



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi
Geomatikk

En nøyaktighetsvurdering av lengdeberegningen på løyper målt med håndholdte GNSS-mottakere

A quality assessment of the accuracy of track
lengths measured with handheld GNSS-receivers

Eivind Kjølberg

Geomatikk

Forord

Denne masteroppgaven, som ble arbeidet på i løpet av semesteret 1. februar til 15. mai 2019, markerer avslutningen på mitt femårige studium i geomatikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Jeg vil takke min veileder Ola Øvstedal for rådgivning og veiledning dette siste halvåret. Jeg vil også rette en takk til mine medstudenter Tatiana Perfilyeva for hjelp under måling med totalstasjon, Bendik Hassel for bildetagning av utstyr med et ordentlig kamera, og Bjarne Undheim for utlån av sykkel ettersom min egen sykkel ikke var egnet til å montere en Jones-Riegel Counter på. Til slutt vil jeg takke Vegard Nilsen for å ha laget L^AT_EX-malen jeg brukte til å skrive denne oppgaven med og Ivar Maalen-Johansen for hjelp til å fremskaffe ortofoto.

Ås, mai 2019

Eivind Kjølberg

Sammendrag

GNSS-mottakere kommer i ulike størrelser og prisklasser, avhengig av formålet de er ment for. Billige GNSS-mottakere har i løpet av det siste tiåret blitt i større grad tilgjengelig for allmennheten gjennom implementasjon i mobiltelefoner, treningsklokker og andre mindre håndholdte apparater. Det denne oppgaven har tatt sikte på er å undersøke nøyaktigheten til avstandsmålingene som blir gjort fra observasjoner med treningsklokker, i tillegg til en CPOS-antenne. Det har blitt benyttet to modeller av treningsklokker fra Garmin; Forerunner 935 og Fenix 3, der begge klokkene er stilt inn til å måle GPS og Glonass-signaler.

Målinger ble samlet fra fire ulike områder, for å se hvilken effekt omgivelsene rundt mottakerne har under måling. På alle måleområdene ble det målt med alle de tre nevnte instrumentene. I tillegg ble løypene målt inn med en Jones-Riegel Counter, for å få et veldig nøyaktig mål på løypelengden. En Jones-Riegel Counter er standard instrument for å måle lengden på offisielle gateløp, og derfor ble avstandene målt på denne måten ansett som en fasit. Deretter ble koordinatene fra resultatfilene til alle måleinstrumentene ekstrahert og en avstand ble beregnet som en kumulativ sum gjennom alle koordinatene. Disse avstandene, sammen med de avstandene som var beregnet internt fra klokkenes egen algoritme, ble sammenlignet med avstandene fra Jones-Riegel Counteren med hensyn til måleområdene målingene ble gjort på. Løypesporene ble senere brukt i en algoritme som estimerer en vektet midling av løypene.

Etttersom Garmin kun oppgir en punktnøyaktighet for klokkene sine, var det vanskelig å fastslå en forventet nøyaktighet på avstandsberegningen. Det ble observert at avvikene mellom målinger med treningsklokkene og Jones-Riegel Counter varierte avhengig av hvor målingene var gjort. De mest stabile resultatene med treningsklokkene ble gjort i skogsløypa, mens det var større variasjon i et urbant område som Oslo sentrum. Treningsklokkene var mer robuste mot grove feilmålinger enn CPOS, men avstandsnøyaktigheten ble tydelig påvirket av omgivelsene. På en løpebane over flere runder varierte resultatene veldig, men felles var at alle avstandene rundt banen ble overestimert. På stadion var CPOS overlegen, da forholdene var nesten optimale for slik måling.

Abstract

GNSS receivers come in different sizes and prices, depending on their intended purpose. Cheap GNSS receivers have become more widely available to the public over the past decade through implementation in mobile phones, exercise watches and other small handheld devices. The purpose of this thesis is to examine the accuracy of length measurements made from observations with training watches, in addition to a CPOS antenna. Two models of exercise watches by Garmin have been used; Forerunner 935 and Fenix 3, where both watches were set to measure both GPS and Glonass signals.

Measurements were collected from four different case areas, to see what effect the surroundings around the receivers had during measurement. In all case areas, all three of the above mentioned instruments were used. In addition, the trails were measured with a Jones-Riegel Counter, to get a very accurate measure of the track length. A Jones-Riegel Counter is the standard instrument for measuring the length of official street races, and therefore the lengths measured in this way were considered to be the true value. Then, the coordinates from the result files of all the instruments were extracted and a length was calculated as a cumulative sum through all the coordinates. These lengths, along with the lengths calculated internally from the clock's own algorithm, were compared to the lengths from the Jones-Riegel Counter with respect to the case areas in which the measurements were made. The tracks were later used in an algorithm that estimates a weighted average track.

Since Garmin only provides a point accuracy for its watches, it was difficult to determine an expected accuracy of the length calculation. It was observed that the differences between measurements with the training watches and the Jones-Riegel Counter varied depending on where the measurements were done. The most stable results with the training watches were made in the forest trail, whilst greater variation was observed in an urban area such as Oslo city center. Training watches were more robust against crude error measurements than CPOS, but the length accuracy was clearly affected by the surroundings. Over several consecutive 400 m track runs the results varied very much, but all the lengths around the track were overestimated. At the stadium, CPOS was superior, as the conditions were almost optimal for such measurements.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Innhold	vii
Figurer	xii
Tabeller	xiv
Forkortelser	xv
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Tidligere forskning	2
1.3 Formål med oppgaven	2
2 Teori	5
2.1 GNSS	5
2.1.1 Beskrivelse	5
2.1.1.1 Feilkilder ved GNSS	6
2.1.2 CPOS	8
2.1.3 GNSS i treningsklokker	9
2.1.3.1 Høydebestemmelse og -referanse	9
2.2 Minste kvadraters metode	10
2.2.1 Grovfeilsøk	11
2.3 Kalmanfilter	13
2.4 Geodetiske koordinatsystemer	14
2.4.1 Geosentriske kartesiske koordinater (X, Y, Z)	14
2.4.2 Geodetiske koordinater (ϕ, λ, h)	16
2.4.3 Universal Transverse Mercator (<i>easting, northing</i>)	17
2.4.4 Lokaltoposentriske koordinater (e, n, u)	17
2.4.5 Konvertering mellom koordinatsystemer	18
2.5 Nøyaktighet og presisjon	20

3	Metode	23
3.1	Forsøksdesign	23
3.2	Materialer	26
3.2.1	Jones Counter	27
3.2.2	CPOS	29
3.3	Valg av måleområder	30
3.3.1	Sykelsti langs Åsveien (Kalibreringsområde)	31
3.3.2	Holstadstien i Askjumskogen	33
3.3.3	Oslo sentrum	35
3.3.4	400m friidrettsbane på Ås stadion	36
3.4	Datainnsamling	37
3.4.1	Logg	37
4	Resultater	41
4.1	Kalibreringsstripe	41
4.1.1	Kalibrering av JC	41
4.1.2	Tabeller med beregnede avstander	42
4.2	Askjumskogen	45
4.2.1	Ortofoto med løypespor	45
4.2.2	Tabeller med beregnede avstander	47
4.3	Oslo sentrum	50
4.3.1	Ortofoto med løypespor	50
4.3.2	Tabeller med beregnede avstander	52
4.4	Ås stadion	54
4.4.1	Ortofoto med løypespor	54
4.4.2	Tabeller med beregnede avstander	55
4.5	Kombinerte løsninger	58
5	Diskusjon	61
6	Konklusjon	67
6.1	Konklusjon	67
6.2	Forslag til videre arbeid	69
	Referanser	71
	Vedlegg A Bruk av <i>lin_stat1</i> og <i>line_est.m</i>	73
	Vedlegg B Alle estimerte spor	77
B.1	Askjumskogen	77
B.2	Oslo sentrum	81

B.3 Ås stadion 84

Figurer

2.1	Et kartesisk geosentrisk koordinatsystem	15
2.2	Et geodetisk koordinatsystem	16
2.3	Et lokaltoposentrisk koordinatsystem	18
2.4	Eksempler på nøyaktighet og presisjon	21
3.1	Tilnærming av jordkrumning som plan flate	24
	(a) Konsept	24
	(b) Problemstilling	24
3.2	Montering av klokke og JC	27
	(a) Forerunner 935 (t.v.) og Fenix 3	27
	(b) Jones Counter	27
3.3	Design av JC	29
3.4	CPOS utstyr	30
	(a) Sekken som ble brukt til CPOS måling	30
	(b) CPOS antenne montert på sekken	30
3.5	Kalibreringsstripe	32
3.6	Løype i Askjumskogen	33
3.7	Løype i Oslo sentrum	35
3.8	Løype på Ås stadion	36
4.1	Spor fra de ulike målekildene i Askjumskogen	45
	(a) Forerunner 935	45
	(b) Fenix 3	45
	(c) CPOS	45
4.2	Løype i Askjumskogen med fix/float visning	46
4.3	Løype i Oslo med fix/float visning	50
4.4	Spor fra treningsklokkene i Oslo sentrum	51
	(a) Fenix 3	51
	(b) Forerunner 935	51
4.5	Spor fra treningsklokkene og CPOS fra enkeltrunder på Ås stadion	54
	(a) Forerunner 935	54

(b)	Fenix 3	54
(c)	CPOS	54
4.6	Spor fra treningsklokkene fra 5000 m på Ås stadion	57
(a)	Forerunner 935	57
(b)	Fenix 3	57
4.7	Andel av målinger per målemetode	60
A.1	Oppretting av observasjonsfiler	73
A.2	Oppretting av konfigurasjonsfil	74
A.3	Kommandovindu etter kjøring av <i>lin_stat1</i>	74
A.4	Resultatfil etter kjøring av <i>line_est.m</i>	75
B.1	Skog: Fenix 3	77
B.2	Skog: Forerunner 935	77
B.3	Skog: CPOS	78
B.4	Skog: Fenix 3, Forerunner 935	78
B.5	Skog: CPOS, Fenix 3	79
B.6	Skog: CPOS, Forerunner 935	79
B.7	Skog: CPOS, Fenix 3, Forerunner 935	80
B.8	Oslo: Fenix 3	81
B.9	Oslo: Forerunner 935	81
B.10	Oslo: CPOS	82
B.11	Oslo: Fenix 3, Forerunner 935	82
B.12	Oslo: CPOS, Fenix 3	83
B.13	Oslo: CPOS, Forerunner 935	83
B.14	Oslo: CPOS, Fenix 3, Forerunner 935	84
B.15	Stadion: Fenix 3	84
B.16	Stadion: Forerunner 935	84
B.17	Stadion: CPOS	85
B.18	Stadion: Fenix 3, Forerunner 935	85
B.19	Stadion: CPOS, Fenix 3	85
B.20	Stadion: CPOS, Forerunner 935	85
B.21	Stadion: CPOS, Fenix 3, Forerunner 935	86

Tabeller

2.1	Kodeliste for målemetoder	9
3.1	Avvik mellom skråavstander og horisontal avstand ved ulike hellinger. . .	25
3.2	En oversikt over alt utstyr og programvare som ble brukt i oppgaven . .	26
3.3	Stedfestingstoleranse for ortofoto	31
3.4	Metadata om ortofoto over kalibreringsstripa	32
3.5	Metadata om ortofoto over Askjumskogen og Ås stadion	34
3.6	Metadata om ortofoto over Oslo sentrum	35
4.1	Resultater fra totalstasjonsmålinger	41
4.2	Resultater fra måling på kalibreringsstripa	42
4.3	Avvik fra JC langs kalibreringsstripa	43
4.4	Avvik mellom geometrisk og klokkeavstand langs kalibreringsstripa . . .	43
4.5	Relative avvik for geometriske og interne avstander langs kalibreringsstripa	44
4.6	Resultater fra måling i Askjumskogen	47
4.7	Avvik fra JC i Askjumskogen	48
4.8	Avvik mellom geometrisk og klokkeavstand i Askjumskogen	49
4.9	Valgte referansefiler i Askjumskogen	49
4.10	Resultater fra måling i Oslo sentrum	52
4.11	Avvik fra JC i Oslo sentrum	52
4.12	Avvik mellom geometrisk og klokkeavstand i Oslo sentrum	53
4.13	Valgte referansefiler i Oslo sentrum	53
4.14	Resultater fra måling på Ås stadion	55
4.15	Avvik fra JC på Ås stadion	55
4.16	Avvik mellom geometrisk og klokkeavstand på Ås stadion	56
4.17	Valgte referansefiler på Ås stadion	56
4.18	Resultater fra måling på Ås stadion med flere runder per sesjon	57
4.19	Relative avvik fra måling på Ås stadion med flere runder per sesjon . . .	57
4.20	Estimat på totale høydeendringer langs løypene	58
4.21	Løypeavstander for hvert måleområde	59
4.22	Avvik mellom GNSS-observasjoner og JC-observasjoner	59

Forkortelser

CDMA	code division multiple access
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
EUREF89	European Reference Frame 1989
FDMA	frequency division multiple access
GNSS	Global Navigational Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
JC	Jones-Riegel Counter(en)
MKM	minste kvadraters metode
NN2000	Normalnull 2000
ppm	parts per million
SLR	Satellite Laser Ranging
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VRS	virtuell referansestasjon

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Treningsklokker med støtte for stedfesting gjennom GNSS benyttes av både aktive idrettsutøvere og hverdagslige mosjonister av en rekke årsaker. GNSS-klokker registrerer bevegelsesmønstre og kombinert med fysiske målinger av puls og andre ytelsesmål tilbys en utfyllende pakke med data om aktiviteter.

En mengde aktive sentrumsløpere og andre som benytter seg av treningsklokker på tur er interesserte i hvor langt de egentlig har beveget seg. Moderne treningsklokker benytter seg av GNSS-målinger for å beregne tilbakelagt avstand, og da oppstår spørsmålene om hvor nøyaktige målingene egentlig er, og i hvilken grad de er til å stole på. Dette er spesielt viktig i sammenheng med konkurranseløp der det kan settes rekorder. Dersom rekorden har blitt satt på en avstand som er kortere enn den skulle vært, kan ikke rekorden anses som gyldig. Ikke bare i offisielle løp er det av signifikans, men ved forsøk på å sette personlige rekorder på fritida er det en forutsetning at klokka måler nøyaktige avstander.

Denne usikkerheten rundt hvilke rekorder som er gyldige er til en viss grad tatt hensyn til i det sosiale nettverket Strava. Personlige rekorder som er satt uten at de kommer fra en offisiell resultatliste er omtalt som “Estimated Best Efforts” ettersom de kun er estimert fra GNSS-målinger, mens “All Time PRs” er verifisert fra et offisielt løp eller annen kjent avstand (Gordon, 2013). Det å bruke treningsklokker under trening er en praktisk måte å måle hvor lang en løpetur har vært, men kun hvis det er sikkerhet rundt nøyaktigheten til utstyret. Dette var av felles interesse for både min veileder og meg selv, og dannet grunnlaget for problemstillingen.

To treningsklokker, en Garmin Forerunner 935 og en Garmin Fenix 3, vil bli brukt til å måle løypespor fra utvalgte områder med varierende omgivelser og terreng. Forerunner 935 ble lansert i 2017 og Fenix 3 kom ut i 2015. (Garmin, 2017), (Garmin, 2015) Begge klokkene har støtte for både GPS og Glonass og begge de nevnte systemene vil derfor brukes i målingene. Forerunner 935 har i tillegg mulighet til å bruke signaler fra Galileo-

satellitter, men ettersom Fenix 3 ikke har denne muligheten, vil Galileo ses bort ifra i denne oppgaven.

1.2 Tidligere forskning

Mye forskning har blitt gjort på området som omhandler sporing av dyr eller mennesker, men synsvinkelen er ofte fra et biologisk eller psykologisk standpunkt. Det har blant annet vært populært å forske på bevegelsesmønstre til dyr ved hjelp av GPS-sporing (Kays mfl., 2015), (Wakefield mfl., 2013), men i de tilfellene er ikke lengden på GPS-sporet av interesse. Menaspa mfl. (2014) så på hvordan kommersielle GPS-enheter beregner høydeendringer, og Grochla og Polys (2016) har prøvd å forbedre nøyaktigheten på GPS-spor ved hjelp av Kalman-filtrering. Definisjonen deres av nøyaktighet på spor omhandlet ikke lengde, men arealet utspent mellom en referanselinje og et målt eller estimert spor. Da de anvendte et Kalmanfilter på observasjonene fra mobile GNSS-enheter fant de ut at det ikke førte til noen forbedring av løypenøyaktigheten, men heller lager et mindre nøyaktig estimat av løypa. I en tidligere masteroppgave fra 2018 ved NMBU skrev Gjersø (2018) om den geometriske nøyaktigheten til utvalgte håndholdte GNSS-enheter, ved å måle både statisk og kinematisk med treningsklokker, men fant ingen signifikante forskjeller mellom enhetene med hensyn til horisontal nøyaktighet.

Det er derimot ikke utført veldig mye forskning på den delen av satellittbasert sporing som omhandler nøyaktigheten på sporelengder. Artikler som tar for seg nøyaktighet på løypeavstander målt med GNSS ser blant annet på denne problemstillingen i forbindelse med bilturer til og fra kjøpesentre (Jonker og Venter, 2019) og gjennom en sammenligning av validiteten til estimert antall skritt, energiforbruk og tilbakelagt distanse fra ulike typer treningsklokker (Wahl mfl., 2017). Temaet har også blitt omtalt i magasinet *Kondis* der en sammenligning av ulike treningsklokker ble gjort i forskjellige omgivelser. (Johannessen, 2017)

1.3 Formål med oppgaven

Oppgaven vil se på løypeavstander målt med GNSS fra treningsklokker og kinematiske CPOS-målinger og vil prøve å si noe om hvor nøyaktig avstanden som avleses fra disse instrumentene er, med hovedfokus på treningsklokkene. Observasjonene vil sammenlignes med avstander målt med en Jones-Riegel Counter, som er standardinstrumentet som brukes i forbindelse med oppmåling av gateløp. Oppgaven vil se på sporene fra treningsklokkene og CPOS og i et utvalg av ulike måleområder.

Oppgaven vil i hovedsak forholde seg til de følgende spørsmålene:

- Hvor store avvik kan forventes på avstandsmåling med treningsklokkene Garmin Fenix 3 og Garmin Forerunner 935?
- Hvor godt sammenlignes punktobservasjoner fra CPOS med de fra treningsklokkene når avstander beregnes mellom punkter langs en løype som en kumulativ sum av euklidske avstander?
- Hvor mye har omgivelsene å si når det gjelder nøyaktighet på avstandsmålingen? Med omgivelser menes om det er urbant, tett med skog eller åpent uten kilder til multipath eller tap av sikt til satellitter.

Tidligere undersøkelser har i stor grad fokusert på punktnøyaktigheten fra GNSS-målinger eller det biologiske aspektet ved sporing av dyr. Kombinasjonen av punktobservasjoner fra kinematiske målemetoder for å si noe om tilbakelagt avstand synes ikke å ha vært fokus tidligere. Derfor skal denne oppgaven behandle GNSS-observasjonene med hensikten om å bruke dataene til å si noe om kvaliteten på avstandsbestemmelsen. Dette vil sees på både direkte fra klokkenes egen interne algoritme, samt beregnet som en kumulativ sum av euklidske avstander fra koordinatene som klokka registrerer og kan hentes ut i gpx-format.

2. Teori

2.1 GNSS

2.1.1 Beskrivelse

GNSS er en samlebetegnelse for globale satellittbaserte navigasjons- og stedfestingssystemer. De største aktørene til dagens GNSS er GPS, Glonass, Galileo og Beidou. De to eldste systemene, GPS og Glonass, ble opprinnelig etablert kun for militært bruk for henholdsvis USA og Sovjetunionen, men begge ble senere åpnet for sivil bruk og er idag sentrale i alt fra navigasjon til stedfesting. (Hofmann-Wellenhof mfl., 2008)

GPS er et amerikansk system og er det systemet som har vært operativt lengst. Det besto i utgangspunktet av 24 satellitter fordelt på 6 baneplan, der hvert plan har en inklinasjonsvinkel på 55 grader i forhold til ekvatorplanet. I tillegg til de 24 satellittene var det sendt opp flere reservesatellitter i tilfelle noen av de fungerende satellittene skulle havarere. Etter 18. oktober 2018 er dette antallet økt til 31 satellitter for å garantere bedre dekning gjennom å ha sikt til flere satellitter til enhver tid. (NOAA, 2019)

Glonass er et russisk satellittsystem som på mange måter var daværende Sovjetunionens svar på GPS. (Forsell, 2018) Det finnes per dags dato 24 operative satellitter, fordelt på tre baneplan. Baneplanene har en inklinasjonsvinkel på 64,8 grader. Hovedforskjellen mellom Glonass og de andre satellittsystemene ligger i hvordan man identifiserer hvilken satellitt et signal kommer fra. Glonass baserer seg på FDMA, mens de andre systemene bruker CDMA. FDMA går ut på at signaler fra ulike satellitter sendes ut på med ulike frekvenser. CDMA går ut på at signalene er påmodulert en kode i signalet som refererer til hvilken satellitt signaler stammer fra. Der et CDMA system sender ut flere signaler i samme bånd på samme frekvens, er et FDMA system avhengig av et bredere bånd for å kunne sende alle signalene. Da dette er ansett som mer ubeleilig enn CDMA ble det i 2012 vedtatt at etter planen skal alle Glonass-K satellitter innen 2020 skal ha muligheten til å sende CDMA signaler. (Oleynik, 2012)

Det minimale antall satellitter som til enhver tid må ha sikt til mottakeren er 4, for å løse ut de fire nødvendige parameterene (X , Y , Z og klokkefeil i mottaker). Med GPS alene forventes sikt til 6-8 satellitter til enhver tid, og kombinert med Glonass skal mellom 12 og 16 satellitter være synlig fra posisjoner uten nevneverdige hindringer for sikten til himmelen. (Seeber, 2003)

Prinsippet for måling ved hjelp av GNSS er avstandsmåling. Satellittene sender ut signaler som mottas av mottakere på jorda. Signalene beveger seg med lysets hastighet og ved å kjenne tiden det tok fra signalet forlot satellitten til det ankom mottakeren er det mulig å bestemme avstanden mellom de to enhetene. Satellittene beveger seg i et jordsentrisk kartesisk koordinatsystem med akser X , Y og Z (se kapittel 2.4.1). Det kreves at 4 ukjente parametere estimeres (X , Y , Z og klokkebias i mottaker) og det medfører at signaler må mottas fra minst 4 satellitter. (Kristiansen, 2016) Satellittenes posisjoner er kjente parametere da disse er inkludert i navigasjonsmeldingen som sendes fra satellittene sammen med observasjonene. Når satellittenes posisjoner er kjent og avstandene mellom hver satellitt og en mottaker på bakken også er kjent, kan det gjennom trilaterasjon nøyaktig estimeres en posisjon for mottakeren. (Kristiansen, 2016)

Avstandsmålingen kan gjøres enten som kodemåling eller fasemåling. Kodemåling er en teknikk som baserer seg på at informasjon er modulert på signalet fra satellitten. Det er kjent som en mindre presis måte å måle på enn fasemåling, men billigere. Dette er grunnen til at kodemåling er teknikken som er implementert i mobiltelefoner og klokker der kravet til presisjon ikke er veldig strengt. (Øie, 2015) Med kodemåling kan det forventes en presisjon på avstandsmålingen mellom satellitt og mottaker på omtrent 3 meter. (Gjersø, 2018) Fasemåling måler kun endringer i avstanden til satellitten, noe som gjør den metoden mye mer presis. Etersom absolutte avstander ikke måles, blir de estimert som en tilleggsukjent. (Godager, 2006) Når dette heltallet er beregnet, kalles det en fix-løsning og presisjonen er veldig høy. Uten denne heltallsløsningen kalles løsningen en float-løsning, og presisjonen er dårligere.

2.1.1.1 Feilkilder ved GNSS

Multipath Multipath er et fenomen som oppstår når en GNSS mottaker mottar flere kopier av det samme signalet, der et mottak er det direkte signalet fra satellitt, mens andre innkommende signaler har reflektert av andre objekter eller overflater. Disse refleksjonene kan forekomme både nær mottaker og i satellitt ved utsending av signal. Effekten av multipath på kodemålinger kan estimeres ved å måle flerfrekvent, men det viser seg ennå å være svært vanskelig å fullstendig eliminere feilen som følge av multipath. (Hofmann-Wellenhof mfl., 2008)

Falsk fix Som nevnt tidligere i kapittelet er en fix-løsning betegnet ved at heltallsløsningen i fasemåling er kjent. Det er derimot ikke alltid slik at denne løsningen er korrekt. En falsk fix-løsning betyr at en heltallsløsning er bestemt, men det er feil heltall som er beregnet. Denne feilkilden kan korrigeres ved å måle flere ganger over samme punkt. For kinematiske målinger, vil det si at flere målinger må gjøres langs samme løype.

Atmosfæriske effekter GNSS-signalet som propagerer gjennom atmosfæren må passere gjennom to signifikante lag i atmosfæren; ionosfæren og troposfæren. Ionosfæren inneholder ioniserte atomer og betegner regionen mellom omtrent 50 km til 1000 km fra jordoverflaten. De ioniserte partiklene bidrar til å akselerere eller bremse signalet slik at hastigheten til signalet ikke er konstant gjennom ionosfæren. Effekten av ionosfæreforsinkelse kan estimeres ved å måle flerfrekvent. (Hofmann-Wellenhof mfl., 2008)

Troposfæren er laget som ligger under ionosfæren og består av ikke-ioniserte (nøytrale) partikler. Troposfæreforsinkelsen er et resultat av tettheten til lufta. Troposfæren har en viss refraksjonsindeks som forsinker signalet. Denne forsinkelsen kan modelleres ved hjelp av ulike modeller. (Hofmann-Wellenhof mfl., 2008)

Satellittgeometri Geometrien til satellittene kan være avgjørende for en god posisjonsbestemmelse. Et mål på sikt mellom mottaker og satellitter er omtalt som “dilution of precision” (DOP). DOP kan uttrykkes i ulike former der noen av måtene å betegne det på er gjennom geometrisk DOP (GDOP), posisjon DOP (PDOP) og horisontal DOP (HDOP). (Hofmann-Wellenhof mfl., 2008) Definisjonene på de nevnte verdiene er gitt ved å ta utgangspunkt i normalligningen (2.9). Der er kofaktormatrisen til de ukjente parametrene gitt som

$$Q = (A^T W A)^{-1} \quad (2.1)$$

der A er designmatrisen som angir forholdet mellom ukjente størrelser og observasjoner og W er vektmatrisen.

Når det søkes etter 4 ukjente, vil kofaktormatrisen Q være en 4×4 matrise med følgende elementer, som er påvirket av posisjonen X, Y, Z og mottakerens klokkefeil t :

$$Q = \begin{bmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{YX} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{ZX} & q_{ZY} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{tX} & q_{tY} & q_{tZ} & q_{tt} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Definisjonene på GDOP og PDOP er da

$$\begin{aligned} GDOP &= \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ} + q_{tt}} \\ PDOP &= \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}} \end{aligned} \quad (2.3)$$

og HDOP beregnes ved først å anvende feilforplantingsloven omtalt i kapittel 2.4.5 som konverterer XYZ-koordinatene om til lokaltoposentriske koordinater. Da blir

$$HDOP = \sqrt{q_{nn} + q_{ee}} \quad (2.4)$$

En lav DOP-verdi betegner en god satellittgeometri. Ifølge (Hofmann-Wellenhof mfl., 2008) kan det generelt sies at det er god satellittgeometri hvis PDOP er lavere enn 3 og HDOP er lavere enn 2.

2.1.2 CPOS

CPOS er en stedfestingstjeneste som driftes av Kartverket. Tjenesten baserer seg på at korreksjonsdata fra en virtuell referansestasjon (VRS) sendes i sanntid til GNSS-mottakeren via mobilnettverket, slik at mottakeres posisjon kan beregnes til enhver tid. VRS etableres utifra data fra permanente basestasjoner og brukerens posisjon, der data fra de permanente stasjonene vektet basert på avstanden mellom en VRS og de permanente stasjonene. (Kartverket, 2019)

En VRS blir plassert på det stedet som sammenfaller med den første posisjonen som blir sendt fra brukerens rover til CPOS. Observasjoner blir registrert som vektorer mellom VRS og brukerens posisjon. Dersom brukeren beveger seg mer enn 5 km vekk fra en VRS vil en ny virtuell referansestasjon etableres, slik at brukeren aldri er mer enn 5 km unna en VRS. (Kartverket, 2018)

Nøyaktigheten ved bruk av CPOS er avhengig av avstand mellom permanente basestasjoner. Basert på analyser utført av Kartverket kan det forventes en nøyaktighet på 16 mm i grunnriss (EUREF89) og 40 mm i høyde (NN2000) der det er ca. 35 km mellom permanente basestasjoner, og 28 mm i grunnriss (EUREF89) og 72 mm i høyde (NN2000) der det er ca. 70 km mellom stasjoner. Dette gjelder for 95% av tilfellene, altså innenfor ca. 2 standardavvik. Videre er nøyaktigheten avhengig av lokale og atmosfæriske forhold. Blant disse forholdene er evnen til å redusere effekten av multipath, ionosfæreaktivitet i atmosfæren og satellittgeometri. (Kartverket, 2019)

Ved registrering av posisjon refereres hver punktobservasjon til en kodeliste fra (Geonor-

ge, "u.å.") som inneholder koder for ulike typer målinger (se figur 2.1). Disse tallkodene gjenkjennes i kof-filen. I denne tabellen tilsvarer kode 96 en fix-løsning.

Tabell 2.1: Kodeliste for metode som ligger til grunn for registrering av posisjon. Kun de kodene som gjelder for CPOS-måling er presentert. (Geonorge, "u.å.")

Kode	Verdi	Beskrivelse
GPS Kodemåling, relative målinger	91	Tidligere GPS-Differensiell, pseudorange
GPS Kodemåling, enkeltmålinger	92	Tidligere GPS, Absolutt, pseudorange
GPS Fasemåling, statisk måling	93	Tidligere GPS, Differensiell
Kombinasjon av GPS/Tregghet	95	
GPS Fasemåling RTK	96	(Realtids kinematisk måling). Tidligere GPS kinematisk (Real time kinematic)
GPS Fasemåling, float-løsning	97	

2.1.3 GNSS i treningsklokker

Ettersom treningsklokkene brukt i denne oppgaven kun er Garmin-klokker, vil ikke andre leverandører omtales. Alle Garmin-klokker med mulighet for logging av posisjon har tilgang til å motta GPS-signaler. Den første Garmin-modellen som utnyttet GNSS, Forerunner 201, ble lansert i 2003. Etterhvert ble nyere modeller utrustet med Glonass-kompatibilitet og den første Garmin-klokka med støtte for Glonass var Fenix 3.

I følge Garmin kan brukere forvente posisjonsnøyaktighet på 5-10 meter under normale forhold. Nøyaktigheten kan i noen tilfeller være bortimot 15 meter, men 95% av tiden vil nøyaktigheten være bedre en det. (Garmin, 2019) Det spesifiseres ikke hvorvidt denne nøyaktigheten gjelder i grunnriss eller høyde, men gitt at det kun er nevnt et mål antas det lik nøyaktighet i høyde og grunnriss.

2.1.3.1 Høydebestemmelse og -referanse

I treningsklokker er det i hovedsak to metoder som finnes for å bestemme høyder: GNSS-basert høyde og barometrisk høyde. GNSS-høyden estimeres ved å utjevne avstandene

til de synlige satellittene etter MKM, på samme måte som andre GNSS-mottakere fungerer. Den barometriske høyden blir bestemt utifra lufttrykkmålinger. Klokka har innebygd et altimeter og barometer. Altimeteret kan kalibreres, og sammen med de føyte trykkendringene fra barometeret estimeres endringer i høyde.

Barometrisk høydemåling er kjent for å gjengi nøyaktige endringer i høyde bedre enn GNSS-løsningen. Ulempen er at dersom ikke altimeteret er korrekt kalibrert, vil målingene kunne være systematisk forskøvet. Et barometer måler som nevnt lufttrykk, og variasjoner i været kommer av endringer i lufttrykk. Det vil si at klokka vil vise varierende høyde for et stasjonært punkt når det måles gjennom en periode med skiftende vær. Ifølge (Sankaran mfl., 2014) er størrelsen på den nevnte driften på et par meter i timen, men kan i kraftige stormer komme oppimot 3-4 m på 10 minutter.

I tillegg til været er lufttrykk korrelert med høyde over havet, altså den ortometriske høyden over geoiden. Ved midlere havnivå er det gjennomsnittlige lufttrykket 101,325 kPa og endringer i lufttrykk refereres til denne standarden. Ettersom høyde over havet ikke er den eneste påvirkningen til lufttrykket, gir barometermålinger et estimat for ortometrisk høyde som også er avhengig av værendringer.

Som nevnt, kan altimeteret kalibreres og justeres. Derfor vil det kunne antas at høydeprofiler vil bli mest nøyaktig bestemt hvis altimeteret kalibreres på et punkt med en kjent høyde før hver måleserie, og deretter returneres for å sjekke at det ikke er for store endringer. Da dette ikke er en sentral del av oppgaven (ettersom høyder vil til en viss grad ignoreres) vil ikke det bli lagt mer vekt på.

2.2 Minste kvadraters metode

Minste kvadraters metode (MKM) er en estimeringsteknikk for å estimere ukjente størrelser slik at summen av de kvadrerte avvikene mellom estimerte og observerte størrelser er minimert. Det er vanlig å benytte en vektet MKM algoritme, da en uvektet MKM er et spesialtilfelle som kun lar seg benytte i tilfeller der alle observasjoner har lik vektning. I forklaringen av MKM vil det tas utgangspunkt i uvektet MKM.

Grunnen til at MKM brukes er det faktum at observasjoner aldri er helt perfekte. Når en ukjent størrelse observeres vil det naturlig forekomme tilfeldig spredning i observasjonene mellom observasjonene z_i og det søkte estimatet M , der residualene v_i er definert som $M - z_i$. Fra (Ghilani, 2010), under en antagelse om at residualene er normalfordelte, kan det vises at den mest sannsynlige verdien for M finnes ved å minimere feilkvadratsummen:

$$\sum v_i^2 = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \text{minimum} \quad (2.5)$$

der $v_i = M - z_i$ angir residualet til observasjon nr i .

MKM er effektivt, spesielt der antall observasjoner og ukjente størrelser er mange. Da kan observasjonsligninger slås sammen til en matriselikning. En observasjonsligning,

$$z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + v \quad (2.6)$$

er en ligning som relaterer en observert størrelse z til et antall ukjente størrelser x_i med tilhørende koeffisienter a_i og et residual v (Ghilani, 2010). Dersom antall observasjoner er lik antall ukjente størrelser vil systemet ha en unik løsning. Hvis antall observasjoner er mindre enn antall ukjente er systemet underbestemt og kan ikke løses. Dersom antall observasjoner er større enn antall ukjente vil systemet være overbestemt og gi uendelig mange løsninger, der MKM bidrar til å finne den mest sannsynlige løsningen. På matriseform kan et sett med observasjonsligninger skrives som (Ghilani, 2010)

$$AX = L + V, \quad (2.7)$$

der A er designmatrisen som angir relasjonen mellom hver ukjent og de observerte størrelsene, X inneholder de ukjente parameterne som skal estimeres, L består av observasjoner og V inneholder residualene. Løsningen til uttrykket i likning (2.7) er (Ghilani, 2010):

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (2.8)$$

Dersom observasjonene har ulike usikkerheter og dermed ikke skal vektet likt i beregningen implementeres en vektmatrise W slik at uttrykket blir

$$X = (A^T W A)^{-1} A^T W L \quad (2.9)$$

2.2.1 Grovfeilsøk

Som nevnt tidligere, antas en normalfordeling av residualene. Det kan derimot forekomme grovfeil som ikke tilfredsstillers den nevnte normalfordelingen. Disse observasjonene

må detekteres og utelukkes fra beregningen før er utjevning etter MKM kan utføres. En av metodene som benyttes for grovfeilsøk er en multipl t-test. (Gjevestad, 2016)

Kontroll av et sett med observasjonsligninger består av tre steg: deteksjon, identifikasjon og adaptasjon. Deteksjon tester feilkvadratsummen i systemet og gir en indikasjon på om det er tvang i systemet. Identifikasjon handler om å identifisere hvilken observasjon som inneholder grovfeilen, og det er dette steget som innebærer en multipl t-test. Deretter adapteres systemet ved å utelukke observasjonen med grovfeil fra systemet. Disse stegene gjentas til alle observasjoner har bestått testen, gitt at systemet har nok observasjoner til at det fortsatt kan løses.

Måten grovfeil estimeres på i en multipl t-test er ved å legge til en ekstra ukjent i beregningen og estimere en grovfeil for hver enkelt observasjonsligning. Teststørrelsen i denne testen er gitt som:

$$t = \frac{\hat{\nabla}_i}{\hat{\sigma}_{\nabla_i}}, \quad (2.10)$$

der $\hat{\nabla}_i$ er den estimerte grovfeilen i observasjon nr i med $\hat{\sigma}_{\nabla_i}$ som tilhørende standardavvik. Denne teststørrelsen sammenlignes så med en tabellverdi fra t-fordelingen. Dersom $|t| > t_{(n-e-1, 1-\frac{\alpha}{2})}$, der $|t| > t_{(n-e-1, 1-\frac{\alpha}{2})}$ er tabellverdien fra t-fordelingen, hvor n er antall observasjoner, e er antall ukjente og $n - e - 1$ er antall frihetsgrader vil den estimerte grovfeilen påstås å være signifikant forskjellig fra null ved signifikansnivå α og det er sannsynlig at det er en grovfeil i observasjon i . (Gjevestad, 2016)

Noen forbehold må tas med en multipl t-test, da det er en fare for at det fortsatt skjuler seg grovfeil i dataene som ikke er identifisert, altså å gjøre en Type-II feil. Indre og ytre pålitelighet gir svar på henholdsvis hvor store grovfeiler som kan skjule seg i dataene uten å bli detektert ved et bestemt signifikansnivå og hvor stor skade eventuelle gjenværende grovfeil vil påføre datasettet.

Indre pålitelighet er definert som

$$\nabla_{max_i} = \max \left(|\hat{\nabla}_i \pm \hat{\sigma}_{\nabla_i} \times t_{(n-e-1, 1-\frac{\alpha}{2})}| \right), \quad (2.11)$$

som indikerer endepunktet med størst tallverdi i et konfidensintervall rundt en estimert grovfeil \hat{nabla}_{max_i} . Ytre pålitelighet er

$$\nabla_{x_i} = (A^T W A)^{-1} A^T W \nabla_{max_i}, \quad (2.12)$$

der ∇_{max_i} er den største grovfeilen som kan eksistere uten å bli detektert.

2.3 Kalmanfilter

Oppkalt etter ungarenen Rudolf Kalman, er et Kalmanfilter en estimeringsteknikk som brukes for å estimere tilstandsvariabler i et dynamisk system. Det er en rekursiv metode som utnytter prinsippene bak MKM til å estimere oppdaterte tilstandsvariabler med minimum feilvarians ved å bruke informasjon om forrige tilstand, hvordan endringen modelleres og støy i systemet. (Kristiansen, 2018). Metoden består av to hovedsteg; måleoppdatering og tidsoppdatering. Måleoppdatering bruker informasjon fra nye observasjoner, sammen med tilstandsvariabler ved forrige tidspunkt til å estimere nye variabler. Tidsoppdateringen er steget som innfører systemstøy (også kalt prosesstøy) og gjør en prediksjon av tilstandsvariabler ved neste tidspunkt.

Måleoppdateringen kan oppsummeres ved følgende sett med ligninger for et vilkårlig tidspunkt t_k (Kristiansen, 2018):

$$\begin{aligned}\hat{x}_k &= \tilde{x}_k + K_k(z_k - A_k\tilde{x}_k) \\ \hat{P}_k &= (I - K_k A_k)\tilde{P}_k \\ K_k &= \tilde{P}_k A_k^T S_k^{-1} \\ S_k &= A_k \tilde{P}_k A_k^T + R_k\end{aligned}\tag{2.13}$$

der \hat{x}_k inneholder estimerte tilstandsvariabler, \hat{P}_k er tilhørende varianskovariansmatrise, K_k er Kalmanforsterkning og S_k kalles innovasjonsmatrise. Kalmanforsterkningen kan sees på som en vektning i systemet som avgjør i hvilken grad observasjoner eller prediksjoner skal vektlegges mer i måleoppdatering for å få nye estimater på tilstandsvariabler. \tilde{x}_k er predikert estimat fra forrige tidspunkt, og $z_k - A_k\tilde{x}_k$ betegner korreksjonen til \tilde{x}_k som følge av nye observasjoner.

Tidsoppdateringen kan på lik linje oppsummeres med følgende sett med ligninger (Kristiansen, 2018):

$$\begin{aligned}\tilde{x}_{k+1} &= \Phi(t_{k+1}, t_k)\hat{x}_k + e_k \\ \tilde{P}_{k+1} &= \Phi(t_{k+1}, t_k)\hat{P}_k\Phi^T(t_{k+1}, t_k) + Q_k \\ e_k &= \int_{\tau=t_k}^{t_{k+1}} \Phi(t_{k+1}, \tau) \cdot G \cdot w(\tau) d\tau \\ Q_k &= \int_{\tau=t_k}^{t_{k+1}} \Phi(t_{k+1}, \tau) \cdot G \cdot Q(\tau) \cdot G^T \cdot \Phi^T(t_{k+1}, \tau) d\tau\end{aligned}\tag{2.14}$$

der \tilde{x}_{k+1} er predikerte tilstandsvariabler ved et fremskyndet tidspunkt t_{k+1} , \tilde{P}_{k+1} er tilhørende varianskovariansmatrise, e_k er prosesstøy og Q_k er tilhørende varianskovariansmatrise til prosesstøyen.

For at systemet skal kunne fungere, kreves apriori informasjon om tilstand og varianskovariansmatrise ved starttidspunktet. En designmatrise A er også nødvendig for å forklare sammenhengen mellom observasjoner og tilstandsvariabler fra observasjonsligningen

$$z = Ax + v \quad (2.15)$$

Videre kreves observasjoner gjort ved hvert nye tidspunkt. Det må også defineres mengde med systemstøy. Dette vil være med å avgjøre om estimatene ved hver nye måloppdatering baseres mest på modellen eller observasjoner.

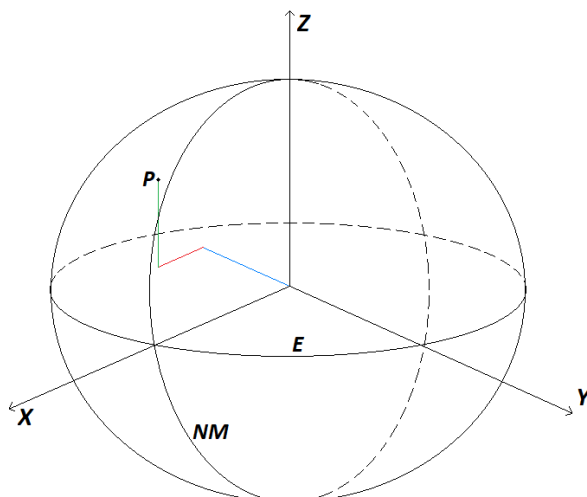
2.4 Geodetiske koordinatsystemer

Koordinatsystemer er essensielle for å stedfeste observasjoner. Det finnes flere ulike typer koordinatsystemer som alle brukes for geodetiske observasjoner. Jordkloden har en tilnærmet ellipsoideform, noe som gjør det vanskelig å ha ett enkelt koordinatsystem til å beskrive overflaten. De vanligste koordinatsystemene er geosentrisk kartesisk (XYZ), geodetiske bredde- og lengdegrader med ellipsoidisk høyde og lokaltoposentrisk koordinatsystem. Alle måtene å representere koordinater på er likeverdige fordi konverteringer kan gjøre mellom systemene uten tap av informasjon. Som nevnt er alle de tre systemene brukbare til ulike formål, og derfor er det viktig å kjenne til forskjellene mellom systemene, samt hvordan konverteringene mellom dem gjøres. (Meyer, 2010)

2.4.1 Geosentriske kartesiske koordinater (X, Y, Z)

Også omtalt som ECEF-systemet (Earth-Centered Earth-Fixed) er dette et kartesisk koordinatsystem definert med origo i jordens massemiddepunkt. Z-aksen peker langs jordens rotasjonsakse mot nordpolen, X-aksen står vinkelrett på Z-aksen og peker i retning av nullmeridianen (også kalt Greenwich-meridianen), og Y-aksen står ortogonalt på de to andre aksene og peker i retningen slik at koordinatsystemet er et høyrehåndssystem. Ved bruk av et XYZ-system er ikke valg av en referanseellipsoide viktig. (Meyer, 2010)

Det internasjonale terrestriske referansesystemet (ITRS) bygger på et kartesisk geosentrisk koordinatsystem. Realiseringen av ITRS kalles en internasjonal terrestrisk re-



Figur 2.1: Et kartesisk geosentrisk koordinatsystem. Z akse krysser jordoverflaten i nordpolen. NM viser nullmeridianen og E er ekvator. X -, Y - og Z -komponentene til et punkt P er vist i henholdsvis rødt, blått og grønt. Stiplede buelinjer skal vise at linjene ligger på baksiden av jorda.

feranseramme (ITRF) og blir realisert fortløpende. Hver realisering av ITRS låses til et tidspunkt, slik at det ikke beveger seg med tiden. Navngivingen til hver enkelt realisering av ITRS kalles ITRF $_{xx}$ der xx står for året som dataene brukt i realiseringen ble målt i. Dette er en global referanseramme som vil si at den gjelder for hele jordkloden. (Seeber, 2003) Det finnes også regionale og nasjonale referanserammer. EUREF89 er en regional referanseramme som bygger på de samme dataene som ITRF, men benytter seg også av mange GPS-målinger spredt rundt i Europa. Det er en referanseramme som ble etablert i 1989 og samsvarer derfor med ITRF89. Forskjellen er at EUREF89 er låst til den europeiske landmassen og kan derfor tillates å bevege seg i forhold til ITRF-utgavene. Dette betyr at det ikke er behov for å oppdatere referanserammen like hyppig som med ITRF. (Seeber, 2003) Konvertering av koordinater mellom ITRF14 og EUREF89 kan gjøres med Kartverkets konverteringsprogram *SkTrans*. EUREF89 har vært den nasjonale standarden for kartkoordinater i Norge siden 1993.

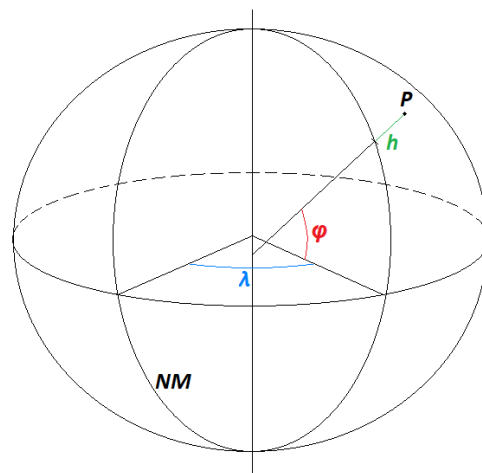
Hver versjon av ITRF utredes ved hjelp av nye målinger fra så mange uavhengige romgeodetiske kilder som mulig. De mest brukte teknikkene for innsamling av denne type data er GNSS, SLR, VLBI og DORIS. ITRF bestemmes basert på dagsløsninger fra hver teknikk og ukesløsninger fra SLR. Dagsløsninger er vektete midler av målinger i løpet av en dag, og tilsvarende for ukesløsninger. (Mysen, 2018)

Hver måleteknikk har fordeler og ulemper som gjør dem mer eller mindre egnet til å bestemme ulike deler av ITRF. Et XYZ-system krever gode definisjoner på origo, målestokk og orientering. Origo blir bestemt med SLR fordi SLR-satellittene flyr i veldig

lave baner. Dette gjør at satellittene merker endringer i jordas tyngdefelt mye kraftigere enn satellitter i fjernere baner. I tillegg bidrar den korte avstanden fra jorda til at den radielle avstanden til satellittene lett kan bestemmes. Målestokken er bestemt både med SLR- og VLBI-løsninger. Kravet som stilles til teknikker som bestemmer målestokk er gode klokker og godt bestemt radiell avstand. Til å bestemme orientering benyttes i størst grad VLBI, fordi det er den eneste teknikken som måler til kilder utenfor solsystemet. Dette gjør at bevegelsen til jorda kan observeres fra et tilsynelatende stillestående perspektiv. (Altamimi, 2009). GNSS benyttes ikke direkte til oppretting av ITRF, men brukes til å stedfeste alle stasjoner som bruker de andre romgeodetiske teknikkene.

2.4.2 Geodetiske koordinater (ϕ , λ , h)

Geodetiske koordinater er bredde- og lengdegrader med ellipsoidisk høyde. Ellipsoidisk høyde er definert som avstanden fra et punkt til overflaten på referanseellipsoiden målt langs normalen til ellipsoiden. De geodetiske koordinatene er vinkler og ikke avstander, som vanligvis definerer aksene i et koordinatsystem.



Figur 2.2: Et geodetisk koordinatsystem, med lengdegrad λ , breddegrad ϕ og ellipsoidisk høyde h for punktet P .

Lengdegrader er definert som vinkelen mellom nullmeridianen og meridianen som passerer gjennom projeksjonen til et punkt på ellipsoiden. Breddegrader defineres ikke med utgangspunkt i jordas massemidtpunkt, men basert på en linje som står ortogonal på ellipsoiden under et punkt og er rettet mot jordas rotasjonsakse. Vinkelen mellom ekvatorplanet og denne linjen er breddegraden. Denne linjen som definerer breddegrader vil kun passere gjennom sentrum av ellipsoiden hvis punktet ligger på ekvator eller på

en av polene. Dette kommer av at referanseellipsoiden er nettopp en ellipsoide. Se figur 2.3.

Jordas form tilnærmes med en referanseellipsoide, og de geodetiske koordinatene er referert til overflaten til denne ellipsoiden. Det finnes flere ulike modeller som er i bruk. Ettersom geodetiske koordinater referer til en bestemt modell og ikke den fysiske jordkloden, må koordinater oppgis sammen med en referanseellipsoide. (Meyer, 2010)

2.4.3 Universal Transverse Mercator (*easting, northing*)

UTM er ikke et eget koordinatsystem, men heller en kartprojeksjon basert på geodetiske koordinater. Det å lage to-dimensjonale kartprojeksjoner av en tre-dimensjonal overflate vil aldri bli helt feilfritt, og det samme gjelder for UTM-projeksjonen. (Meyer, 2010)

Projeksjonen deler jorden inn i 60 soner avhengig av lengdegrad. Hver sone er igjen delt langs ekvator for å gi totalt 120 soner. Hver sone er 6° bred. For å unngå negative verdier for hverken nord- eller øst-koordinater soner er det påført falske tillegg. Hver sone strekker seg ca 330 000 m øst og vest ved ekvator, der sonene er på sitt bredeste. Ved å legge på en falsk øst-verdi på 500 000 m vil det garantere at alle øst-koordinater i hver sone er positive. For alle soner på sørlige halvkule legges en falsk nord-verdi på 10 000 000 m for å tjene det samme formålet for nord-verdiene. (Meyer, 2010)

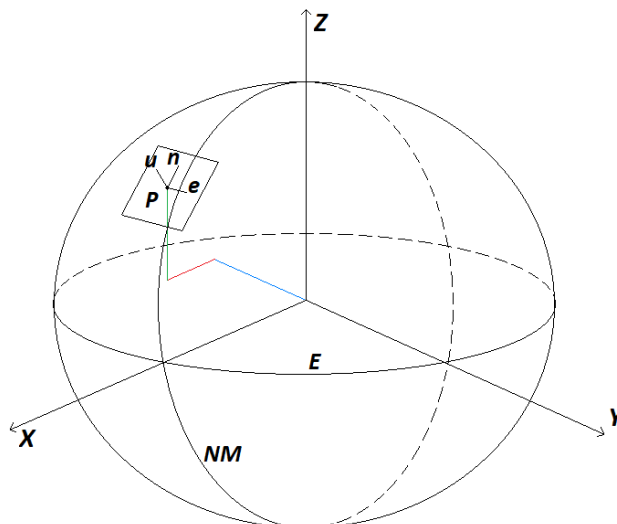
En skalafaktor er også implementert slik at koordinatene ytterst mot kanten av sonene ikke skal bli forvrengt for mye. Med en skalering lik 1 vil koordinatene være helt korrekte langs meridianen i midten av hver sone, men feil vil forsterkes jo lenger vekk et punkt er fra den meridianen. En skalering på 0.9996 velges for at forvrengingen ikke skal bli for stor ytterst i sonene. Dette vil i praksis si at hele kartet krympes med en faktor 0.9996.

2.4.4 Lokaltoposentriske koordinater (e, n, u)

Et lokaltoposentrisk koordinatsystem er et system med origo i et punkt på overflaten. Det er et kartesisk system, der aksene peker i retningene nord, øst og opp. Opp-aksen står normalt på referanseellipsoiden, mens nord- og øst-aksene følger henholdsvis meridianen og bredde sirkelen som passerer gjennom origo. (Meyer, 2010) I prinsippet enusystemet de samme karakteristikkene som det geosentriske kartesiske koordinatsystemet, men det er rotert og translert.

I klassisk landmåling er det vanlig å måle i lokaltoposentriske koordinater. Dette kommer av at det er et system som er intuitivt å forstå ettersom aksene er mer naturlige å se for

seg enn geosentriske XYZ-akser. Det er også et system som er vanlig å bruke i flyfotografering, da det forenkler mye av matematikken bak aerotriangulering og ortorektifisering, som er teknikkene som brukes i konstruksjon av ortofoto. (Meyer, 2010)



Figur 2.3: Et lokaltoposentrisk koordinatsystem sentrert i punktet P . Aksene e , n og u danner et høyrehånds-system

2.4.5 Konvertering mellom koordinatsystemer

I oppgaven er det i hovedsak to konverteringer som blir brukt; geodetiske koordinater til UTM og ECEF-koordinater til lokaltoposentrisk, og derfor nevnes ikke flere konverteringer.

Konverteringen fra geodetiske koordinater til UTM-koordinater er gitt ved følgende sett med ligninger (Gjevestad, 2014):

Normalkrumningsradius:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (2.16)$$

Meridianbuelengde:

$$B = b_0 \left(\phi - \left(\frac{3}{4} f + \frac{3}{8} f^2 + \frac{15}{128} f^3 \right) \sin 2\phi \right. \\ \left. + \left(\frac{15}{64} f^2 + \frac{15}{64} f^3 \right) \sin 4\phi - \frac{35}{384} f^3 \sin 6\phi \right) \quad (2.17)$$

UTM northing (x) og easting (y):

$$\begin{aligned} x &= B + \frac{1}{2}(\lambda - \lambda_0)^2 N \sin \phi \cos \phi \\ &+ \frac{1}{24}(\lambda - \lambda_0)^4 N \sin \phi \cos^3 \phi (5 - \tan^2 \phi + 9\epsilon^2 + 4\epsilon^4) \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} y &= (\lambda - \lambda_0) N \cos \phi \\ &+ \frac{1}{6}(\lambda - \lambda_0)^3 N \cos^3 \phi (1 - \tan^2 \phi + \epsilon^2) \\ &+ \frac{1}{120}(\lambda - \lambda_0)^5 N \cos^5 \phi (5 - 18 \tan^2 \phi + \tan^4 \phi) \end{aligned} \quad (2.19)$$

der

$$\begin{aligned} b_0 &= a \left(1 - \frac{1}{2}f + \frac{1}{16}f^2 + \frac{1}{32}f^3 \right), \\ f &= \frac{a - b}{a}, \\ e^2 &= \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \\ \epsilon^2 &= \frac{e^2}{1 - e^2} \cos^2 \phi, \end{aligned}$$

hvor λ og ϕ er geodetiske lengde- og breddegrader, λ_0 er sentermeridianen i den UTM sonen som koordinater skal transformeres til, a og b er henholdsvis store og lille halvakse på referanseellipsoiden.

Konverteringen fra ECEF til lokaltoposentriske koordinater er gitt ved en translasjon og en rotasjon som avhenger av hvor på referanseellipsoiden origo til enu-systemet skal plasseres.

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\sin \phi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \phi_0 \sin \lambda_0 & \cos \phi_0 \\ \cos \phi_0 \cos \lambda_0 & \cos \phi_0 \sin \lambda_0 & \sin \phi_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

eller

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix},$$

der λ_0 og ϕ_0 er de geodetiske lengde- og breddegrader på origo og X_0 , Y_0 og Z_0 er de geosentriske koordinatene til origo for det lokaltoposentriske koordinatsystemet. X , Y og Z er de kartesiske geosentriske koordinatene for et punkt av interesse, og e , n og u er øst-, nord- og opp-koordinatene til det samme punktet i det lokaltoposentriske koordinatsystemet.

I tilfeller hvor standardavvik skal konverteres fra geosentriske kartesiske koordinater til lokaltoposentriske koordinater, gjelder feilforplantingsloven (Ghilani, 2010):

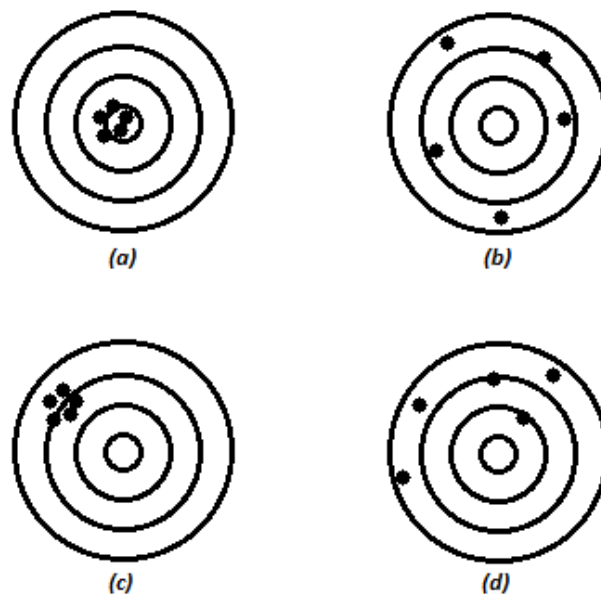
$$C_{enu} = M \cdot C_{xyz} \cdot M^T, \quad (2.21)$$

hvor M er rotasjonsmatrisen fra ligning 2.20, C_{xyz} er kovariansmatrisen i XYZ-koordinater og C_{enu} er kovariansmatrisen i ENU-koordinater.

2.5 Nøyaktighet og presisjon

Ved gjentatte målinger av en observasjon vil det naturlig forekomme variasjoner i observert størrelse som følge av avvik. For å kunne beskrive usikkerheten på disse observasjonene brukes to usikkerhetsmål: nøyaktighet og presisjon.

Det er viktig å skille mellom begrepene nøyaktighet og presisjon, da begge er kvalitetsmål på en observert størrelse, men har ulike betydninger. Nøyaktighet er målet på hvor nære observasjonene er fra den sanne verdien. Som regel er den sanne verdien ukjent, og nøyaktigheten er derfor umulig å fastslå. Presisjon sier noe om graden av spredning blant observasjonene. (Ghilani, 2010) Presisjonen kan påvirkes blant annet av kvaliteten på instrumenter, observatørens måleferdigheter og hvorvidt miljøvariabler som temperatur og trykk holdes konstante.



Figur 2.4: Eksempler på nøyaktighet og presisjon. (a) viser bra nøyaktighet og presisjon. (b) viser bra nøyaktighet, men dårlig presisjon. (c) viser dårlig nøyaktighet, men god presisjon. (d) viser dårlig nøyaktighet og presisjon.

3. Metode

3.1 Forsøksdesign

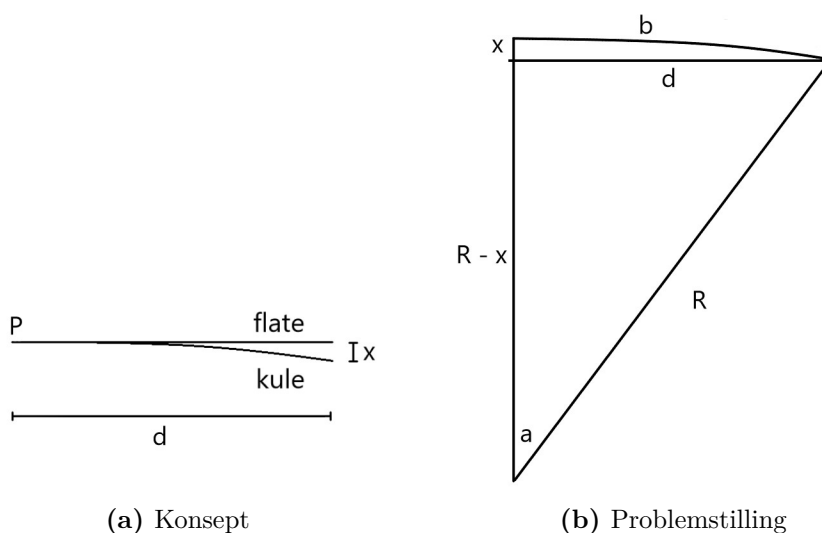
I denne oppgaven ble det samlet inn data med treningsklokker og CPOS fra 3 ulike måleområder og et kalibreringsområde. Punktene som var målt inn skulle brukes til å beregne løypelengder og sammenlignes med uavhengige målinger som kan anses som en fasit. En Jones Counter er et odometer som til dette formålet fungerer som en fasit. Dette begrunnes først og fremst med at det er det apparatet som er valgt som standard målesinstrument av IAAF (2008b) for oppmåling av gateløp rundt om i verden. I tillegg vil en JC måle det faktiske bakkesporet på bakken og vil ikke påvirkes av signalforstyrrelser som multipath eller fasebrudd. I tillegg vil nøyaktigheten på målte avstander med JC være nøyaktige til rundt 10 cm (se delkapittel 3.2.1), forutsatt at lufttrykket i frontdekket og vekten på sykkelen forblir konstante og at hjulet ruller jevnt under hele måleperioden.

Sporene som ble målt med treningsklokkene og CPOS ble prosessert av en algoritme designet av Ola Øvstedal som tar flere spor som input og beregner et MKM-estimat på et “best-fit” spor basert på input-sporene. Denne algoritmen (*lin_stat1*, sammen med *line_est.m*) ble kjørt for alle kombinasjoner av måleutstyr for hvert måleområde, med unntak av kalibreringsstripa fordi sporet for en målesesjon der overlapper seg selv. Resultatene fra den nevnte algoritmen blir en rekke spor som er vektete midler av de rå løypesporene. Avstandene på de nye sporene beregnes og sammenlignes med den gjennomsnittlige avstanden på strekningen fra JC.

En ting som måtte diskuteres før måling var effekten kupert terreng vil ha på målingene. JC måler avstand på hjulsporet, så den observasjonen følger terrenget uansett. Observasjonene fra treningsklokkene blir gitt på gpx-format, hvor bredde-og lengdegrad blir oppgitt, samt en høyde som verken er ortometrisk eller ellipsoidisk. Høyden i gpx-fila kommer fra en barometrisk høydemåling (se kapittel 2.1.3.1). CPOS ble satt til å levere data i EUREF89 med NN2000 som høydereferansemodell. Dataene var planlagt å bli bearbeidet i QGIS og i programmene tilbudt av veileder. Da verken QGIS eller det nevnte programmet hadde støtte for å behandle høyder ble ikke høydene tatt med videre

i beregningene. Effekten av å se bort ifra høyder måtte forhåndsestimeres. I prinsippet ville dette være det samme som å projisere alle punktene ned på en flate og beregne avstanden langs de angitte punktene.

Ettersom måleområdene er små i utstrekning, og nøyaktigheten som forventes fra treningsklokkene er på flere meter, vil det kunne anses som problemfritt å forenkle referanseellipsoiden under måleområdet til en flate. Dette kan begrunnes ved å se på et eksempel. Måleområdet som er størst i utstrekning er Oslo sentrum, der det skiller omtrent 1500 m mellom det østligste og vestligste punkt på løypa. Dersom det videre antas at ellipsoiden er en kule med radius 6371 km og sammenfaller denne kula og en flate i det vestligste punktet, kan avviket mellom de to overflatene estimeres.



Figur 3.1: En tenkt flate sammenfaller med en kuleoverflate i punkt P . En avstand d unna punkt P vil de to overflatene sprike med en avstand x . (Figurene er ikke tegnet til riktig skala)

Hvis kuleflaten trekkes utover med en avstand x slik at krysningpunktet ligger til høyre i figur 3.1a kan det samme spørsmålet stilles på en annen måte. Her må det presiseres at det problemstillingen blir forenklet ved at hele kuleflaten forskyves i samme retning, og ikke at hvert punkt på flaten forskyves ut fra jordas sentrum. Dette er en forenkling, og som det vil fremgå i ligning (3.1) er avviket mellom flaten og buelengden såpass liten at det kan forventes et avvik som også er så lite at det kan forkastes selv uten denne forenklingen. I figur 3.1b blir spørsmålet å bruke Pythagoras' teorem for å finne lengden av $R - x$. Det er antatt at $R = 6371000$ m og $d = 1500$ m, og av det følger det at

$$\begin{aligned}
 (R - x)^2 + d^2 &= R^2 \\
 x &= R - \sqrt{R^2 - d^2} \\
 x &= 6371000 - \sqrt{6371000^2 - 1500^2} \\
 x &= 0.177\text{m}
 \end{aligned}$$

Altså vil jordkrumning føre til en høydeforskjell på 18 cm over en avstand på 1500 m. Buelengden b kan regnes ut ved å utnytte at

$$a = \frac{b}{R} \quad \text{og} \quad \sin a = \frac{d}{R}$$

Da blir

$$\begin{aligned}
 b &= R \sin^{-1} \frac{d}{R} \\
 b &= 1500.00001\text{m}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Med andre kan vi si at ved å la krumningen på jorda tilnærmes som en plan flate vil feil i avstander som følge av den tilnærmingen være i størrelsesorden $0.1 \mu\text{m}$. Denne forskjellen vil være insignifikant sett i forhold til observasjoner med treningsklokkene, CPOS og JC. Dette betyr at over et område med utstrekning på 1500 m er det mulig å estimere hvor stor forskjell det er på horisontal avstand og skråavstand med en gitt stigning ved hjelp av trigonometri uten at bakken er en kurve.

Tabell 3.1: Ved ulike grader av gjennomsnittlig stigning over en horisontal avstand på 1000 m, vil forskjellen mellom skråavstand og horisontal avstand beregnes ved hjelp av den trigonometriske ligningen $d = s \cos \alpha$, der d er horisontal avstand, s er skråavstand og α er vinkelen på stigningen. Merk at skråavstanden ikke trenger å være konstant stigende eller synkende. Poenget er at α betegner den gjennomsnittlige absolutte gradienten langs skråavstanden.

Gjennomsnittlig stigning [°]	Tilsvarende stigning i høydeforskjell [m]	Avvik mellom skrå- og horisontalavstand [m]
0.20	3.491	0.006
0.50	8.727	0.038
0.75	13.091	0.086
1.00	17.455	0.152
1.50	26.186	0.343
2.00	34.921	0.610
3.00	52.408	1.372

3.2 Materialer

Tabell 3.2 inneholder en oversikt over utstyr og programvare som ble brukt under data-innsamling og den påfølgende beregningen av dataene.

Tabell 3.2: En oversikt over alt utstyr og programvare som ble brukt i oppgaven

Enhet	Modell	Leverandør
Treningsklokke	Forerunner 935	Garmin
Treningsklokke	Fenix 3	Garmin
Jones Counter	JR-modell (5-sifret)	JR Counters
CPOS-antenne	Hiper SR	Topcon
Totalstasjon	ES-103	Topcon
Programvare	Las Palmas 2.18.13	QGIS
Programvare	Python 3.6	Anaconda (Spyder)
Programvare	Matlab R2017b	Mathworks
Program	lin_stat1	Ola Øvstedal
Skript	line_est.m	Ola Øvstedal

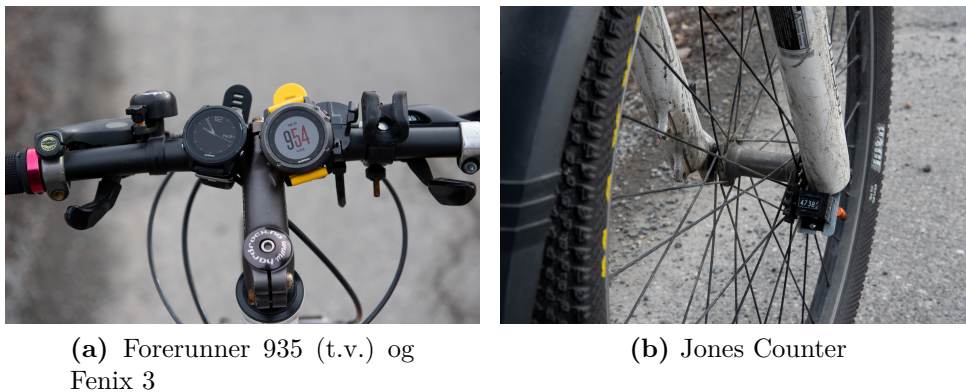
Sykkelen som ble brukt til målingene hadde treningsklokkene montert som vist på figur 3.2a, og JC var montert som vist i figur 3.2b. Innstillingene på begge klokkene var valgt slik at det ble målt til både GPS og Glonass. Dette er basert på masteroppgaven til Gjersø (2018), der det ble antydnet at den horisontale nøyaktigheten i Garmin Fenix 5X ble litt forbedret ved bruk av GPS og Glonass kombinert, i stedet for kun GPS. Dataregistrering var satt til å registrere punktobservasjoner hvert sekund, i motsetning til funksjonen “smart recording” som lagrer et færre antall punkter for å spare minne i områder der det ikke tapes mye informasjon på å bruke færre punkter. Grunnen til dette var at punktene som skulle brukes senere i beregningen bør ha så høy temporal oppløsning som mulig.

Programmet som er utviklet av veileder, *lin_stat1.exe* sammen med Matlab-skriptet *line_est.m*, utgjør sammen en løsning som lager et MKM-estimat basert på data fra flere repeterte spor. Programmet trenger en referansefil som utgangspunkt. Hvert punkt i referansefila brukes til å finne nærmeste nabo i hver av de andre løypefilene. Nærmeste nabo identifiseres ved å beregne euklidske avstander mellom hvert punkt i referansefila og alle punkt i hvert av de andre sporene etter formelen

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3.2)$$

der (x_i, y_i) og (x_j, y_j) er punktkoordinatene til et punkt i i referansefila og et punkt j i en av de andre filene hvor nærmeste nabo skal identifiseres.

Dette gir like mange punktklynger som antall punkter i hovedfila. Deretter kjøres en utjevning av punktene i hver klynge ved å bruke MKM til å estimere ett punkt. De inverse av variansene til alle punktene i input-filene brukes som vekter i denne utjevningen. Til slutt gjenstår da en rekke estimerte punkter med tilhørende estimerte standardavvik som representerer en MKM-løsning av de sporene som programmet leser. Det bør nevnes at ettersom vektene er basert på standardavvik, og gpx-filene fra treningsklokkene ikke leverer standardavvik for hvert punkt, blir det valgt et konstant standardavvik for klokken. Basert på informasjon fra Garmin (2019) settes denne verdien konstant til 5 m.



Figur 3.2: Monteringen av treningsklokkene på sykkelstyret og montering av JC på akslingen til forhjulet.

3.2.1 Jones Counter

En Jones Counter (JC) er et odometer som monteres på akslingen til forhjulet til en sykkel og brukes for å bestemme lengden på et bestemt sykkelspor. Det er den eneste offisielt godkjente metoden for å beregne lengden på gateløp. (IAAF, 2008b) En JC fungerer ved at ett tannhjul roterer med hjulet og påfører en rotasjon på et annet tannhjul. Forholdet mellom antall tenner på de to hjulene er 26/11, noe som tilsvarer 23,6363 tellinger per omdreining av sykkelhjulet. Gitt at en alminnelig sykkel har en diameter på omtrent 65 cm på forhjulet (inkludert dekktykkelse) fører det til at en JC har en usikkerhet på 9-10 cm. (IAAF, 2008b) Jo mindre størrelsen på hjulet er, desto mindre blir usikkerheten rundt måling med en JC.

Før en JC kan tas i bruk for måling av løyper, må den kalibreres. Dette gjøres på følgende måte (IAAF, 2008b):

1. En kalibreringsstripe etableres. Dette skal være en rett linje med minst mulig høydeendring underveis. Avstanden bør være omtrent 500 m og underlaget bør være mest mulig likt underlaget som JC skal måle avstand på senere. Nøyaktig

hvor langt det er mellom de to endepunktene er ikke så viktig, men avstanden må vites nøyaktig. Lufttrykket i dekkene bør være oppimot det maksimale trykket, for å ha minst mulig variasjon i dekktrykkelse der dekket er i kontakt med bakken.

2. Denne strekningen sykles (eller trilles) 4 ganger. Ved starten av den første strekningen trilles forhjulet fremover inntil JC registrerer en telling. Forbremsen holdes inne og hjulet plasseres forsiktig på startstreken med hjulakslingen loddrett over startpunktet. Slik garanteres det at JC ikke har en brøkdel av en telling ved starten av kalibreringen og når hjulet starter å rulle starter tellingen umiddelbart. Avlesningen på JC før kalibrering noteres.
3. Sykkelen trilles eller sykles fram til endepunktet på en så rett linje som mulig med samme vekt på sykkelen som under selve oppmålingen senere. Når sykkelen nærmer seg endepunktet trilles sykkelen forsiktig fram helt til hjulakslingen på forhjulet står loddrett over endepunktet. Forbremsen holdes inne og sykkelen roteres slik at når sykkelen trilles motsatt retning fortsetter tellingen nøyaktig der den slapp. Når sykkelen ankommer endepunktet noteres avlesningen på JC. Igjen sjekkes avlesningen etter av sykkelen er reposisjonert slik at det ikke er avvik i avlesningen. Dette er viktig, og dersom det ikke overholdes må kalibreringen startes på nytt.
4. Etter 4 repetisjoner sammenlignes avlesningene for hver enkelt strekning. De skal være forholdsvis like. Ifølge regelverket for kalibrering av JC fra IAAF (2008b) tallfestes det ikke hvor forskjellig en avlesning skal være før den er for ulik de andre. Dersom det er for store avvik mellom avlesninger, repeteres enkeltstrekninger inntil man har 4 jevne avlesninger.
5. De 4 avlesningene brukes til å beregne en gjennomsnittlig avlesning for hver kalibreringsstrekning. Dette tallet deles videre på avstanden mellom endepunktene på strekningen (i kilometer) for å stå igjen med antall tellinger på JC per kilometer.

Den opprinnelige Jones Counter ble oppfunnet av Alan Jones i 1971 etter at han løp et gateløp på en mistenkelig rask tid etter egen standard. Han kjørte senere bilen sin rundt løypa, som var påstått å være 20 km (12,4 miles), men bilens odometer målte kun 18,3 km (11,4 miles) (Jones, 1984). Dette inspirerte Jones til å utvikle en globalt akseptert enhet for oppmåling av gateløp. Den første Jones Counter ble solgt i 1973. Opp igjennom årene har den opprinnelige Jones Counter blitt modifisert et par ganger, og per dags dato (april 2019) er det modellen JR (Jones-Riegel) fra 2008 som er den nyeste.

I Norge er det organisasjonen *Kondis* som har ansvaret for kontrollmåling av løyper. Dette tilbys som en gratis tjeneste og måles etter de retningslinjene spesifisert i IAAF (2008b) med autoriserte løypemålere.



Figur 3.3: Hvordan en JC fungerer: På det store grå tannhjulet (1) sees et hull. På baksiden av hullet er det en tagg som griper tak i en av eikene, slik at tannhjulet snur sammen med forhjulet. Denne bevegelsen driver det mindre sorte tannhjulet (2). Akslingen som (2) sitter på driver en mekanisme inni telleboksen (3) som øker eller reduserer tallet som vises avhengig av om bevegelsen er framover eller bakover.

3.2.2 CPOS

CPOS-utstyret brukt i oppgaven ble lånt fra Blinken A/S. Til denne oppgavens formål ble innstillingene justert slik at antenna ikke bare måler når den har etablert fix-løsning, men tvunget til å måle hvert sekund uavhengig av type løsning. Dette betyr at det er en fare for en del støy i målingene. Problemet med å ikke gjøre denne endringen er at ikke observasjonene ligger tett nok til å kunne bruke som datagrunnlag for oppgaven.

Måling med CPOS bør gjøres med mellomrom på 30-45 minutter pause for å forhindre for sterk grad av avhengighet mellom måleserier. (Teigland, 2018) Ved 2 måleserier skal det være en ventetid på 45 minutter, og ventetiden skal være 30 min når det måles 3 ganger. Det er ikke oppgitt verdier for ventetid ved et høyere antall måleserier, så det er rimelig å anta at for 5 måleserier bør ventetiden være et sted mellom 20-30 minutter.

Utstyret som ble brukt ble båret på en stang en dag, og var montert på en sekk som ble lånt av NMBU de resterende dagene. Denne sekken hadde to festeskrue for montering av CPOS-antennene, og var derfor et praktisk valg når måling skulle gjøres på sykkel (se figur 3.4).



Figur 3.4: Utstyret brukt til CPOS-måling.

3.3 Valg av måleområder

Fire områder ble valgt til måling. Det var viktig at de representerte ulike egenskaper i terrenget for å se hvordan beregnet avstand eventuelt påvirkes av disse egenskapene. Med ulike egenskaper i terrenget menes i hovedsak ulike hindringer for GNSS-signaler. I tillegg måtte det være områder med et jevnt underlag slik at sykkelen med JC kan måle mest mulig representativ avstand. Det vil si at over røtter og steiner ikke er et egnet sted for å måle med JC, mens asfalt og andre flate overflater passer bedre.

Det ble først valgt en rett, nesten flat strekning under åpen himmel, for kalibrering av JC. Denne strekningen ble det også målt inn under kalibreringene. Videre ble et skogsområde valgt for å se på hvordan trær påvirker nøyaktigheten. Etersom trær ikke er ugjennomtrengelige hindringer for signalene ble også et sentrumsområde i Oslo brukt til måling, der hindringene anses som ugjennomtrengelige. Til slutt ble det målt rundt en friidrettsbane for å se mer isolert på hva som skjer med målinger fra treningsklokker i svinger der sikten er nesten helt åpen.

Alle ortofoto (figur 3.5 - 3.8) er eksportert fra *norgebilder.no* ved hjelp av Ivar Maalen-Johansen og veileder Ola Øvstedal gjennom universitetets medlemskap i Norge Digitalt. Metadata om de aktuelle ortofotoene som er brukt kan leses i tabell 3.4 - 3.6.

Ortofoto er sammensatte flybilder med den egenskapen at innsynsvinkelen er loddrett over hver piksel. Ortofoto må georefereres og kan da brukes til å måle i, akkurat som et hvert annet kart. Nøyaktigheten på denne georefereringen, eller stedfestingen sier noe om hvor nøyaktig målte punkter synes å være plassert i et ortofoto. Alle ortofoto brukt i oppgaven er av typen Ortofoto 10, og de aktuelle områdene som ortofotoene dekker er alle av FKB-standard A. Dette betyr at etter de kravene som er opplyst om i tabell 3.3 vil det maksimale tillatte standardavviket i grunnriss i hvert ortofoto være på 35 cm.

Tabell 3.3: Stedfestingstoleranse for ortofoto oppgitt som maksimalt tillatt standardavvik i grunnriss, i enhet cm.

FKB-standard	Ortofotostandard		
	Ortofoto 10	Ortofoto 20	Ortofoto 50 - omløpsfotografering
A/B	35	50	500
B	90	90	500
C	150	300	500
D	–	–	500
Ortofotopløsning	4 - 12,5	15 - 20	25 - 50

3.3.1 Sykkelsti langs Åsveien (Kalibreringsområde)

På en sykkelsti langs Åsveien, mellom Ås og Ski, skulle kalibreringen og etterkalibreringen av JC foregå, og derfor ble avstanden begrenset til 400-500 meter, som følge av anbefaling fra (IAAF, 2008b). En spiker ble slått ned for å markere det ene endepunktet, og en annen spiker ble slått ned mellom 400 og 500 meter lenger bort på stien. Det ble satt opp stativ over begge punktene og avstanden mellom dem ble målt med totalstasjon.



Figur 3.5: Et ortofoto som viser hvor kalibreringen av JC ble utført

Tabell 3.4: Metadata om ortofoto over kalibreringsstripa langs Åsveien. (figur 3.5)

Metadata	Kalibreringsstripe
Prosjektnavn	Follo 2017
Eier	Geovekst
Fotodato	2017-05-26
Dekningsnummer	14266
Stripenummer	18-19
Bildenummer	29-37
Prosjektstart	2017
Ortofototype	1
Pixelstørrelse	0.08
Bilde-bit-pixel	24
Opptaksmetode	2
Bildekategori	3
Opprinneligbildesys	22
Opprinneligbildeformat	TIFF
Orienteringsmetode	2
Flyfirma	TerraTec AS
Produsent	TerraTec AS
Koordinatsystem	EUREF89 UTM 32

Ifølge (IAAF, 2008b) bør kalibreringen av JC gjøres i nærheten av måleområdet. Dette er tilfellet for alle områdene brukt i oppgaven med unntak av Oslo. Grunnen til at kalibreringen også ble gjort langs Åsveien for målingene i Oslo er fordi det var praktisk å beholde et konstant sted for kalibrering. Det tar ca. 30 minutter å frakte sykkelen med JC mellom Oslo sentrum og kalibreringsområdet.

Denne strekningen ble som nevnt brukt for kalibrering av JC, og avstanden per omdreining fra JC vil variere i forhold til observasjonene fra totalstasjon. Derfor vil avstanden fra JC være identiske med avstanden fra totalstasjonen. Etersom totalstasjonen har målinger med minst avhengighet av andre målekilder anses avstanden fra totalstasjon som fasiten for dette måleområdet.

3.3.2 Holstadstien i Askjumskogen



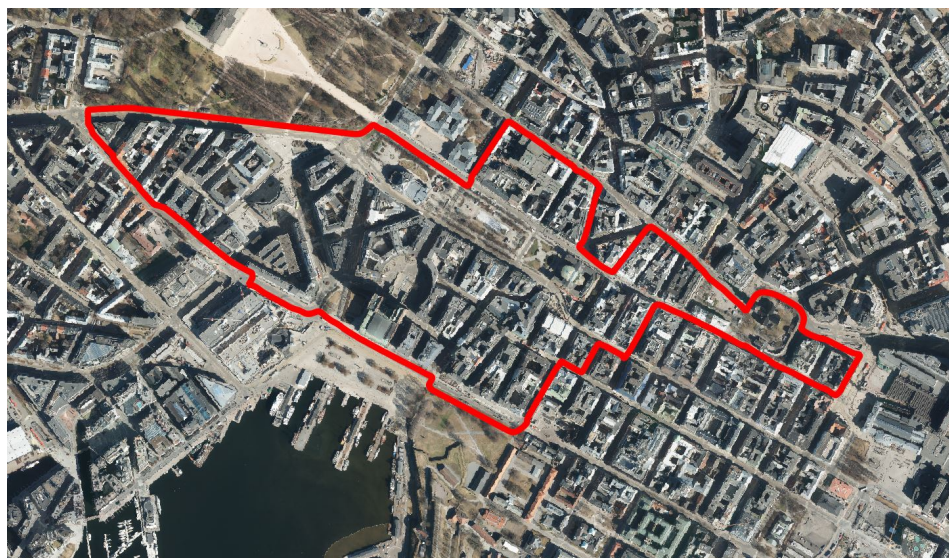
Figur 3.6: Løypa som ble målt i Askjumskogen. Sporet er manuelt digitalisert i QGIS uavhengig av de målte punktene, slik at linja viser ruta som ble gått i ortofotoet.

Tabell 3.5: Metadata om ortofoto over Askjumskogen og Ås stadion. Et stort ortofoto som dekker størsteparten av Ås sentrum ble eksportert, og hvert prosjekt bruker utsnitt av dette større ortofotoet. (figur 3.6 og 3.8)

Metadata	Ås
Prosjektnavn	Follo 2017
Eier	Geovekst
Fotodato	2013-07-06
Dekningsnummer	CO-10559
Stripenummer	011-015
Bildenummer	47-71
Prosjektstart	2013
Ortofototype	1
Pixelstørrelse	0.08
Bilde-bit-pixel	24
Opptaksmetode	2
Bildekategori	3
Opprinneligbildesys	22
Opprinneligbildeforamt	Tiled TIFF
Orienteringsmetode	2
Flyfirma	Cowi AS
Produsent	Cowi AS
Koordinatsystem	EUREF89 UTM 32

I Askjumskogen går det en kulturminnesti, og målinger ble gjort på den østlige delen av runden. Stien er bred og brukes som skiløype om vinteren. Den er dekket av trær på begge sider nesten hele veien, men med en åpning over stien mellom trekronene.

3.3.3 Oslo sentrum



Figur 3.7: Løypa som ble målt i Oslo. Sporet er manuelt digitalisert i QGIS uavhengig av de målte punktene, slik at linja viser ruta som ble gått i ortofotoet.

Tabell 3.6: Metadata om ortofoto over Oslo sentrum (figur 3.7)

Metadata	Oslo
Prosjektnavn	Oslo kommune 2018
Eier	Oslo kommune
Fotodato	2018-04-21
Dekningsnummer	TT-14340
Stripenummer	12-29
Bildenummer	17-26
Prosjektstart	2018
Ortofototype	1
Pixelstørrelse	0.08
Bilde-bit-pixel	24
Opptaksmetode	2
Bildekategori	3
Opprinneligbildesys	22
Opprinneligbildeformat	Tiled TIFF
Orienteringsmetode	2
Flyfirma	TerraTec AS
Produsent	TerraTec AS
Koordinatsystem	EUREF89 UTM 32

En løype i Oslo sentrum på drøye 4 km ble valgt for å kunne se på effekten av bygninger som hindringer. Løypa ligger i området rundt Karl Johans gate med varierende grad av nærhet til bygninger. Løypa starter i åpent terreng langs sørsiden av Slottsparken, før den svinger sør i retning Oslo Rådhus. Det er litt tettere med bygninger i dette området, men veien forholder seg nesten helt rett fram. Utenfor rådhuset er terrenget helt åpent, med unntak av rådhuset i nord. Etter dette punktet blir løypa mer svingete og holder seg tett til bygninger. I Karl Johans gate er det mer avstand til bygningene på siden, og det blir mer åpent ved Jernbanetorget. Etter passeringen av Oslo Domkirke går løypa igjen på fortau som holder seg helt inntil bygninger. Den siste rette strekningen langs Karl Johans gate er ikke like nær bygninger som de siste par hundre meterne, men følger en rekke med trær opp til inngangen til Slottet.

3.3.4 400m friidrettsbane på Ås stadion



Figur 3.8: tekst her

På Ås stadion ble løpebanen målt. Med unntak av kalibreringsområdet var denne løypa den eneste der en sann verdi er kjent uten hjelp av JC. Sykkelen ble trillet rundt banen i det innerste sporet, mens en jevn avstand på 20 cm fra lista ble opprettholdt etter

beste evne. Grunnen til dette er fordi løpebanen måles opp 20 cm fra lista i den innerste banen til å være 400 m. (IAAF, 2008a)

I tillegg til å måle enkeltrunder, ble det bestemt at det også skulle utføres målinger med treningsklokkene over et flertall av runder, for å se om de samme feilene som gjelder ved en enkelt runde er sammenlignbar med feil fra flere runder i samme måleserie.

Merk at beskrivelsene som nevnes om hvert måleområde er basert på subjektive observasjoner og skal kun gi et grovt bilde av hvordan landskapet endrer seg langs løypa, med spesielt fokus på eventuelle hindringer for GNSS-signalene.

3.4 Datainnsamling

Målingene ble utført litt sporadisk i løpet av perioden februar til mai 2019. Det var visse forutsetninger som lå til grunn for at målinger kunne gjøres. Det første var at bakken måtte være fri for snø. Et snølag på bakken endrer avstanden som måles med JC i tillegg til at snø danner en glatt overflate som gjør at sykkelhjulet kan skli og derfor resultere i mindre pålitelige målinger. Noen målinger ble gjort veldig sent på semesteret fordi det først da ble klart at det var målinger som også burde bli utført.

Målingene i Oslo sentrum ble utført på natten for å unngå for mange mennesker på veien samtidig som målingene ble utført. Dette var ikke et problem på samme nivå ved de andre målestedene, da de stedene generelt var mindre befolket enn Oslo sentrum.

3.4.1 Logg

Det som var felles for hver målesesjon, med unntak av 16. februar, 30. april og 1. mai var at JC måtte kalibreres. Dette ble gjort før hver måling, og etter måling var utført et antall ganger, ble JC kontrollert i etterkant for å sjekke at parametre ikke hadde endret seg underveis. Dette nevnes derfor ikke for hver dag i loggen.

16. februar

Kalibreringsstripa ble målt inn med totalstasjon. Området var plukket ut på forhånd, men ble nøyaktig markert denne dagen. En spiker ble slått ned i asfalten der veien var rett og fortsatte rett i en fast retning for en rikelig lang avstand, og deretter ble spikeren tydeligere markert med markeringsspray. Et stativ ble satt opp over punktet, og totalstasjonen ble plassert der. Det andre stativet og prismet ble tatt med bortover

veien til avstanden mellom stativene var mellom 400 og 500 meter. Da ble en spiker slått ned i asfalten, markert med spray og et stativ ble satt over punktet, med prismet på toppen. Etter at instrument- og siktehøyder ble målt ble avstanden målt. Det ble målt 3 helsatser, altså 6 avstander.

Det ble bestemt på stedet at avstandene kun behøvde å bli målt i en retning. Dette er fordi med totalstasjon forventes en usikkerhet på $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$, noe som tilsvarer cirka 3 mm i usikkerhet for en avstand på 400-500 meter. Med JC er målingene nøyaktige til 8-10 cm, og treningsklokkene antas en fast usikkerhet på 5 m per punkt.

17. februar

Det ble målt i Askjumskogen med Forerunner 935 og Fenix 3 denne dagen. Sykkelen med JC ble trillet frem og tilbake langs løypa i skogen. Avlesningen på JC ble notert ved start og stopp for hvert målesegment, i tillegg til at treningsklokkene ble startet og stoppet ved endepunktene. Dette ble gjort for at hvert segment enkelt skulle kunne skilles fra de andre. Det ble målt 5 ganger i vanlig gangfart.

20. februar

Det ble målt i Oslo sentrum natt til 20. februar. Denne gangen ble ikke kalibreringen gjort gående, men syklende, for å få raskere måling. Runden i Oslo er for lang til at sykkelen kan trilles langs løypa. Etter kalibrering ble sykkelen fraktet med bil til Oslo, der det ble syklet 3 runder og målinger ble gjort med begge treningsklokkene. Langs denne runden ble det identifisert punkter hvor JC ble avlest. Dette var for å lettere identifisere hvor eventuelle avvik kunne ha stammet fra. Hvis det skulle dukke opp mistenkelige forskjeller i JC-avlesningene.

27. februar

Denne dagen ble det målt med CPOS i skogen. Sykkelen med JC ble ikke brukt, da det ikke var helt klart hvordan CPOS-antenna skulle festes til sykkelen. Det ble heller ikke målt med treningsklokkene. Det ble målt 5 ganger med CPOS alene mellom de eksisterende endepunktene. For denne dagen finnes derfor ikke fasitmålinger fra JC, men ettersom det var den samme løypa som ble målt, kan de brukes i en felles løsning senere. Den første målesesjonen ble forkastet, ettersom innstillingene ikke var riktig satt opp. På denne måleserien ble kun punkter registrert der det var etablert fix, men i skogen er det ingen garanti for at man har fix hele tida. Dette førte til at det kun ble

registrert oppimot 10% av punktmengden som var ønsket, og dermed var for mangelfull til å kunne brukes.

20. mars

Siden forrige måledag var det mengder med snø som gjorde måling vanskelig, og derfor var det en relativt lang pause fra forrige måling til denne dagens målinger i Oslo. Det ble i mellomtida fremskaffet en sekk med feste for CPOS-antenna, slik at det kunne måles med CPOS samtidig som JC på sykkelen registrerte hjulsporavstand. Som nevnt i kapittel 3.2.2 bør målinger med CPOS gjøres med opphold på 30-45 minutter avhengig av antall måleserier, men det ble bestemt at målingene skulle gjøres uten opphold. Tanken var at det var bedre med flere måleserier enn for få, og dersom de viste seg å ikke kunne brukes grunnet sterk avhengighet kunne noen måleserier forkastes.

28. mars

Denne siste måledagen ble det målt både i Askjumskogen og på Ås stadion. Skogen burde måles en gang til fordi det ikke var gjort målinger der med både CPOS og JC samtidig. Skogen kunne måles syklende, mens løpebanen på stadion burde måles gående ettersom planen var å måle så nært som mulig til den tenkte linja som går 20 cm utenfor den indre kanten på løpebanen. En slik type presisjonsmåling er vanskelig å utføre syklende. Av den grunn var det nødvendig at en kalibrering måtte gjøres en gang per område, der en var gående og en var sittende på sykkel, med tilhørende etterkontroller.

30. april

Denne dagen var det kun målt med treningsklokker på Ås stadion, uten JC eller CPOS. Dette var for å få et siste sett med data som tallfester avvik som gjøres ved løping på stadion når det løpes lengre distanser enn bare en runde. Det ble løpt 12,5 runder i løpebane 1, slik at hver runde kunne regnes som 400m. Klokkene var ikke montert på noen sykkel, men i stedet på håndleddene mine. En klokke ble satt på hver arm. Dette vil føre til at målingen skjer på samme måte som målingene ville blitt gjort dersom noen skulle måle under en vanlig treningsøkt.

1. mai

Det ble gjort tilsvarende målinger denne dagen som dagen før. Forskjellen mellom de to dagene var armen som hver klokke var montert på. 30. april var Forerunner 935 festet

på venstre arm, mens Fenix 3 var på høyre arm, og 1. mai var det motsatt.

4. Resultater

Resultatene som er presentert i kapittel 4.2 til 4.4 er beregnet direkte fra observasjonen og eventuelle grovfeil er ikke fjernet fra datasettet. I kapittel 4.5 har alle observasjoner blitt behandlet gjennom *lin_stat1* og *line_est.m*. Grovfeil er fjernet og løyper har blitt etablert som resultat av MKM-utjevning, basert på en referansefil, av flere rå løypespor. De filene som ble valgt ut som referanser for hver løsning er presentert i kapittel 4.2 til 4.4. Det må presiseres at begrunnelsen for hvorfor de filene ble valgt er subjektiv og er kun basert på hvor nær det ekte sporet hver observert løype var. Det er ikke estimert noen spor med denne metoden for kalibreringsstripa ettersom sporet overlapper samme del av løypa flere ganger.

4.1 Kalibreringsstripe

4.1.1 Kalibrering av JC

Tabell 4.1: Resultater fra totalstasjonsmålinger på kalibreringsstripa. Den midlede avstanden ble brukt som fasitlengde på kalibreringsstripa, og det er grunnen til at alle JC-tallene er identiske i tabell 4.2 til 4.5.

Sats nr.	Avstand [m]
1a	441,9937
1b	441,9934
2a	441,9937
2b	441,9934
3a	441,9947
3b	441,9935
Middel	441,9937

Avstanden som ble målt med totalstasjon på kalibreringsområdet var grunnlaget for alle avstander målt med JC. Denne avstanden ble målt 6 ganger med 3 helsatser, for å eliminere eventuelle systematiske avstandsavhengige feilkilder i kikkertsiktet.

4.1.2 Tabeller med beregnede avstander

Tabell 4.2: Resultater fra datainnsamling fra fire datoer langs kalibreringsstripa ved Åsveien. Kolonnen “M.nr.” viser nummeret på måleserien per dag. “JC” betyr avstanden målt med Jones Counter. Geometriske avstander er beregnet ved å bruke grunnrisskoordinatene fra hvert instrument og regne ut summen av skråavstander mellom etterfølgende punkter. “Intern klokke” er avstanden som vises på displayet til treningsklokkene. Dette tallet vises som nærmeste multiplum av 10. “FE” betyr Fenix 3 og “FO” betyr Forerunner 935. Det ble ikke målt med alle instrumenter hver dag, derav de blanke feltene.

Dato	Kalibrering		Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
	M.nr.	JC [m]	FE	FO	CPOS	FE	FO
17/02	1	1767,975	1780,531	1767,388	–	1770	1760
	2	1767,975	1785,491	1763,824	–	1780	1760
20/02	1	1767,975	1782,414	1780,212	–	1780	1780
	2	1767,975	1783,796	1778,895	–	1780	1780
20/03	1	1767,975	1781,884	1756,375	1785,291	1770	1750
	2	1767,975	1779,265	1752,934	1787,985	1770	1750
28/03	1	1767,975	1774,194	1758,723	1778,089	1770	1760
	2	1767,975	1778,309	1775,549	1781,908	1770	1770
	3	1767,975	1778,875	1769,351	1780,334	1770	1770
	4	1767,975	1786,376	1782,615	1780,010	1780	1780

Tabell 4.3: Avvik mellom geometriske avstander fra koordinater og avstandene fra klokkenes egne beregning i forhold til avstandene fra JC. Negative avvik samsvarer med lengre JC-observasjon.

Kalibrering			Avvik fra JC				
Dato	M.nr.	JC [m]	Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
			FE	FO	CPOS	FE	FO
17/02	1	1767,975	12,556	-0,587	–	2,025	-7,975
	2	1767,975	17,516	-4,151	–	12,025	-7,975
20/02	1	1767,975	14,439	12,237	–	12,025	12,025
	2	1767,975	15,821	10,920	–	12,025	12,025
20/03	1	1767,975	13,909	-11,600	17,316	2,025	-17,975
	2	1767,975	11,290	-15,041	20,010	2,025	-17,975
28/03	1	1767,975	6,219	-9,252	10,114	2,025	-7,975
	2	1767,975	10,334	7,574	13,933	2,025	2,025
	3	1767,975	10,900	1,376	12,359	2,025	2,025
	4	1767,975	18,401	14,640	12,035	12,025	12,025

Tabell 4.4: Avvik mellom geometrisk avstand beregnet fra koordinater og avstanden beregnet internt fra klokken. Positive avvik samsvarer med lengre geometrisk avstand.

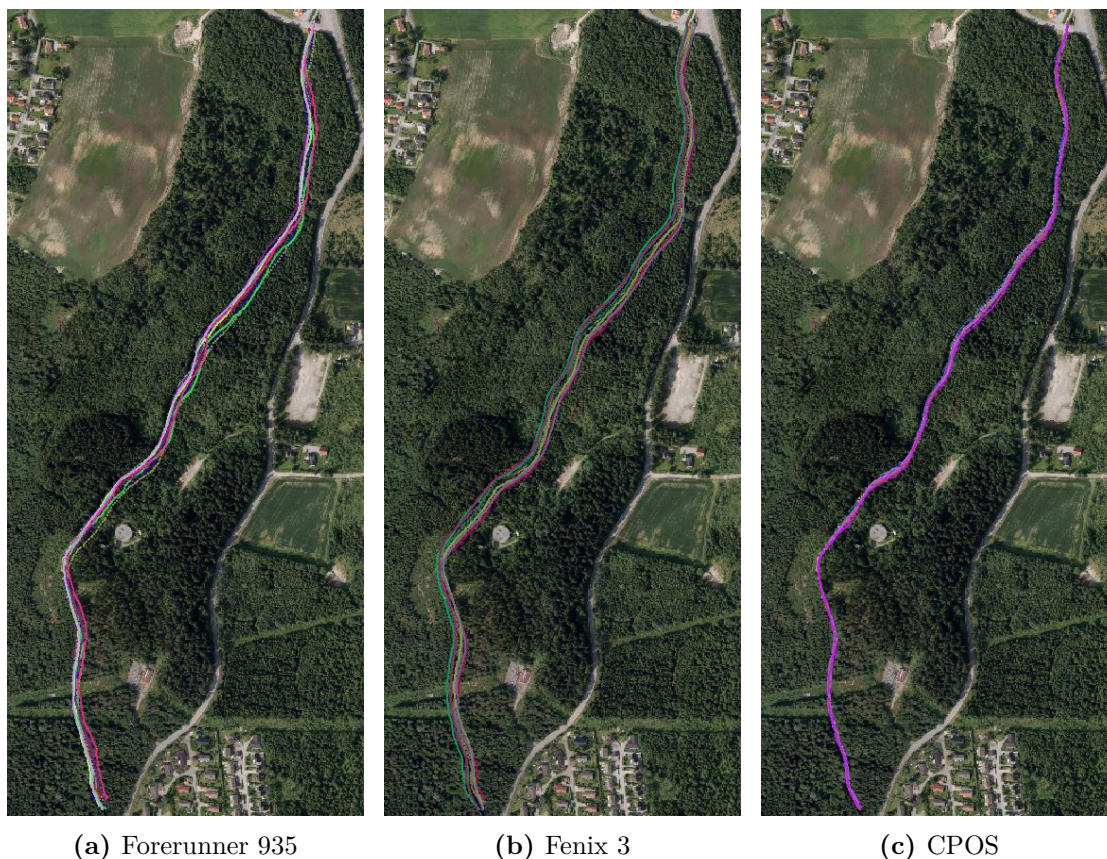
Kalibrering			Avvik [m]	
Dato	M.nr.	JC [m]	Fenix 3	Forerunner 935
17/02	1	1767,975	-10,531	-7,388
	2	1767,975	-5,491	-3,824
20/02	1	1767,975	-2,414	-0,212
	2	1767,975	-3,796	1,105
20/03	1	1767,975	-11,884	-6,375
	2	1767,975	-9,265	-2,934
28/03	1	1767,975	-4,194	1,277
	2	1767,975	-8,309	-5,549
	3	1767,975	-8,875	0,649
	4	1767,975	-6,376	-2,615

Tabell 4.5: Relative avvik for geometriske og interne avstander. Basert på avstandene i tabell 4.3.

Dato	Kalibrering		Geometriske avvik [%]		Interne avvik [%]	
	M.nr.	JC [m]	FE	FO	FE	FO
17/02	1	1767,975	0,71	-0,03	0,11	-0,45
	2	1767,975	0,99	-0,23	0,68	-0,45
20/02	1	1767,975	0,82	0,69	0,68	0,68
	2	1767,975	0,89	0,62	0,68	0,68
20/03	1	1767,975	0,79	-0,66	0,11	-1,02
	2	1767,975	0,64	-0,85	0,11	-1,02
28/03	1	1767,975	0,35	-0,52	0,11	-0,45
	2	1767,975	0,58	0,43	0,11	0,11
	3	1767,975	0,62	0,08	0,11	0,11
	4	1767,975	1,04	0,83	0,68	0,68

4.2 Askjumskogen

4.2.1 Ortofoto med løypespor



Figur 4.1: Spor fra de ulike målekildene i Askjumskogen



Figur 4.2: Hvert punkt i Askjumskogen har blitt fargelagt basert på om det er fix-løsning (grønn), float-løsning (gul) eller kodeløsning (brun). Etersom løypesporene ligger lagvis, kan det se ut til at det er et område med fix som er skjult i søndre del av ruta, men ved å se på de andre sporene som ligger under er det ikke mer enn det som vises her som er fix-løsning.

4.2.2 Tabeller med beregnede avstander

Tabell 4.6: Resultater fra datainnsamling fra tre datoer i Askjumskogen. Kolonnen “M.nr.” viser nummeret på måleserien per dag. “JC” betyr avstanden målt med Jones Counter. Geometriske avstander er beregnet ved å bruke grunnrisskoordinatene fra hvert instrument og regne ut summen av skråavstander mellom etterfølgende punkter. “Intern klokke” er avstanden som vises på displayet til treningsklokkene. Dette tallet vises som nærmeste multiplum av 10. “FE” betyr Fenix 3 og “FO” betyr Forerunner 935. Det ble ikke målt med alle instrumenter hver dag, derav de blanke feltene.

Askjumskogen			Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
Dato	M.nr.	JC [m]	FE	FO	CPOS	FE	FO
17/02	1	1314,902	1334,319	1343,972	–	1310	1310
	2	1314,990	1343,165	1332,777	–	1320	1300
	3	1313,761	1347,728	1324,189	–	1320	1300
	4	1314,902	1338,538	1327,694	–	1320	1300
	5	1314,376	1351,046	1324,093	–	1320	1310
27/02	2	–	–	–	1520,842	–	–
	3	–	–	–	1427,851	–	–
	4	–	–	–	1465,830	–	–
	5	–	–	–	1511,466	–	–
	6	–	–	–	1579,261	–	–
28/03	1	1315,772	1315,954	1290,982	1379,261	1310	1270
	2	1316,981	1318,765	1297,116	1536,157	1320	1290
	3	1316,290	1311,508	1326,248	1415,461	1310	1290
	4	1315,255	1318,506	1286,630	1514,222	1320	1280

Tabell 4.7: Avvik mellom geometriske avstander fra koordinater og avstandene fra klokkenes egne beregning i forhold til avstandene fra JC. Negative avvik samsvarer med lengre JC-observasjon.

Askjumskogen			Avvik fra JC				
Dato	M.nr.	JC [m]	Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
			FE	FO	CPOS	FE	FO
17/02	1	1314,902	19,417	29,070	–	-4,902	-4,902
	2	1314,990	28,175	17,787	–	5,010	-14,990
	3	1313,761	33,967	10,428	–	6,239	-13,761
	4	1314,902	23,636	12,792	–	5,098	-14,902
	5	1314,376	36,670	9,717	–	5,624	-4,376
27/02	2	–	–	–	–	–	–
	3	–	–	–	–	–	–
	4	–	–	–	–	–	–
	5	–	–	–	–	–	–
	6	–	–	–	–	–	–
28/03	1	1315,772	0,182	-24,790	63,489	-5,772	-45,772
	2	1316,981	1,784	-19,865	219,176	3,019	-26,981
	3	1316,290	-4,782	9,958	99,171	-6,290	-26,290
	4	1315,255	3,251	-28,625	198,967	4,745	-35,255

Tabell 4.8: Avvik mellom geometrisk avstand beregnet fra koordinater og avstanden beregnet internt fra klokkene. Positive avvik samsvarer med lengre geometrisk avstand.

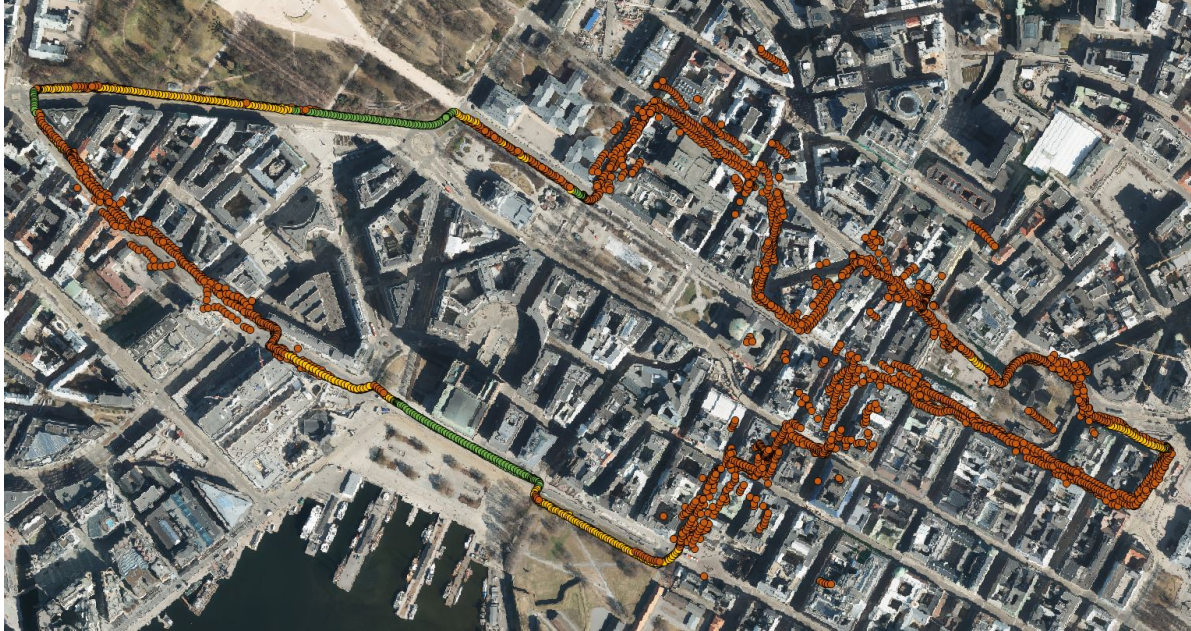
Askjumskogen			Avvik [m]	
Dato	M.nr.	JC [m]	Fenix 3	Forerunner 935
17/02	1	1314,902	24,319	33,972
	2	1314,990	23,165	32,777
	3	1313,761	27,728	24,189
	4	1314,902	18,538	27,694
	5	1314,376	31,046	14,093
27/02	2	–	–	–
	3	–	–	–
	4	–	–	–
	5	–	–	–
	6	–	–	–
28/03	1	1315,772	5,954	20,982
	2	1316,981	-1,235	7,116
	3	1316,290	1,508	36,248
	4	1315,255	-1,494	6,630

Tabell 4.9: For hver mulige kombinasjon som ble utført i *lin_stat1* ble følgende filer valgt som utgangspunkt for clustering. Hver kombinasjon betegnes med to bokstaver fra hver observasjon som er med i løsningen (FE = Fenix 3, FO = Forerunner 935, CP = CPOS)

Løsningskombinasjon	Valgt referansefil		
	Instrument	Dato	M.nr.
CPFEFO	CPOS	28/03	nr.1
CPFE	CPOS	28/03	nr.1
CPFO	CPOS	28/03	nr.1
FEFO	FE	28/03	nr.4
CP	CPOS	28/03	nr.1
FE	FE	28/03	nr.4
FO	FO	28/03	nr.2

4.3 Oslo sentrum

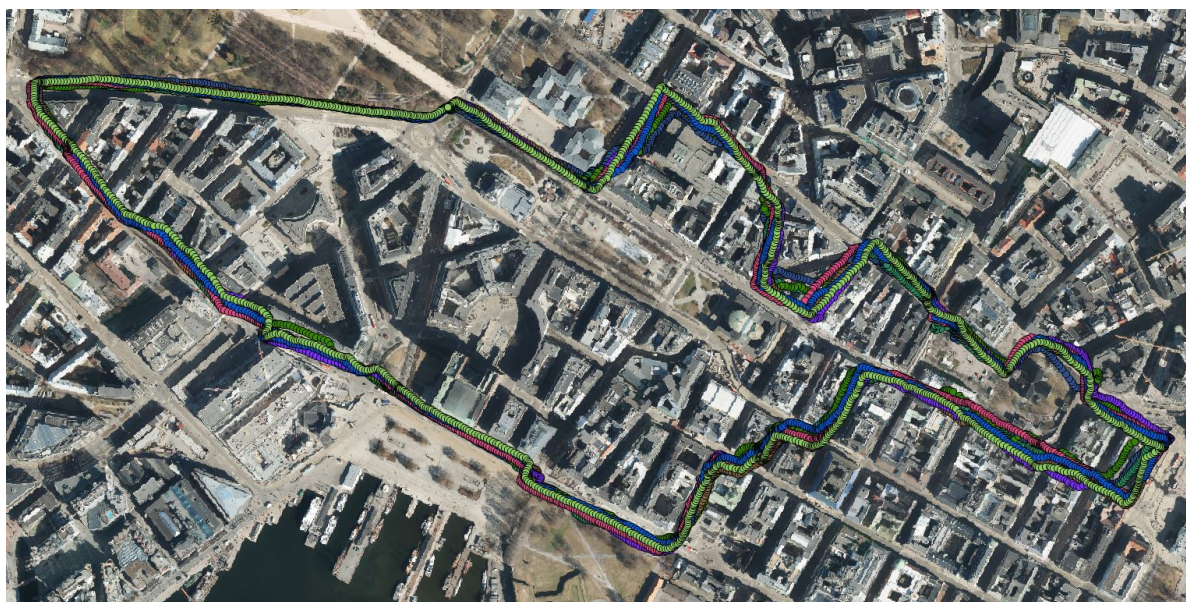
4.3.1 Ortofoto med løypespor



Figur 4.3: Hvert punkt målt med CPOS i Oslo sentrum har blitt fargelagt basert på om det er fix-løsning (grønn), float-løsning (gul) eller kodeløsning (brun). Det ser ut til at det i hovedsak er to partier med god-fix-løsning, og et lite område i svingen helt vest i løypa. Legg merke til mengden med støy i koordinatene i områder der det kun har blitt gjort kodeobservasjoner. Dette gjelder ikke for målingene fra treningsklokkene, ettersom det er ikke er mulighet for fasemåling med mottakerne i klokkene.



(a) Fenix 3



(b) Forerunner 935

Figur 4.4: Spor fra treningsklokkene i Oslo sentrum

4.3.2 Tabeller med beregnede avstander

Tabell 4.10: Resultater fra datainnsamling fra to datoer i Oslo sentrum. Kolonnen “M.nr.” viser nummeret på måleserien per dag. “JC” betyr avstanden målt med Jones Counter. Geometriske avstander er beregnet ved å bruke grunnrisskoordinatene fra hvert instrument og regne ut summen av skråavstander mellom etterfølgende punkter. “Intern klokke” er avstanden som vises på displayet til treningsklokkene. Dette tallet vises som nærmeste multiplum av 10. “FE” betyr Fenix 3 og “FO” betyr Forerunner 935. Det ble ikke målt med alle instrumenter hver dag, derav de blanke feltene.

Oslo sentrum			Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
Dato	M.nr.	JC [m]	FE	FO	CPOS	FE	FO
20/02	1	4048,146	4296,220	4062,400	–	4110	3910
	2	4041,221	4225,616	4033,191	–	4110	3920
	3	4047,627	4243,005	4046,966	–	4160	3950
20/03	1	4049,707	4261,295	3815,068	5124,997	4120	3570
	2	4042,012	4228,606	3876,617	6881,013	4100	3660
	3	4045,816	4208,665	3926,182	5128,764	4090	3640
	4	4043,568	4251,884	3957,497	5589,216	4110	3880
	5	4049,015	4189,329	4053,730	6540,063	4110	3960

Tabell 4.11: Avvik mellom geometriske avstander fra koordinater og avstandene fra klokkenes egne beregning i forhold til avstandene fra JC. Negative avvik samsvarer med lengre JC-observasjon.

Oslo sentrum			Avvik fra JC				
Dato	M.nr.	JC [m]	Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
			FE	FO	CPOS	FE	FO
20/02	1	4048,146	248,074	14,254	–	61,854	-138,146
	2	4041,221	184,395	-8,030	–	68,779	-121,221
	3	4047,627	195,378	-0,661	–	112,373	-97,627
20/03	1	4049,707	211,588	-234,639	1075,290	70,293	-479,707
	2	4042,012	186,594	-165,395	2839,001	57,988	-382,012
	3	4045,816	162,849	-119,634	1082,948	44,184	-405,816
	4	4043,568	208,316	-86,071	1545,648	66,432	-163,568
	5	4049,015	140,314	4,715	2491,048	60,985	-89,015

Tabell 4.12: Avvik mellom geometrisk avstand beregnet fra koordinater og avstanden beregnet internt fra klokkene. Positive avvik samsvarer med lengre geometrisk avstand.

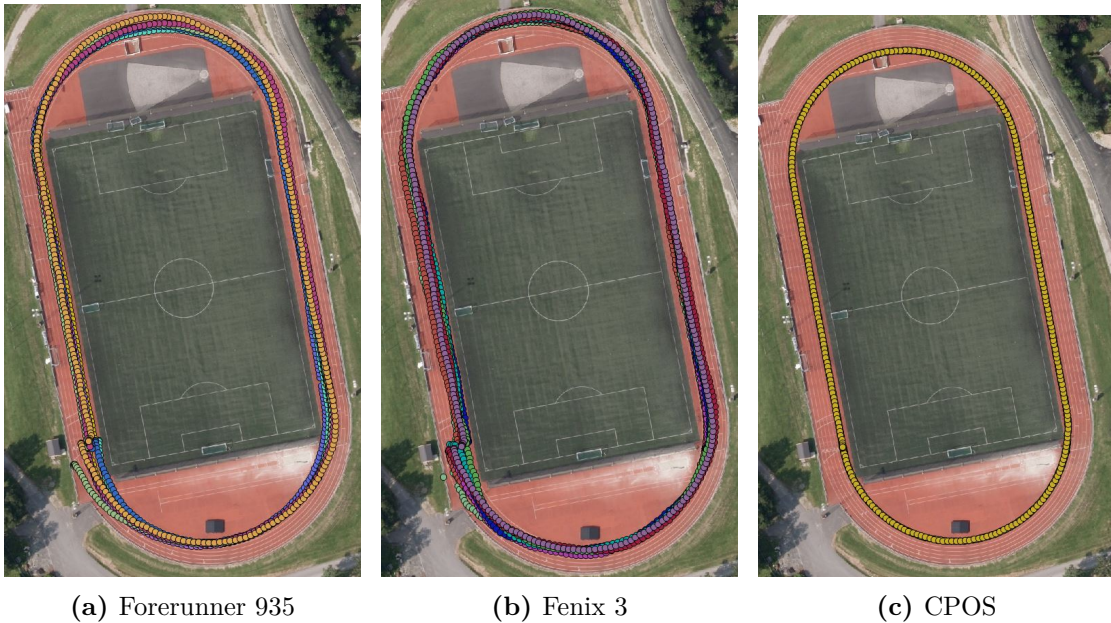
Oslo sentrum			Avvik [m]	
Dato	M.nr.	JC [m]	Fenix 3	Forerunner 935
20/02	1	4048,146	-186,220	-152,400
	2	4041,221	-115,616	-113,191
	3	4047,627	-83,005	-96,966
20/03	1	4049,707	-141,295	-245,068
	2	4042,012	-128,606	-216,617
	3	4045,816	-118,665	-286,182
	4	4043,568	-141,884	-77,497
	5	4049,015	-79,329	-93,730

Tabell 4.13: For hver mulige kombinasjon som ble utført i *lin_stat1* ble følgende filer valgt som utgangspunkt for clustering. Hver kombinasjon betegnes med to bokstaver fra hver observasjon som er med i løsningen (FE = Fenix 3, FO = Forerunner 935, CP = CPOS)

Løsningskombinasjon	Valgt referansefil		
	Instrument	Dato	M.nr.
CPFEFO	FE	20/03	nr.3
CPFE	FE	20/03	nr.3
CPFO	FO	20/03	nr.5
FEFO	FE	20/03	nr.3
CP	CPOS	20/03	nr.1
FE	FE	20/03	nr.1
FO	FO	20/03	nr.5

4.4 Ås stadion

4.4.1 Ortofoto med løypespor



Figur 4.5: Spor fra treningsklokkene og CPOS fra enkeltrunder på Ås stadion. Start- og sluttposisjonen er ved det sørvestlige hjørnet på fotballbanen og løperetningen var med klokka.

4.4.2 Tabeller med beregnede avstander

Tabell 4.14: Resultater fra datainnsamling fra Ås stadion. Kolonnen “M.nr.” viser nummeret på måleserien per dag. “JC” betyr avstanden målt med Jones Counter. Geometriske avstander er beregnet ved å bruke grunnrisskoordinatene fra hvert instrument og regne ut summen av skråavstander mellom etterfølgende punkter. “Intern klokke” er avstanden som vises på displayet til treningsklokkene. Dette tallet vises som nærmeste multiplum av 10. “FE” betyr Fenix 3 og “FO” betyr Forerunner 935.

Ås stadion			Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
Dato	M.nr.	JC [m]	FE	FO	CPOS	FE	FO
28/03	1	399,283	423,358	408,443	399,939	410	410
	2	399,546	414,930	408,994	399,359	410	410
	3	399,634	418,790	412,333	399,379	420	410
	4	399,810	418,678	414,606	403,300	410	410
	5	399,634	418,906	409,463	399,774	420	410
	6	399,546	419,810	411,730	399,717	430	410
	7	399,546	418,114	411,869	402,177	420	410
	8	399,722	417,395	415,165	400,046	420	410

Tabell 4.15: Avvik mellom geometriske avstander fra koordinater og avstandene fra klokkenes egne beregning i forhold til avstandene fra JC. Negative avvik samsvarer med lengre JC-observasjon.

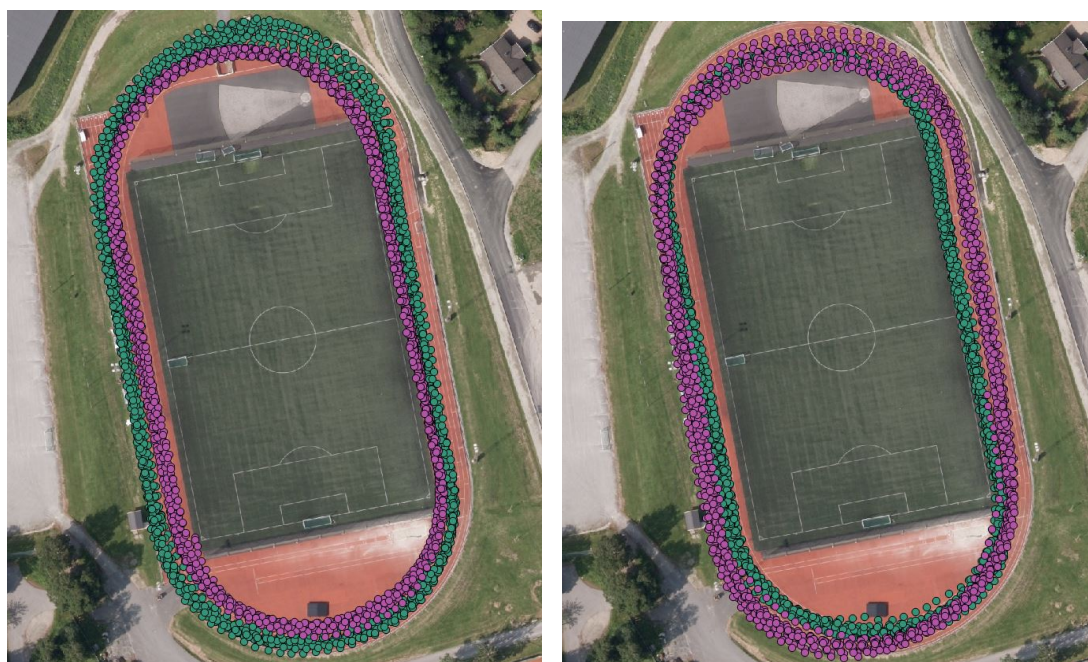
Ås stadion			Avvik fra JC				
Dato	M.nr.	JC [m]	Geometrisk [m]			Intern klokke [m]	
			FE	FO	CPOS	FE	FO
28/03	1	399,283	24,075	9,160	0,656	10,717	10,717
	2	399,546	15,384	9,448	-0,187	10,454	10,454
	3	399,634	19,156	12,699	-0,255	20,366	10,366
	4	399,810	18,868	14,796	3,490	10,190	10,190
	5	399,634	19,272	9,829	0,140	20,366	10,366
	6	399,546	20,264	12,184	0,171	30,454	10,454
	7	399,546	18,568	12,323	2,631	20,454	10,454
	8	399,722	17,673	15,443	0,324	20,278	10,278

Tabell 4.16: Avvik mellom geometrisk avstand beregnet fra koordinater og avstanden beregnet internt fra klokkene. Positive avvik samsvarer med lengre geometrisk avstand.

Dato	Ås stadion		Avvik [m]	
	M.nr.	JC [m]	Fenix 3	Forerunner 935
28/03	1	399,283	-13,358	1,557
	2	399,546	-4,930	1,006
	3	399,634	1,210	-2,333
	4	399,810	-8,678	-4,606
	5	399,634	1,094	0,537
	6	399,546	10,190	-1,730
	7	399,546	1,886	-1,869
	8	399,722	2,605	-5,165

Tabell 4.17: For hver mulige kombinasjon som ble utført i *lin_stat1* ble følgende filer valgt som utgangspunkt for clustering. Hver kombinasjon betegnes med to bokstaver fra hver observasjon som er med i løsningen (FE = Fenix 3, FO = Forerunner 935, CP = CPOS)

Løsningskombinasjon	Valgt referansefil		
	Instrument	Dato	M.nr.
CPFEOF	CPOS	28/03	nr.5
CPFE	CPOS	28/03	nr.5
CPFO	CPOS	28/03	nr.5
FEFO	FO	28/03	nr.1
CP	CPOS	28/03	nr.5
FE	FE	28/03	nr.6
FO	FO	28/03	nr.1



(a) Forerunner 935

(b) Fenix 3

Figur 4.6: Spor fra treningsklokkene etter 12,5 runder (5000 m) på Ås stadion. Startposisjonen er ved det sørvestlige hjørnet på fotballbanen, endepunktet var derfor i nordvestligste hjørne på fotballbanen og løperetningen var med klokka. 30. april er merket med lilla farge, og 1. mai er i grønt.

Tabell 4.18: Resultater fra måling på Ås stadion der flere runder ble løpt for hver måleserie. Løpene ble gjort i innerste løpebane, og derfor antas 400m per runde som en fasit. Avvikene viser avvik mellom geometrisk og intern avstand. Positive avvik samsvarer med lengre geometrisk avstand.

Ås stadion		Geometrisk [m]		Intern klokke [m]		Avvik [m]	
Dato	Runder	FE	FO	FE	FO	FE	FO
30/04	12,5	5280,704	5024,536	5270	5020	10,704	4,536
01/05	12,5	5096,848	5385,937	5090	5370	6,848	15,937

Tabell 4.19: Relative avvik fra måling på Ås stadion med flere runder per sesjon, basert på avvikene oppgitt i tabell 4.18 og en avstand på 5000 m.

Ås stadion		Geometrisk avvik [%]		Internt avvik [%]	
Dato	Runder	FE	FO	FE	FO
30/04	12,5	5,61	0,49	5,40	0,40
01/05	12,5	1,94	7,72	1,80	7,40

4.5 Kombinerte løsninger

Et estimat på total høydeendring kan beregnes fra gpx-filene fra klokkene ved å summere absoluttverdien til alle avvik mellom suksessive høyder. For hvert måleområde kan de beregnede høydene midles og gi et tall på høydeendring.

Tabell 4.20: Estimert for totale høydeendringer langs løypene, hentet fra gpx-filene til klokkene. Gjennomsnittlig stigning er estimert med utgangspunkt i gjennomsnittlig avstand målt med JC som skråavstand. **Merk at for kalibreringsområdet ble høydeendringen estimert til 43,34 m. Da dette åpenbart er for mye, ble en høydeprofil over strekningen hentet fra *hoydedata.no* der høydeforskjellen mellom endepunktene var 1,8 m. Multiplisert med 4 (for antall lengder) rundes det opp til 10 m for å legge inn en liten sikkerhetsmargin. Avviket mellom skrå- og horisontal avstand er basert på en skråavstand lik gjennomsnittlig avstand målt med JC og den gjennomsnittlige vinkel gitt i tabellen.

Måleområde	Total høyde- endring [m]	Gj.snittlig JC avstand [m]	Gj.snittlig stigning [°]	Avvik mellom skrå- og horisontal avstand[m]
Skog	41,622	1315,248	1,81	0,656
Oslo	108,213	4045,889	1,53	1,442
Stadion	4,988	399,590	0,71	0,031
Kalibrering	10**	1767,975	0,32	0,028

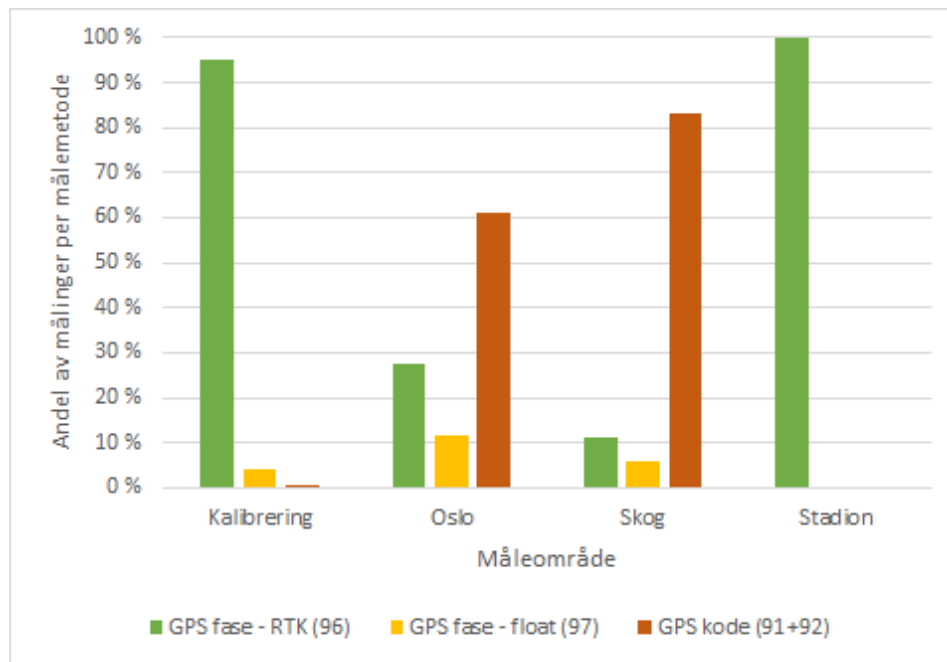
Tabell 4.21: Løypeavstander for hvert måleområde fra alle mulige kombinasjoner av observasjoner fra datainnsamlingen etter prosessering gjennom programmet *lin_stat1* og *line_est.m*. JC er gjennomsnittlig avstand fra Jones Counter. CP står for CPOS, FE står for Fenix 5 og FO betyr Forerunner 935. Kombinasjoner av de nevnte forkortelsene samsvarer med estimerte avstander der flere observasjonskilder ble brukt.

Enheter	Løypeavstander i grunnriss [m]		
	Oslo	Skog	Stadion
JC	4045,889	1315,248	399,590
CPFEFO	4108,031	1332,873	399,766
CPFE	4252,313	1333,294	399,653
CPFO	4125,410	1332,854	399,677
FEFO	3999,598	1300,716	413,209
CP	4693,002	1338,096	399,567
FE	4115,528	1310,494	417,125
FO	3901,621	1293,888	411,793

Tabell 4.22: Avvik mellom de målte midlede løypeavstandene fra tabell 4.21 og avstandene fra JC på de samme løypene. Oppgitt som absolutte avvik og som prosentvise avvik med hensyn til JC-avstanden.

Enheter	Avvik [m]			Avvik [%]		
	Oslo	Skog	Stadion	Oslo	Skog	Stadion
CPFEFO	62,142	17,625	0,176	1,54	1,34	0,04
CPFE	206,424	18,046	0,063	5,10	1,37	0,02
CPFO	79,521	17,606	0,087	1,97	1,34	0,02
FEFO	-46,291	-14,532	13,618	-1,14	-1,10	3,41
CP	647,113	22,848	-0,023	15,99	1,74	-0,01
FE	69,639	-4,754	17,534	1,72	-0,36	4,39
FO	-144,268	-21,360	12,203	-3,57	-1,62	3,05

Fra KOF-filene ble det hentet ut informasjon om hvilken målemetode som ble brukt i innsamlingen av data, og de resultatene presenteres i tabell 4.7.



Figur 4.7: For hvert måleområde vises fordelingen av CPOS-målinger gjort med fix- og float-løsning samt kodemåling. Kodene som er nevnt for hver målemetode refererer til kodene i tabell 2.1

5. Diskusjon

Utgangspunktet for diskusjonen vil være tabell 4.22, og da må det først sies at de verdiene som står i tabellen er avstander beregnet mellom punkter som var estimert av programmet *lin_stat1* og *line_est.m*. Som tidligere forklart, kreves det at en fil velges som referansefil for å lage klynger. Valget av denne fila er avgjørende for hvordan resultatene vil se ut. Det var anbefalt å velge den fila med spor som lignet mest på det faktiske sporet som ble gått. Dette er helt klart en subjektiv avgjørelse, og blir derfor umiddelbart en viktig feilkilde. Resultater fra samme gruppe med spor med ulike referansefiler endte opp med å se veldig ulike ut. Det finnes et program som bygger videre på de to programmene brukt i denne oppgaven, simpelthen kalt *lin_stat*. Dette programmet bruker resultatfilen fra *line_est.m* som referansefil for en ny klyngedannelse. Deretter kjøres *line_est.m* på nytt med nye punktklynger som bærer med seg informasjon fra alle spor og ikke kun den ene man har mest tiltro til. Mangel på tid gjorde at det ikke var hensiktsmessig å benytte dette programmet for å se om det ble estimert mer representative avstander, enn det som ble gjort i denne oppgaven.

Det bør presiseres at selv om grunnlaget for oppgaven i stor grad er avstanden som er beregnet fra koordinatene fra gpx-filene til klokka, vil en bruker av klokka til allment bruk i hovedsak bry seg om avstandene som vises på skjermen til klokka, altså den avstanden som klokka beregner internt. Det er, som tidligere nevnt, ikke godt dokumentert hvordan denne avstanden blir beregnet, men disse avstandene vil bli behandlet som likeverdige observasjoner med hensyn til beregningene basert på koordinatene fra klokka.

Med utgangspunkt i tabell 4.22 kan det sees at det ikke ser ut til å være mye systematikk i resultatene. Med det menes det at det er mye variasjon mellom målemetodene for hvert målested. Det ser heller ikke ut til at en målemetode utmerker seg som mer nøyaktig enn andre generelt sett. Ved første øyekast kan det trekkes ut at på stadion ble avstanden veldig godt estimert når målingene var utført med CPOS. Etersom stadionområdet er veldig åpent uten noen hindringer for sikt til satellittene, og heller ingen bygninger eller overflater på bakken som kan bidra til multipath, hadde CPOS-antenna gode måleforhold. Dette støttes ved å se på figur 4.7, der det kan sees at 100% av CPOS-målingene på

stadion hadde fix-løsning. Flaske fix-observasjoner kan ha fremkommet, men basert på figur 4.5c ser det ikke ut til at det er tilfellet på stadion. Denne høye andel av målinger med fix videreføres til standardavvikene per punkt, som er grunnen til at alle kombinasjonsløsningene i tabell 4.21 som inkluderer CPOS er nesten lik CPOS-målingene alene.

Ved å holde oss på Ås stadion, er det også interessant at målingene fra begge treningsklokkene overestimeres. Ved å se på figur 4.5 kan det observeres at startposisjonene for hver runde varierer veldig for treningsklokkene, men samler seg til en viss grad i løpet av den første svingen. I den første svingen ser det ut til at de fleste sporene holder seg nær innerste bane, men i den nordre svingen er det tydelig at sporene drar seg utover. Både avstandene beregnet fra gpx-koordinatene og internt i klokka overestimerer rundene, som ikke er overraskende etter å se på sporet. Det er derimot interessant å se på hva årsaken kan være.

Garmin er hemmelighetsfulle når det gjelder programvaren i produktene sine, men de nevnte mønstrene observasjonene på stadion tyder på at punktene som registreres av pulsklokkene ikke er rene punktobservasjoner. Hvert punkt virker avhengig av forrige posisjon, samt hastighet, ettersom punktene drar seg utover i svingene. Det kan være at en algoritme som bygger på et dynamisk system er innebygd i klokkene. I korte trekk innebærer dette at hver observasjon er en kombinasjon av GNSS-observasjonen og en predikert posisjon basert på forrige posisjon og hastighet jfr. kapittel 2.3. Dette kan også være forklaringen på hvorfor det aldri sees store uregelmessigheter (store sprang fra side til side) i et spor fra en treningsklokke. Rene punktobservasjoner fra treningsklokka ser derfor ut til å ikke være tilgjengelig, hvis det stemmer at koordinatene i gpx-fila ikke er rå observasjoner.

Det ble observert interessante resultater da det ble løpt 5 km på stadion. Den første dagen ble Fenix 3 satt på høyre arm og Forerunner 935 på venstre arm. Dagen etter ble klokkene satt på motsatt arm. Avvikene mellom klokkene som målte samme dag er for store til at det er en følge av den større radien som klokka på høyre arm har i svingene. Ved å regne på det geometrisk, har vi at en halvsirkel med buelengde på 100 m har en radius på 31,8 m. Ved å la den ene klokka være 50 cm lenger ut enn den andre blir den større buelengden 101,7 m. Denne forskjellen må multipliseres med antall svinger som ble løpt for å få total forskjell kun som følge av lengre sving og da blir den totale effekten 42,5 m ekstra. Fra tabell 4.18 er forskjellene per dag på omtrent 255 m og 290 m, altså mye større enn avvik kun som følge av lengre svingradius. Årsaken til disse store avvikene er vanskelig å påpeke.

I skogen ble det også observert en merkbar forskjell mellom løsninger med og uten CPOS. Avstandene fra kombinerte løsninger med CPOS er overestimert, mens avstandene fra

målinger uten CPOS er underestimert. Det at den løsningen med alle tre måleinstrumentene er mer lik CPOS enn de to treningsklokkene hver for seg tyder også her på at CPOS har dominert i utjevningen som følge av lavere standardavvik.

Grunnen til at treningsklokkene i tabell 4.22 leverte kortere avstander i skogen enn CPOS har med valget av referansefil å gjøre. Referansefilene som ble valgt var måling nummer 3, 28/03 for Fenix 3 og måling nummer 2, 28/03 for Forerunner 935. I tabell 4.6 har begge de to referansefilene beregnede avstander som er kortere enn JC. Videre kan det observeres at det kun er et fåtall av målingene som er kortere enn avstanden fra JC. Når vi ser på tabell 4.7 viser det seg at flertallet av målinger med treningsklokkene faktisk er overestimert, slik at den valgte referansefilen om mulig ikke var det optimale valget.

I Oslo sentrum kan det påvises mer regelmessige resultater. I tabell 4.11 registreres det at de geometriske beregnede avstandene ser ut til ha avvik i samme størrelsesorden per målemetode, med Forerunner 935 som unntaket. Det er tydelig at observasjonene fra CPOS ikke er særlig godt egnet til å beregne total avstand fra. Avstanden som beregnes ved å summere avstander mellom etterfølgende punkter blir altfor lang. Dette er sannsynligvis en følge av at det er bygninger langs løypa, som enten bidrar til å skjule satellitter og dermed øke DOP-verdien eller bidra til multipath. Dette støttes av de visuelle observasjonene som ble gjort langs løypa, der spesielt åpne områder med god sikt, spesielt i sørlig retning, samsvarte med de områdene der fix-løsninger var tilgjengelige. I figur 4.3 er punktobservasjonene spredt mye lengre fra den faktiske løypa i områder der kun kodeobservasjoner er registrert. Da dette fører til en mye lengre kumulativ avstand mellom punkter vil naturligvis den beregnede avstanden bli overestimert.

For de kombinerte løsningene i Oslo ble ikke en av CPOS-filene valgt som referansefil. Normalt sett vil CPOS måle punkter med bedre nøyaktighet og presisjon enn det treningsklokkene kan tilby, men ettersom størsteparten av løypa var preget av støyfulle CPOS-observasjoner ville ikke noen av de filene være et fornuftig valg av referansespor. CPOS-observasjonene samsvarte veldig bra med løypa langs de strekningene der det var fix-løsning, men på resten av løypa var det bedre å bruke treningsklokkene som referanse. Ulempen ved å bruke CPOS som referanse ligger i metoden som benyttes for å lage klynger av punkter for resultatfilen. Etersom referansepunktene ligger langt vekk fra det faktiske sporet vil ikke algoritmen bruke punkter som ligger spesielt nærme sporet til å fylle punkt-klynger heller. Det estimerte sporet ville lignet veldig på sporet dannet av CPOS-observasjonene, og fra tabell 4.11 vises det at ingen av CPOS-sporene eger seg spesielt til å beregne avstander fra.

Det kan legges merke til at målingene fra JC ikke er like jevne i Oslo som ved de andre måleområdene. Grunnen til dette er at det var en relativt lang løype som fulgte fortau

og veikryss, som ikke var like lett å følge helt nøyaktig hver runde. Løypa ble målt etter beste evne, og det ser ikke ut til at variasjonene i JC-målingene er en signifikant faktor til variasjonene i de observerte og beregnede avstandene, basert på at variasjonen blant avvikene er vesentlig større enn variasjonen blant JC-avstandene.

Ikke veldig overraskende, ser det ut til at jo mer åpent landskap målingene er gjort i, desto bedre blir nøyaktigheten på beregnet avstand fra CPOS. Dette henger sammen med andelen av målinger med fix-løsning, som gir bedre punktnøyaktighet. Når målinger blir gjort i mer skjulte omgivelser, der trær og bygninger er til hinder for målinger vil færre satellitter være tilgjengelige, i tillegg til at en større andel av punkter måles med kode, og det bidrar til en svak punktnøyaktighet samt presisjon. Den lave presisjonen, kombinert med det at CPOS-observasjoner ikke er avhengige av plasseringen til forrige målte punkt, gjør at koordinatene ser ut til å hoppe mye mer tilfeldig mellom hvert punkt enn målinger fra treningsklokker. Dette bidrar igjen til at avstander som beregnes ved å summere euklidske avstander blir mye lengre. Treningsklokkene har ikke så god nøyaktighet som CPOS-målingene, men ettersom punkter er avhengig av tidligere punktmålinger, vil punktene holde seg nær hverandre og ikke få den voldsomme overbestemmelsen som CPOS får med hensyn til avstandsberging.

Det er også viktig å se på avstandene som klokka beregner internt, ettersom det er disse avstandene en bruker vil se på. Tabell 4.8, 4.12 og 4.16 viser hvordan avstanden beregnet fra klokka samsvarer med avstanden beregnet fra koordinatene fra gpx-filene. Det at disse avvikene ikke er null betyr at klokkene benytter en annen metode for å beregne avstand enn kun å summere avstander mellom punkter. Som nevnt tidligere, er det sannsynligvis en dynamisk modell i klokka som beregner avstanden, ved å bruke punktene i gpx-filen, eller kanskje andre punkter som en bruker ikke har tilgang til, som observasjoner og å kombinere de med hastighetene ved hvert punkt til å predikere punkter. Ettersom hastighetsdata ikke var tilgjengelig fra klokkene lot det seg ikke gjøre å lage et Kalman-filter for å beregne avstanden på flere måter. Det hadde vært mulig å bruke koordinatene til å lage en algoritme som bergener hastigheter med retninger som kunne etterligne en slik modell, men med den tiden som var tilgjengelig for oppgaven ble ikke dette gjort.

For Askjumskogen og Ås stadion er det en del variasjoner i avvikene mellom geometriske avstander og interne avstander. På stadion er lengden såpass kort for observasjonene gjort over en enkelt runde, at avvikene også blir små. Ettersom den interne beregningen runder av avstandene til nærmeste 10 m, er det ikke hensiktsmessig å uttale seg om de resultatene. Derimot, hvis oppmerksomheten rettes mot observasjonene fra da det ble løpt flere runder per måling (tabell 4.18) er avvikene lave. Ettersom avrundingen er til nærmeste 10 m, betyr det at verdier med avvik på under 5 m kan regnes som like.

Avvikene i denne tabellen er mye lavere enn de tilsvarende verdiene for Oslo sentrum (tabell 4.12). Tilbakelagt avstand på stadion er lengre, men allikevel viser det seg at avvikene mellom de to avstandsberegningene fra klokkene er lavere. Dette kan være et tegn på at i en dynamisk modell for avstandsberegning vektet observasjonene mer enn prediksjoner på stadion enn i Oslo sentrum. Det er allerede kjent at forholdene for måling er bedre på stadion enn i Oslo, så det at observasjonene fra gpx-filene vektet tyngre enn predikerte koordinater er konsistent med hva som forventes.

I skogen synes det å være en tendens til å underestimere avstanden som blir beregnet internt i klokka, spesielt i forhold til avstandene beregnet fra koordinatene, og særlig Forerunner 935 ser ut til å beregne en konsekvent kortere avstand enn Fenix 3. Det er ikke bare i skogen Forerunner 935 beregner kortere avstand enn Fenix 3. På alle de fire målområdene kan det vises at den interne avstanden fra Forerunner 935 er kortere. Grunnen til dette er ikke lett å si ettersom det ikke er kjent hvordan den interne beregningen foregår, men det tyder på at det ligger ulike metoder internt i klokkene. Forerunner 935 er som kjent en nyere klokke, men det kan ikke sies at observasjonene fra Forerunner 935 er mer nøyaktige enn de fra Fenix 3. I tabell 4.5 kan det sees at de relative avvikene på kalibreringsstripa er lavere enn det som ble registrert på stadion. Begge områdene er åpne med tilnærmet optimal sikt og ingen muligheter for multipath. Forskjellen mellom de to områdene er at stadionområdet har store jevne svinger, mens på kalibreringsstripa ble det utført skarpe vendinger. Da det ble målt var bremsingen mot endepunktene en jevn nedbremsing. Det kan ha ført til at ingen punktobservasjoner ble dratt ut i svingpunktene. Derfor kan de relative avvikene for treningsklokkene oppsummeres slik at på en åpen, rett strekning er avvikene lavest. Deretter følger skogsområdet (merk at skogsløypa var en bred sti, der trærne ikke fullstendig omkranser stien), så stadion, og til slutt et urbant måleområde som Oslo gir høyeste relative avvik.

Samtlige avvik i tabell 4.12 er negative, og det betyr at avstanden beregnet internt i klokka er basert på en rute som kutter hjørner i forhold til stien dannet fra koordinatene direkte. Med en dynamisk modell vil stort sett avstander alltid overbestemmes i forhold til den summerte euklidske avstanden ettersom predikerte punkter befinner seg lenger ut i svinger. Unntaket er når en løype har tett etterfølgende motsatte svinger, slik at de predikerte punktene bidrar til å rette ut løypa. Denne effekten er ikke mulig å se i figurene ettersom det kun er koordinatene som vises.

Det er interessant å merke seg at på tross av at alle målingene gjort per sted fulgte tilnærmet nøyaktig samme spor, var variasjonen mellom de interne avstandene beregnet med samme instrument relativt ulike. Dette gjelder i spesielt stor grad målingene med Fenix 3 på stadion og Forerunner i Oslo. Den andre treningsklokka brukt ved de to aktuelle scenarioene er til sammenligning mye mer stabil. Dette er interessant å merke

seg, men igjen er det vanskelig å gi en forklaring på hvorfor det er slik.

Effekt av høyder

I tabell 4.20 presenteres effekten av høyde på total avstand. Dersom høyder ignoreres fullstendig, og koordinatene reduseres til et plan vil forskjellen mellom skrå- og horisontalavstanden være under 1 m for alle måleområder med unntak av Oslo, der avviket blir på 1,44 m. Det er argumentert for at måleområdet kan være plant for denne oppgaven i kapittel 3.1, der en målt horisontalavstand avviker fra den faktiske kurvede avstanden langs en tilnærmet jordoverflate med 0,1 mm på over en avstand på 1500 m.

Basert på opplysninger fra Garmin (2019) har vi at nøyaktigheten på punktobservasjoner med treningsklokkene kan forventes å være på 5 m. Videre kan dette, sammen med resultatene fra tabell 4.20, vise at det å neglisjere høydedata i oppgaven ikke fører til nevneverdig tap av data når det kommer til beregningen av avstander fra koordinater.

Det som ikke er sikkert er om avstanden som beregnes internt i klokka inkluderer høydedata, eller kun ser på koordinater i grunnriss. Derimot har nettopp effekten av å ikke bruke høyder blitt diskutert, og basert på det vil ikke en inkludering av høydedata i den interne beregningen føre til en mye større forskjell enn 1,44 m, forutsatt at høydene som måles er nøyaktige. Det viktigste er at de relative høydene underveis i måleserien er korrekte, og ettersom høydene kommer fra en barometrisk måling kan vi anta at de er relativt korrekte. Ingen av målingene ble gjort under varierende værforhold, slik at endringer som barometeret i klokkene registrerte kan da antas å være i størst grad fra høydeendringer.

6. Konklusjon

6.1 Konklusjon

I innledningen til oppgaven ble det stilt spørsmål som skulle undersøkes nærmere. Det første omhandlet hvor store avvik en kan forvente når avstander måles med treningsklokkene Garmin Forerunner 935 og Garmin Fenix 3. Som tidligere diskutert, er det i denne oppgaven sett på to ulike typer avstander for klokkene, en som er bergenet geometrisk fra koordinatene i gpx-fila, og en som er hentet direkte fra klokkenes egen interne algoritme for avstandsberging. Det som kan sies er at begge de to målene har store avvik når det gjelder avstandsberging. Ettersom den avstanden klokka selv beregner er den avstanden en bruker oftest referer til, er det den med mest signifikans.

Svaret til det første spørsmålet er veldig avhengig av hvor det måles. Ved måling i urbane strøk kan avvik være på flere hundre meter over en avstand på 4 km, og ettersom Fenix 3 overestimerte avstanden og Forerunner 935 underestimerte den kan det ikke sies med sikkerhet hva som forventes fra treningsklokker generelt. Det kan derimot sies at store avvik vil fremkomme i urbane strøk. På et stadionområde blir avstanden overestimert ved måling av en runde med 10-30 m, men ved å måle flere runder i samme serie, kan det oppnås en relativt god avstandsbestemmelse. Som observert kan også avstanden overestimeres mye mer enn 10 m per runde, slik at heller ikke på stadionområder kan et enkelt svar fremkomme. De mest stabile resultatene viser seg å være i skogsområder, der avstandene fra treningsklokkene, både internt og geometrisk sprer seg rundt den faktisk avstanden målt med JC. Avvikene ble observert til å være oppimot 50 m, men flestparten av avvikene lå på maks 25 m over en avstand på 1,3 km. Etter å ha beregnet avstander på kombinasjoner av de rå observasjonene uten bruk av CPOS, ser det ut til at de relative avvikene med treningsklokker er lavest i skog og urbane områder. Her må det også huskes at de kombinerte sporene er sterkt avhengig av det sporet som brukes som referansefil, så mer vekt bør nok legges til de enkelte sporene.

Det andre spørsmålet går på punktobservasjonene alene, og adresserer nøyaktigheten til den geometriske beregningen av avstander fra CPOS og treningsklokkene. Dette har

blitt diskutert grundig tidligere, og det som kan sies er at når en avstand beregnes som en kumulativ sum av avstander mellom punkter vil et punkt som er grovt estimert feil og ikke korrigerert for påvirke resultatene veldig. Med CPOS er det derfor mulig å veldig godt estimere avstanden rundt en åpen 400 m løpebane på Ås stadion, mens avstanden i Oslo sentrum, som inneholder mange hindringer vil inneholde mengder med grovfeil. Uansett om de verste feilene elimineres, vil alle punktene som måles i de tettete områdene med bygninger ha høye standardavvik som følge av dårlig satellittgeometri og mangel på hverken fix- eller float-løsning.

Til slutt er det spørsmål om hvor stor betydning omgivelsene har på beregningen av avstander. Dette henger mye sammen med det som er nevnt om det forrige spørsmålet. For CPOS-målinger har omgivelsene mye å si, men observasjonene fra treningsklokkene virker mer robuste. Det ikke vanlig å bruke kinematiske målinger med CPOS for å beregne avstander, så igjen vil fokuset ligge på treningsklokkene. I tabell 4.22 kan blikket rettes mot de relative avvikene. Det som er interessant å merke seg er at for treningsklokkene er de laveste relative avvikene observert i skogen. Da det ble løpt 5000 m på stadion ble det observert veldig varierende avvik, så det kan ikke med sikkerhet påstås om de observasjonene er en forbedring eller svekkelse i forhold til målingene for en enkelt runde. Det ble etablert, basert på resultatene, at med treningsklokker kom de mest nøyaktige avstandberegningene fra kalibreringsområdet, etterfulgt av skogen, deretter Ås stadion og til slutt hadde Oslo sentrum svakest nøyaktighet.

Det viser seg altså at treningsklokker som et instrument for måling av nøyaktige avstander er avhengig av geometrien på løypa og omgivelsene rundt løypa. Under optimale forhold kan det, basert på resultatene presentert i tabell 4.22, forventes å måle en avstand med avvik forhold til den faktiske lengden på 2% i løyper i skogen. I områder med fri sikt til himmel og minimalt med reflekterende flater i nærheten kan avvik på 1% forventes når det måles langs rette linjer, mens avvikene ser ut til å stige når geometrien på løypa blir mer svingete, som på en friidrettsstadion. I urbane områder kan avvik stige oppimot 4% basert på de målingene foretatt i denne oppgaven. Da området i Oslo som ble undersøkt i denne oppgaven ikke hadde bygninger langs helheten av løypa, må det legges til at i ekstreme tilfeller, der bygningene også er høyere, kan avvikene øke enda mer enn det som er dokumentert i denne oppgaven.

Da det ikke har blitt utført noen signifikanstest for de nevnte forventede verdiene, bør de tas med en klype salt. De representerer de faktiske målte resultatene, og dersom tiden hadde strukket til ville det vært utført en signifikanstest for resultatene, slik at en mer konkret konklusjon kunne blitt trukket.

6.2 Forslag til videre arbeid

Som tidligere nevnt har Ola Øvstedal laget et program som bygger videre på *lin_stat1* og *line_est.m* ved å benytte resultatet fra *line_est.m* som referansefil i en ny beregning. I denne oppgaven ble ikke dette programmet benyttet av hensyn til tid og omfang, og det førte til at de endelige avstandene som ble presentert var sterkt avhengig av valget av referansefil. I fremtiden kan man se på hvilken effekt det har å bruke dette andre programmet, *lin_stat*, i forhold til kun *lin_stat1* for å estimere en MKM løsning av flere lignende løypespor.

Denne oppgaven har sett bort ifra målte høyder fra instrumentene og kun fokusert på avstand i grunnriss, så et forslag til en oppgave kan være å se isolert på nøyaktigheten til observert høydeendring når det måles med håndholdte GNSS-mottakere, enten med fokus på effekt av omgivelser slik som denne oppgave eller om instrumentene har utfordringer i visse stigninger. Utfordringen da blir å få tak i en fasit som viser alle høydeendringer langs løypene.

Det å lage en modell som etterligner den dynamiske modellen i treningsklokker kan være et forslag til videre arbeid. I en dynamisk modell inngår en parameter som bestemmer vekten til observasjoner i forhold til prediksjoner, så det kunne vært mulig å prøve å finne ut hvilke parametre som best tilnærmer beregningen i treningsklokker. Da kunne det også være mulig å finne ut om denne parameteren i klokkens egen dynamisk modell varierer basert på omgivelsene målinger blir gjort i.

Referanser

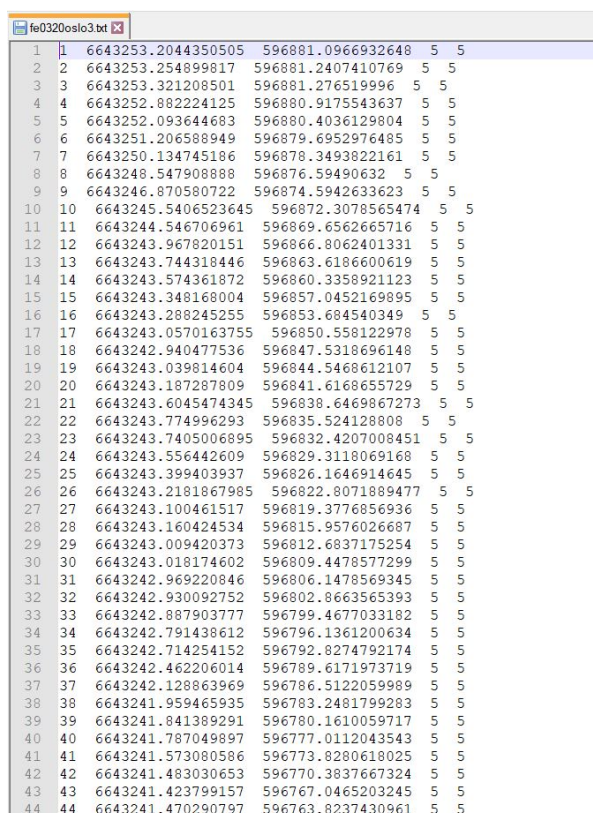
- Altamimi, Z. (2009). The International Terrestrial Reference Frame (ITRF). St. Petersburg. URL: <http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/activities/2009/icg4/36d.pdf> (sjekket 13.05.2019).
- Øie, M. (2015). Etablering av kalibreringsnett, og GNSS baselinjeanalyse. Thesis. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Forsell, B. (2018). *GLONASS - Store norske leksikon*. Web Page. URL: <https://snl.no/GLONASS> (sjekket 13.05.2019).
- Garmin (2015). *Fenix 3 - Owner's Manual*. Web Page. URL: https://static.garmincdn.com/pumac/fenix3_OM_EN.pdf (sjekket 13.05.2019).
- Garmin (2017). *Forerunner 935 - Owner's Manual*. Web Page. URL: https://static.garmin.com/pumac/Forerunner935_OM_EN.pdf (sjekket 13.05.2019).
- Garmin (2019). *GPS Accuracy | Garmin Support*. Web Page. URL: <https://support.garmin.com/en-US/?faq=aZc8RezeAb9LjCDpJp1TY7> (sjekket 13.05.2019).
- Geonorge ("u.å."). *Målemetode - Geonorge objektregister*. Web Page. URL: https://objektkatalog.geonorge.no/Objekttype/Index/EAID_980A3E1D_D3FC_46e8_9AA4_50FC295EDCD2 (sjekket 13.05.2019).
- Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. 5. utg. John Wiley Sons, Inc.: 4–5, 178–192.
- Gjersø, N. F. (2018). En kvalitetsundersøkelse av geometrisk nøyaktighet i håndholdte GNSS-enheter. Thesis. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Gjevestad, J. G. (2014). *Geodetic Formulas*. Unpublished Work. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Gjevestad, J. G. (2016). *Kvalitetskontroll basert på multippel t-test*. Unpublished Work. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Godager, B. (2006). *Instrumentnyheter og vurderinger*. Conference Paper. Nito's Kart og Oppmålingskonferanse, Gardermoen.
- Gordon, M. (2013). *All-Time PRs - Strava Support*. Web Page. URL: <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/216918487-All-Time-PRs> (sjekket 13.05.2019).
- Grochla, K. og Polys, K. (2016). Using Kalman Filters on GPS Tracks. I: *Man-Machine Interactions 4, Icmmi 2015*. Red. av A. Gruca, A. Brachman, S. Kozielski og T. Czachorski. Bd. 391. Advances in Intelligent Systems and Computing. Berlin: Springer-Verlag Berlin: 663–672. DOI: 10.1007/978-3-319-23437-3_57.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. og Wasle, E. (2008). *GNSS - Global Navigation Satellite Systems*. Austria: SpringerWienNewYork: 116–138, 154–160, 262–265, 309, 341.
- IAAF (2008a). *400 Metre Standard Track, Marking Plan*. Report.

- IAAF (2008b). *The Measurement of Road Race Courses*. Report.
- Johannessen, B. (2017). Hvor nøyaktige er GPS-klokkene? *Kondis* (7): 38–41.
- Jones, A. (1984). *History of the Jones Counter*. Report. URL: <https://www.runscore.com/coursemeasurement/Articles/Counter.pdf> (sjekket 13.05.2019).
- Jonker, N. J. og Venter, C. J. (2019). Modeling Trip-Length Distribution of Shopping Center Trips from GPS Data. *Journal of Transportation Engineering Part a-Systems* 145 (1): 10. DOI: 10.1061/jtepbs.0000200.
- Kartverket (2018). *CPOS Brukerveiledning | Kartverket*. Web Page. URL: <https://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/CPOS-brukerveiledning/> (sjekket 13.05.2019).
- Kartverket (2019). *CPOS | Kartverket*. Web Page. URL: <https://www.kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/> (sjekket 13.05.2019).
- Kays, R., Crofoot, M. C., Jetz, W. og Wikelski, M. (2015). Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science* 348 (6240).
- Kristiansen, O. (2016). *Posisjonering med GPS - Teori og anvendelser*. Unpublished work. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet: 11–12.
- Kristiansen, O. (2018). *Introduksjon til minste kvadraters metode og Kalmanfiltrering*. Unpublished work. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Menaspa, P., Impellizzeri, F. M., Haakonssen, E. C., Martin, D. T. og Abbiss, C. R. (2014). Consistency of Commercial Devices for Measuring Elevation Gain. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 9 (5): 884–886. DOI: 10.1123/ijsp.2013-0232.
- Meyer, T. H. (2010). *Introduction to Geometrical and Physical Geodesy*. ESRI Press: 73–89.
- Mysen, E. (2018). *GMGD300: Geodesi hovedkurs - Referanserammer*. Unpublished Work. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- NOAA (2019). *gps.gov: Space Segment*. Web Page. URL: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> (sjekket 13.05.2019).
- Oleynik, E. (2012). *GLONASS - Future and Evolutions*. Conference Paper. United Nations/Latvia Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems, Riga.
- Sankaran, K., Zhu, M., Guo, X. F., Ananda, A. L., Chan, M. C. og Peh, L.-S. (2014). Using mobile phone barometer for low-power transportation context detection. I: *Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*. ACM: 191–205.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications*. 2. utg. Walter de Gruyter: 16.
- Teigland, H. (2018). *Krav til ventetid ved eiendomsmåling i CPOS*. Report. URL: <http://wpstatic.idium.no/geoforum.no/2018/09/Krav-til-ventetid-ved-eiendomsoppm%C3%A5ling-i-CPOS.pdf> (sjekket 13.05.2019).
- Wahl, Y., Duking, P., Droszez, A., Wahl, P. og Mester, J. (2017). Criterion-Validity of Commercially Available Physical Activity Tracker to Estimate Step Count, Covered Distance and Energy Expenditure during Sports Conditions. *Frontiers in Physiology* 8: 12. DOI: 10.3389/fphys.2017.00725.
- Wakefield, E. D., Bodey, T. W., Bearhop, S., Blackburn, J., Colhoun, K., Davies, R., Dwyer, R. G., Green, J. A., Gremillet, D., Jackson, A. L., Jessopp, M. J., Kane, A., Langston, R. H. W., Lescroel, A., Murray, S., Le Nuz, M., Patrick, S. C., Peron, C., Soanes, L. M., Wanless, S., Votier, S. C. og Hamer, K. C. (2013). Space Partitioning Without Territoriality in Gannets. *Science* 341 (6141): 68–70. DOI: 10.1126/science.1236077.

Vedlegg A. Bruk av *lin_stat1* og *line_est.m*

Her beskrives fremgangsmåten som ble brukt i beregningen av estimeringen av spor fra flere enkeltobservasjoner gjennom bruk av *lin_stat1* og *line_est.m*.

1. Observasjonsfilene må skrives i filer med følgende oppsett. Hver linje har 5 elementer, adskilt med mellomrom. Først kommer punkt-id, deretter nord- og øst-koordinater, og til slut standardavvik i nord- og øst-retning.



Linje	Punkt-ID	Nord-koordinat	Øst-koordinat	Std. avvik Nord	Std. avvik Øst
1	6643253.2044350505	596881.0966932648	596881.2407410769	5	5
2	6643253.254899817	596881.276519996	596880.9175543637	5	5
3	6643253.321208501	596880.4036129804	596879.6952976485	5	5
4	6643252.882224125	596878.3493822161	596876.59490632	5	5
5	6643252.093644683	596874.5942633623	596872.3078565474	5	5
6	6643251.206588949	596869.6562665716	596866.8062401331	5	5
7	6643250.134745186	596863.6186600619	596860.3358921123	5	5
8	6643248.547908888	596857.0452169895	596853.684540349	5	5
9	6643246.870580722	596850.558122978	596847.5318696148	5	5
10	6643245.5406523645	596844.5468612107	596841.6168655729	5	5
11	6643244.546706961	596838.6469867273	596835.524128808	5	5
12	6643243.967820151	596832.4207008451	596829.3118069168	5	5
13	6643243.744318446	596826.1646914645	596822.8071889477	5	5
14	6643243.574361872	596819.3776856936	596815.9576026687	5	5
15	6643243.348168004	596812.6837175254	596809.4478577299	5	5
16	6643243.288245255	596806.1478569345	596802.8663565393	5	5
17	6643243.0570163755	596799.4677033182	596796.1361200634	5	5
18	6643242.940477536	596792.8274792174	596789.6171973719	5	5
19	6643243.039814604	596786.5122059989	596783.2481799283	5	5
20	6643243.187287809	596780.1610059717	596777.0112043543	5	5
21	6643243.6045474345	596773.8280618025	596770.3837667324	5	5
22	6643243.774996293	596767.0465203245	596763.8237430961	5	5
23	6643243.7405006895				
24	6643243.556442609				
25	6643243.399403937				
26	6643243.2181867985				
27	6643243.100461517				
28	6643243.160424534				
29	6643243.009420373				
30	6643243.018174602				
31	6643242.969220846				
32	6643242.930092752				
33	6643242.887903777				
34	6643242.791438612				
35	6643242.714254152				
36	6643242.462206014				
37	6643242.128863969				
38	6643241.959465935				
39	6643241.841389291				
40	6643241.787049897				
41	6643241.573080586				
42	6643241.483030653				
43	6643241.423799157				
44	6643241.470290797				

Figur A.1: Observasjonsfilene må skrives på følgende format for å kunne leses av *lin_stat1*.

2. Det må opprettes en fil ved navn *inp_filelist.txt* der første linje inneholder antall input-filer. Deretter følger alle filnavnene på de neste linjene, og den første linja med filnavn inneholder navnet på referansefilen.

```

inp_filelist.txt
1 21
2 fe0320oslo3.txt
3 0320oslo1.txt
4 0320oslo2.txt
5 0320oslo3.txt
6 0320oslo4.txt
7 0320oslo5.txt
8 fe0220oslo1.txt
9 fe0220oslo2.txt
10 fe0220oslo3.txt
11 fe0320oslo1.txt
12 fe0320oslo2.txt
13 fe0320oslo4.txt
14 fe0320oslo5.txt
15 fo0220oslo1.txt
16 fo0220oslo2.txt
17 fo0220oslo3.txt
18 fo0320oslo1.txt
19 fo0320oslo2.txt
20 fo0320oslo3.txt
21 fo0320oslo4.txt
22 fo0320oslo5.txt
23

```

Figur A.2: Oppretting av *inp_filelist.txt*, som fungerer som en konfigurasjonsfil for beregningen.

- Videre kjøres programmet *lin_stat1* fra kommandovinduet. Det som vises på skjermen da er det første punktet i hver fil, med tilhørende standardavvik.

```

Ledetekst
C:\Users\eivin\Documents\NMBU\MASTEROPPGAVE\Data\Til 01a\CPFEFO\oslo\lin_stat1
inp_filelist.txt
Reference-file :fe0320oslo3.txt
 6643253.204 596881.097 5.000 5.000
nobs= 1327
0320oslo1.txt
 6643251.559 596887.467 0.007 0.005
0320oslo2.txt
 6643251.670 596887.437 0.009 0.005
0320oslo3.txt
 6643251.702 596887.321 0.008 0.004
0320oslo4.txt
 6643251.554 596887.402 0.009 0.005
0320oslo5.txt
 6643251.564 596887.434 0.011 0.005
fe0220oslo1.txt
 6643255.202 596886.770 5.000 5.000
fe0220oslo2.txt
 6643253.410 596888.960 5.000 5.000
fe0220oslo3.txt
 6643254.837 596886.737 5.000 5.000
fe0320oslo1.txt
 6643250.100 596882.355 5.000 5.000
fe0320oslo2.txt
 6643255.247 596884.921 5.000 5.000
fe0220oslo4.txt
 6643251.374 596886.439 5.000 5.000
fe0320oslo5.txt
 6643252.113 596885.768 5.000 5.000
fo0220oslo1.txt
 6643252.100 596886.492 5.000 5.000
fo0220oslo2.txt
 6643249.895 596883.137 5.000 5.000
fo0220oslo3.txt
 6643252.837 596884.850 5.000 5.000
fo0320oslo1.txt
 6643247.971 596882.031 5.000 5.000
fo0320oslo2.txt
 6643250.822 596882.116 5.000 5.000
fo0320oslo3.txt
 6643249.013 596883.659 5.000 5.000
fo0320oslo4.txt
 6643254.045 596885.726 5.000 5.000
fo0320oslo5.txt
 6643250.772 596885.207 5.000 5.000
C:\Users\eivin\Documents\NMBU\MASTEROPPGAVE\Data\Til 01a\CPFEFO\oslo>

```

Figur A.3: Etter en vellykket kjøring av *lin_stat1* vil kommandovinduet se slik ut, med de første observasjonene og tilhørende standardavvik fra hver fil oppramset.

Denne kommandoen oppretter også 3 filer: *i_obs_klokke.txt*, *x_obs_klokke.txt* og *s_obs_klokke.txt*. Den første fila inneholder informasjon om hvilke punkter fra hver av de andre filene som skal brukes til å danne clusters. Det første tallet på hver linje er punkt-id'ene i referansefila. Deretter følger punkt-id'en til punktet i neste fil (ifølge lista i *inp_filelist.txt*) som er nærmest punktet fra referansefila. De to siste filene som blir laget, *x_obs_klokke.txt* og *s_obs_klokke.txt*, inneholder koordinater og standardavvik for alle punktene som er referert til i *i_obs_klokke.txt*.

- Etter dette kjøres skriptet *line_est.m* i Matlab. Dette skriptet kjøres manuelt iterativt, ved å justere parameteren "run nr" i skriptet. For hver iterasjon kjøres et grovfeilsøk per cluster. Ved neste iterasjon forkastes de identifiserte grovfeilene og et nytt grovfeilsøk utføres. Denne metoden repeteres opptil 6-7 ganger, eller helt til antall forkastede observasjoner ikke lenger forandrer seg.

id	x	y	std	t_val	t_val	t_val	t_val	t_val	t_val	t_val	t_val	t_val
1	6643250.465	5968883.067	0.288	0.288	3.49	2.71	1.84	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
2	6643250.563	5968883.178	0.292	0.292	3.49	2.59	1.77	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
3	6643250.655	5968883.265	0.300	0.300	3.49	2.48	1.77	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
4	6643250.445	5968883.055	0.284	0.284	3.49	2.38	2.04	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
5	6643249.898	5968882.470	0.282	0.282	3.49	2.12	1.98	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
6	6643249.241	5968881.894	0.270	0.270	3.49	1.97	2.24	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
7	6643247.742	5968880.329	0.285	0.285	3.49	2.32	1.86	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
8	6643246.077	5968878.299	0.316	0.316	3.49	2.13	1.41	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
9	6643244.486	5968876.129	0.331	0.331	3.49	1.95	1.21	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
10	6643243.063	5968873.725	0.338	0.338	3.49	1.98	1.08	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
11	6643241.772	5968870.715	0.352	0.352	3.49	2.15	0.77	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
12	6643239.767	5968868.026	0.005	0.002	3.49	2.77	0.73	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
13	6643239.643	5968864.464	0.004	0.002	3.49	2.81	0.52	1.69	1.24	-9.99	-9.99	-9.99
14	6643238.851	5968861.545	0.006	0.003	3.49	2.80	0.64	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
15	6643239.084	5968858.035	0.004	0.002	3.49	2.57	0.54	1.71	3.09	-9.99	-9.99	-9.99
16	6643238.754	5968854.107	0.004	0.002	3.49	2.84	0.24	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
17	6643238.818	5968848.959	0.004	0.002	3.49	2.01	0.72	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
18	6643238.990	5968848.788	0.003	0.002	3.49	2.02	0.61	-9.99	-9.99	-9.99	1.38	2.95
19	6643239.153	5968845.399	0.003	0.002	3.49	2.05	0.42	-9.99	-9.99	-9.99	1.31	2.43
20	6643239.276	5968841.837	0.004	0.003	3.49	2.18	0.11	1.57	1.41	-9.99	-9.99	-9.99
21	6643239.401	5968838.544	0.003	0.002	3.49	2.39	0.05	1.76	0.28	-9.99	-9.99	-9.99
22	6643239.469	5968835.132	0.005	0.002	3.49	2.38	0.20	-9.99	-9.99	-9.99	2.03	0.64
23	6643239.657	5968831.966	0.003	0.002	3.49	2.24	0.23	2.07	0.29	-9.99	-9.99	-9.99
24	6643239.736	5968828.646	0.004	0.002	3.49	2.01	0.33	2.12	1.23	-9.99	-9.99	-9.99
25	6643239.867	5968825.308	0.007	0.004	3.49	1.80	0.42	2.06	1.88	-9.99	-9.99	-9.99
26	6643239.752	5968821.772	0.005	0.002	3.49	1.75	0.50	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
27	6643239.892	5968818.372	0.004	0.002	3.49	1.63	0.49	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
28	6643240.185	5968815.043	0.005	0.003	3.49	1.59	0.47	2.76	1.78	-9.99	-9.99	-9.99
29	6643241.496	5968812.691	0.402	0.402	3.49	0.97	0.00	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
30	6643241.623	5968809.312	0.396	0.396	3.49	0.91	0.09	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
31	6643241.758	5968805.896	0.391	0.391	3.49	0.79	0.16	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
32	6643241.828	5968803.154	0.402	0.402	3.49	0.70	0.18	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
33	6643240.506	596799.699	0.004	0.002	3.49	1.29	0.12	-9.99	-9.99	-9.99	3.42	0.31
34	6643241.960	596796.174	0.415	0.415	3.49	0.51	0.02	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
35	6643240.663	596793.022	0.004	0.002	3.49	1.11	0.10	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
36	6643240.779	596789.544	0.004	0.002	3.49	0.90	0.04	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
37	6643240.839	596786.084	0.004	0.002	3.49	0.69	0.23	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
38	6643240.927	596782.680	0.005	0.002	3.49	0.54	0.30	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
39	6643240.908	596779.542	0.004	0.002	3.49	0.46	0.30	-9.99	-9.99	-9.99	3.01	2.04
40	6643241.138	596776.822	0.006	0.003	3.49	0.35	0.10	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
41	6643241.200	596772.895	0.006	0.003	3.49	0.19	0.49	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
42	6643241.233	596769.101	0.005	0.002	3.49	0.12	0.65	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99
43	6643242.687	596766.940	0.382	0.382	3.49	0.85	0.07	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99	-9.99

Figur A.4: Resultatfil etter 7 iterasjoner av *line_est.m* med koordinater, standardavvik, t-verdi for identifisering av grovfeil og t-verdier for hver enkelt observasjon. Merk at der det står -9.99 er allerede en grovfeil eliminert.

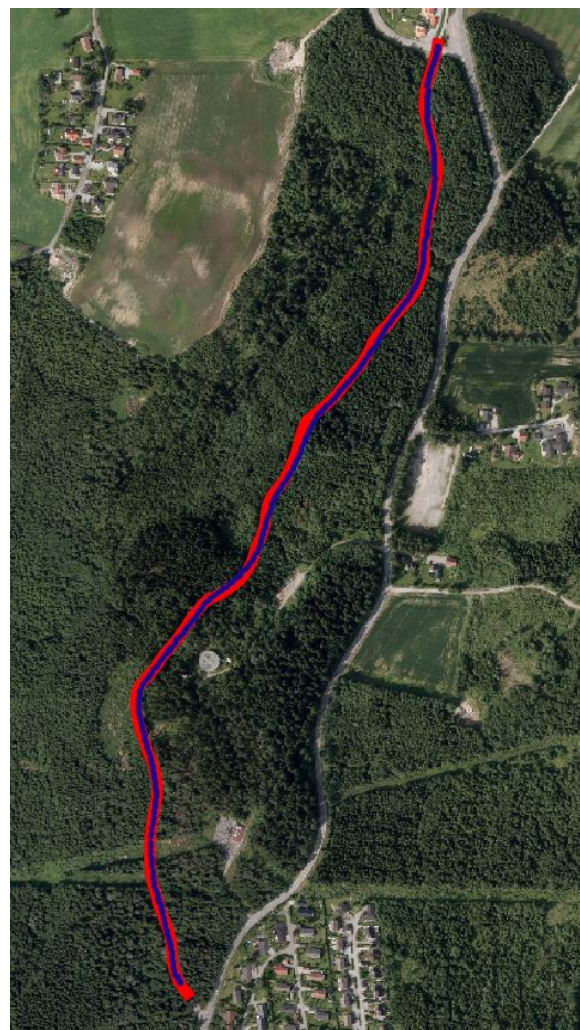
Vedlegg B. Alle estimerte spor

I hver figur i dette vedlegget vises det faktiske sporet med en tykk rød linje. Koordinatene fra sporene som er estimert i *line_est.m* fra hver kombinasjon av observasjonsmetodene er vist med prikker for hvert estimerte punkt.

B.1 Askjumskogen



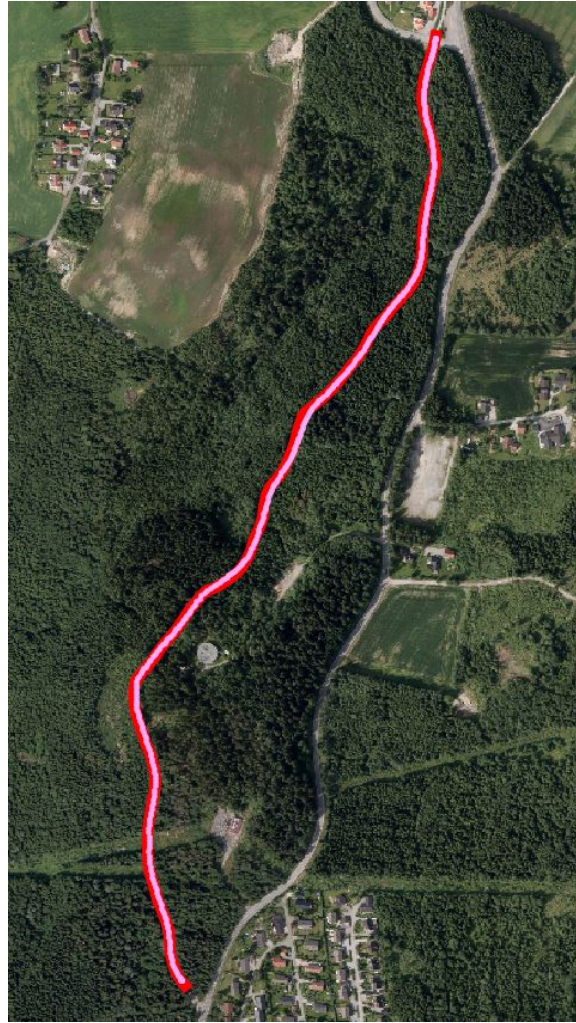
Figur B.1: Skog: Fenix 3



Figur B.2: Skog: Forerunner 935



Figur B.3: Skog: CPOS



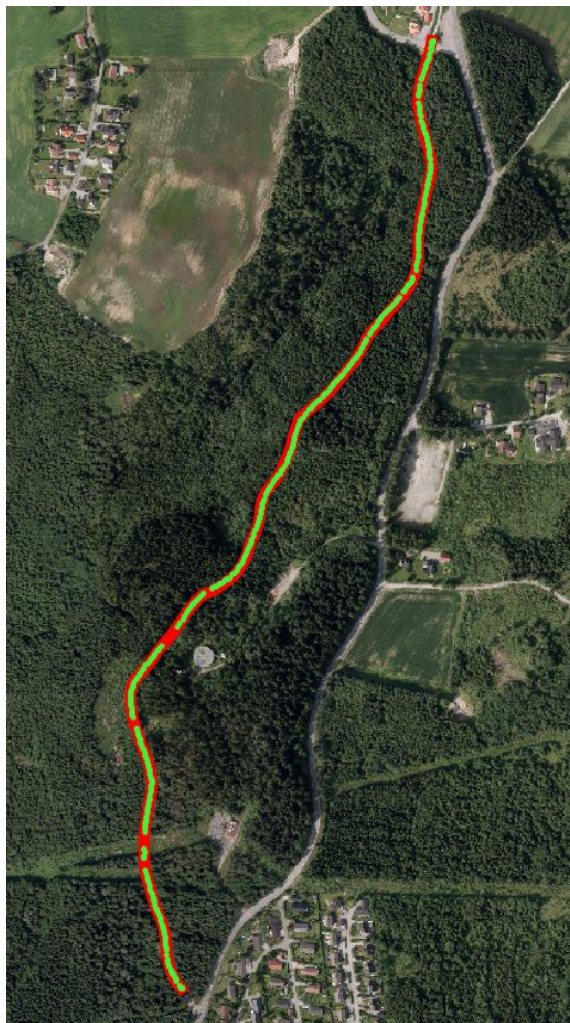
Figur B.4: Skog: Fenix 3,
Forerunner 935



Figur B.5: Skog: CPOS, Fenix 3

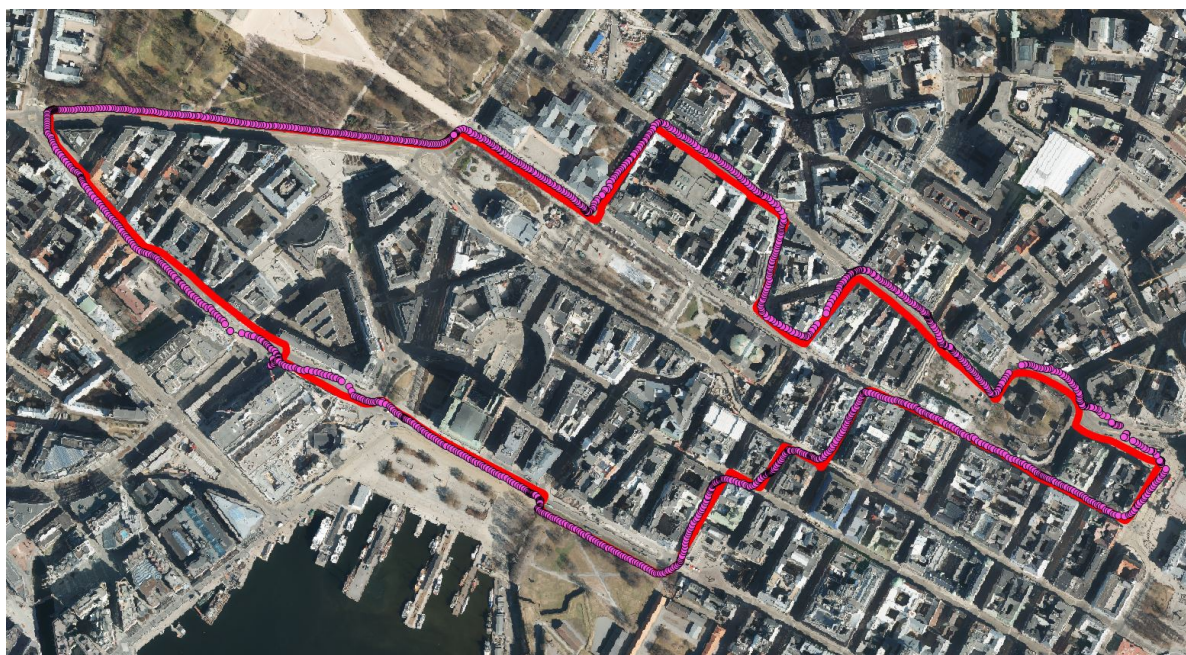


Figur B.6: Skog: CPOS, Forerunner 935

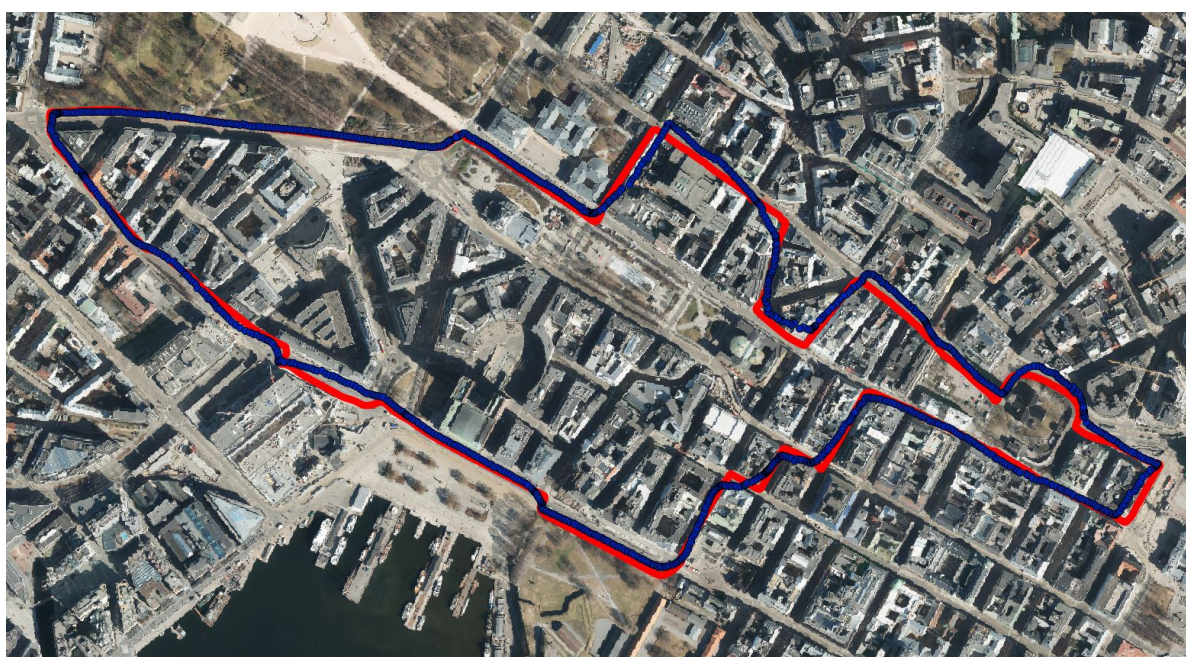


Figur B.7: Skog: CPOS, Fenix 3, Forerunner 935

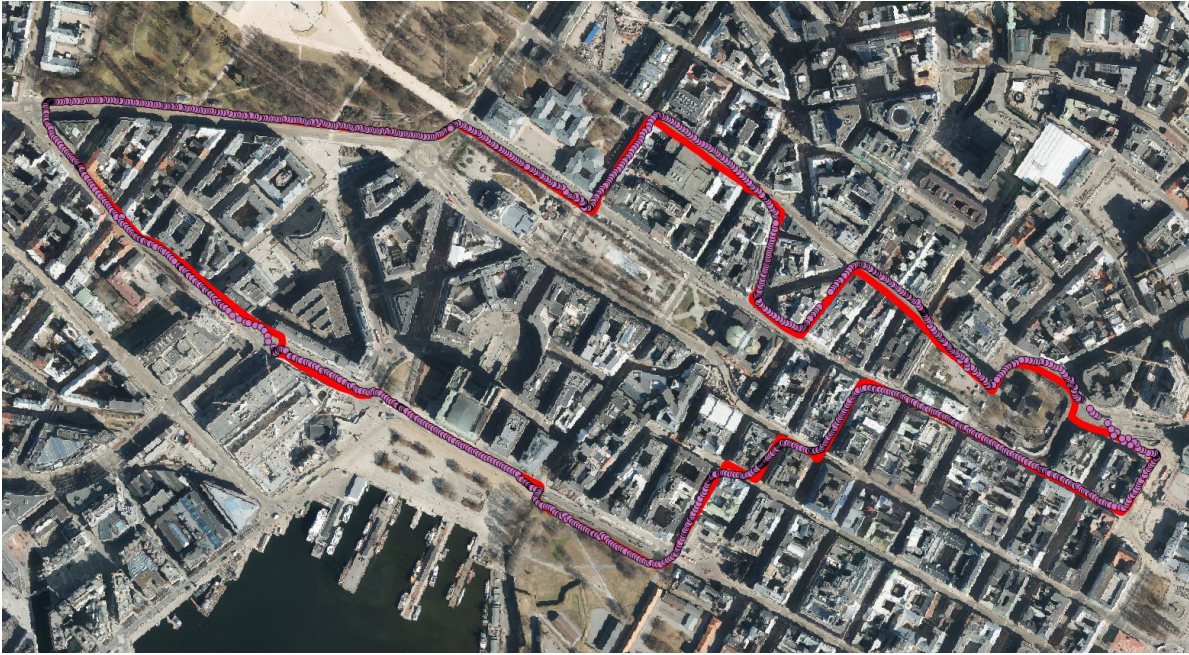
B.2 Oslo sentrum



Figur B.8: Oslo: Fenix 3



Figur B.9: Oslo: Forerunner 935



Figur B.14: Oslo: CPOS, Fenix 3, Forerunner 935

B.3 Ås stadion



Figur B.15: Stadion: Fenix 3



Figur B.16: Stadion: Forerunner 935



Figur B.17: Stadion: CPOS



Figur B.18: Stadion: Fenix 3, Forerunner 935



Figur B.19: Stadion: CPOS, Fenix 3



Figur B.20: Stadion: CPOS, Forerunner 935



Figur B.21: Stadion: CPOS, Fenix 3, Forerunner 935



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway