VEKTORNETTET FRA 2018 I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	70
TABELL 47 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I GRUNNRISSEN FRA 2018 ETTER FRI UTJEVNING UTEN GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	70
TABELL 48 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I HØYDE FRA 2018 ETTER FRI UTJEVNING UTEN GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).....	70
TABELL 49 VISER STATISTIKK ETTER FRI UTJEVNING I GRUNNRISSEN AV VEKTORNETTENE FRA 2016 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	71
TABELL 50 VISER STATISTIKK ETTER FRI UTJEVNING I HØYDE AV VEKTORNETTENE FRA 2016 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	71
TABELL 51 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I GRUNNRISSEN FRA 2016 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).....	71
TABELL 52 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I HØYDE FRA 2016 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).....	72

TABELL 53 VISER STATISTIKK ETTER FRI UTJEVNING I GRUNNRIS AV VEKTORNETTENE FRA 2017 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	73
TABELL 54 VISER STATISTIKK ETTER FRI UTJEVNING I HØYDE AV VEKTORNETTENE FRA 2017 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	73
TABELL 55 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I GRUNNRIS FRA 2017 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	73
TABELL 56 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I HØYDE FRA 2017 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	74
TABELL 57 VISER STATISTIKK ETTER FRI UTJEVNING I GRUNNRIS AV VEKTORNETTENE FRA 2018 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	75
TABELL 58 VISER STATISTIKK ETTER FRI UTJEVNING I HØYDE AV VEKTORNETTENE FRA 2018 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE: FEILKVADRATSUM OG STANDARDAVVIK PÅ VEKSTENHETEN. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE).	76
TABELL 59 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I GRUNNRIS FRA 2018 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	76
TABELL 60 VISER RESULTAT ETTER KJIKVADRAT-TEST AV VEKTORNETTENE I HØYDE FRA 2018 ETTER GROVFEILSØK I GISLINE. RESULTATENE ER PÅVIRKET AV EN PROGRAMMERINGSFEIL (LES FOTNOTE)	76
TABELL 61 VISE VALGTE PROSESSERINGS-PARAMETER I LEICA GEO OFFICE 8.2 OG RTKLIB 2.4.2	77

- B.Forssell. (2013). *Store Norske Leksikon*. "ionosfærisk forsinkelse": Store Norske Leksikon.
- B.Forssell. (2019a). *Store Norske Leksikon*. B.Førssell (red.). "GPS": Store Norske leksikon.
- B.Forssell. (2019b). *Store Norske Leksikon*. "Glonass": Store Norske Leksikon.
- B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtengegger & E.Wasle. (2008). *"GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more"*: SpringerWienNewYork.
- B.Wisniewski, K.Bruniecki & M.Moszynski. (2013). Evaluation of RTKLIB's Positioning Accuracy Using low-cost GNSS Receiver and ASG-EUPOS. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 7 (1): 79-85. doi: 10.12716/1001.07.01.10.
- C.Ghilani. (2010). *Adjustment computations: spatial data analysis / Charles D.Ghilani* 5utg. New Jersey: John Wiley & Sons.
- G.Seeber. (2003). *Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications / Günter Seeber*. 2nd completely revised and extended edition utg. Berlin: Walter de Gruyter.
- Geonorge. (2019). *Fastmerker - Landsnett og stamnett*: Geonorge. Tilgjengelig fra: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/fastmerker-landsnett-og-stamnett/b0bea40a-2e4b-4ae0-8439-7037a3b60181> (lest 27.04.2019).
- IGS. (2019). "About". Tilgjengelig fra: <http://www.igs.org/about>.
- J.Backus, R.Beeber & S.Best. (1957). "THE FORTRAN AUTOMATIC CODING SYSTEM" Computer History. Tilgjengelig fra: <https://archive.computerhistory.org/resources/text/Fortran/102663113.05.01.acc.pdf> (lest 27.04.2019).
- K.Frøslie. (2018). *Store Norske Leksikon*. "Korrelasjon": Store Norske Leksikon.
- Kartverket. (2009). "SATELLITBASERT POSISJONSBESTEMMELSE Versjon 2.1". Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/satbasssystemer.pdf> (lest 13.05.2019).
- Kartverket. (2015). "Geodatakvalitet": Kartverket. Tilgjengelig fra: <https://kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/geodatakvalitet.pdf> (lest 07.05.2019).
- Kartverket. (2018a). "De koordinatbestemte fastmerkene". Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/kunnskap/Kart-og-kartlegging/De-koordinatbestemte-fastmerkene/> (lest 10.04.2019).
- Kartverket. (2018b). "Endringer i koordinatene på Kartverkets fastmerker". Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/Om-Kartverket/Nyheter/endringer-i-koordinatene-pa-kartverkets-fastmerker/> (lest 13.05.2019).
- Kartverket. (2018c). "Referanserammer for Noreg". Tilgjengelig fra: <https://kartverket.no/Posisjonstjenester/bruke-referanserammer/Referanserammer-for-Noreg/> (lest 30.04.2019).
- Kartverket. (2018d). "Transformasjoner". Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/Posisjonstjenester/bruke-referanserammer/Transformasjoner/> (lest 27.04.2019).
- Kartverket. (2019). "EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5 - 30 ". Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/posisjonstjenester/euref89ntmbeskrivelse.pdf> (lest 14.05.2019).
- Leica. *Leica Geo Office Online Help*. Upublisert manuskript.
- Løvås, G. (2013). *Statistikk for universitet og høyskoler*, b. 3.utg: Universitetsforlaget.

- MathWorks. (2019). "What is MATLAB?": MathWorks. Tilgjengelig fra:
<https://se.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html> (lest 27.04.2019).
- MathWorks, T. "Statistics Toolbox For Use with MATLAB®": NTNU. Tilgjengelig fra:
http://folk.ntnu.no/thz/matlab_doc/stats.pdf (lest 08.05.2019).
- NGS. (2019). "Antenna Calibration FAQ". Tilgjengelig fra:
<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/FAQ.xhtml#faq1> (lest 30.04.2019).
- NORKART. (2019). "Oppmåling": NORKART. Tilgjengelig fra:
<https://www.norkart.no/product/oppmaling/> (lest 27.04.2019).
- S.Aanensen & O.Kristensen. (2018). "Tredimensjonale vektorkoordinater, definisjon og regneregler": ndla.no. Tilgjengelig fra:
<https://ndla.no/subjects/subject:32/topic:1:165872/topic:1:165886/resource:1:107038> (lest 11.05.2019).
- T.Skogseth & D.Nordberg. (2014). "Grunnleggende landmåling". 3 utg. Norge: Gyldendal undervisning.
- T.Takasu. (2013). "RTKLIB ver. 2.4.2 Manual". Tilgjengelig fra:
http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf (lest 14.05.2019).
- Ø.Borgan. (2007). "Hypotesetesting - Notat til STK1110". STK1110, UIO: UIO.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway