

PPP - TEST AV ONLINE TJENESTER

PRECISE POINT POSITIONING - ONLINE PROCESSING SERVICES

HALVOR VADDER

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP 2012



Forord

Med denne oppgaven avslutter jeg min tid som student her på Universitetet for Miljø og Biovitenskap. De fem årene jeg har brukt på min mastergrad i Geomatikk har vært både spennende og utfordrende. Jeg vil med dette takke min veileder Ola Øvstedal for den hjelpen han har gitt meg underveis med oppgaven. Jeg vil også takke mine medstudenter på lesesalen for faglig hjelp og motivasjon underveis.

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg Precise Point Positioning og undersøker ulike online tjenester som benytter seg av PPP som beregningsmetode. Målet med oppgaven var i hovedsak å finne ut hvilke av de forskjellige tjenestene som taklet forskjellige observasjonstyper og hvilken nøyaktighet og presisjon som kan forventes.

Ved å prosessere statiske og kinematiske observasjoner av ulik kvalitet ble de forskjellige tjenestene vurdert opp mot hverandre. Det viste seg at Csrs og MagicGNSS skilte seg ut som de mest robuste tjenestene da de taklet det meste av dataene som ble sendt inn. De leverte også resultater som hadde nøyaktighet tilsvarende det som er rapportert fra tidligere studier. De andre tjenestene som var med i denne oppgaven ga stort sett gode resultater, men viste seg å være mangelfulle på noen områder.

Abstract

This paper on Precise Point Positioning examines various online services that use PPP as the method of calculation. The goal of the task was mainly to find out which of the various services that could handle different types of observations and the accuracy and precision that can be expected.

By processing of static and kinematic observations of varying quality, the various services were put up in competition with each other. It turned out that Csrs and MagicGNSS stood out as the most robust services as they coped with almost all the data that was submitted. They also delivered results that have accuracy similar to what have been reported from previous studies. The other online services included in this study gave generally good results, but proved to be inadequate in some areas.

Innhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Innledning | 1 |
| 2 | Problemstilling | 3 |
| 3 | Teori | 4 |
| 3.1 | GPS | 4 |
| 3.1.1 | Kodemåling | 5 |
| 3.1.2 | Fasemåling | 7 |
| 3.1.3 | Romsegmentet | 9 |
| 3.1.4 | Kontrollsegmentet | 10 |
| 3.1.5 | Brukersegmentet | 11 |
| 3.1.6 | Feilkilder og feilbudsjett | 11 |
| 3.2 | Relativ posisjonsbestemmelse | 17 |
| 3.3 | Absolutt posisjonsbestemmelse | 17 |
| 3.4 | RINEX | 18 |
| 3.4.1 | Hatanaka kompresjon | 18 |
| 3.4.2 | Teqc | 18 |
| 3.5 | Precise Point Positioning | 20 |
| 3.5.1 | IGS | 21 |
| 4 | Online prosesseringstjenester | 23 |
| 4.1 | Tjenester på nett | 23 |
| 4.1.1 | Apps | 23 |
| 4.1.2 | Auspos | 25 |
| 4.1.3 | Csrs | 25 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.1.4 | Gaps | 26 |
| 4.1.5 | Scout | 26 |
| 4.1.6 | MagicGNSS | 26 |
| 4.1.7 | Terrapos | 27 |
| 5 | Forsøksdesign | 28 |
| 5.1 | Referanseramme og koordinatsystem | 29 |
| 5.2 | Kinematiske data | 31 |
| 5.2.1 | Nøyaktighet av kinematiske data | 32 |
| 5.2.2 | Sjøkartverket | 32 |
| 5.2.3 | Data fra Blom | 34 |
| 5.2.4 | Statiske data fra Kartverket prosessert i kinematisk modus | 34 |
| 5.3 | Statiske data | 36 |
| 5.3.1 | Kartverket | 36 |
| 5.3.2 | En-frekvente data fra Kartverket | 37 |
| 5.4 | Kommentar til forsøksdesign | 38 |
| 6 | Resultat | 39 |
| 6.1 | Fullstendighet | 39 |
| 6.1.1 | Håndtering av antenne | 43 |
| 6.2 | Presisjon | 44 |
| 6.2.1 | Kinematiske data fra Kartverket | 44 |
| 6.2.2 | Kinematiske data fra Sjøkartverket | 48 |
| 6.2.3 | Kinematiske data fra Blom | 52 |
| 6.2.4 | Vektet middel kontra differensiell løsning | 56 |
| 6.3 | Nøyaktighet | 58 |
| 6.3.1 | Statiske data fra Kartverket | 58 |
| 6.3.2 | En-frekvente statiske data fra stasjonen OPEC. | 62 |
| 7 | Diskusjon | 64 |
| 7.1 | Fullstendighet | 64 |
| 7.1.1 | Bruk av de ulike tjenestene | 65 |
| 7.2 | Presisjon | 68 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7.2.1 | Kartverket | 68 |
| 7.2.2 | Sjøkartverket | 68 |
| 7.2.3 | Blom | 69 |
| 7.3 | Nøyaktighet | 71 |
| 7.3.1 | Statiske data fra Kartverket | 71 |
| 7.3.2 | En-frekvente statistiske data fra Kartverket | 71 |
| 7.4 | Mulige forbedringer av PPP | 72 |
| 8 | Konklusjon | 74 |

Kapittel 1

Innledning

Sent på 90-tallet kom det en ny beregningsmetode for GNSS fra Jet Propulsion Laboratory (NASA). Dette var et alternativ til den til nå nesten enerådende relative posisjoneringen innenfor kommersielt bruk med høye nøyaktighetskrav. Metoden fikk navnet Precise Point Positioning (PPP). PPP er enda på et tidlig stadium og ikke i særlig stor grad tatt i bruk kommersielt. Det gjøres stadig fremskritt og metoden er spådd å kunne utfylle relativ posisjonering. Ved å benytte seg av to-frekvente data med fase- og kodeobservasjoner samt presise satellittkoordinater og klokkekorreksjoner kan nøyaktighet på cm-nivå oppnås [Ovstedal et al., 2006].

Produktene som nyttes til å komme fra meter-nivå som ved tradisjonell absolutt posisjonsmåling til cm-nivå blir fritt distribuert av f.eks IGS over nett, se [Kouba, 2009] for oversikt over disse og [Zumberge et al., 1997] for fremgangsmåte. Hete temaer innenfor dagens forskning er f.eks forbedring av konvergenstid og muligheten for nær sanntids bruk av PPP [Bisnath and Gao, 2009].

PPP er under utvikling og har noen av sine største fordeler der jeg selv har erfart at tradisjonelle metoder har problemer. Eksempler på dette er utilgjengelige områder der tilgang på referansestasjoner er begrenset. Ofte forutsetter bearbeiding av data en omfattende kjennskap til programvaren som benyttes. Ved bruk av online PPP-tjenester på nett skal man med tilgang på en geodetisk mottaker uten større problemer kunne oppnå gode resultater.

Denne oppgaven er ett forsøk på å sammenligne og evaluere de tjenestene som tilbyr prosessering ved hjelp av PPP på nett.

Kapittel 2

Problemstilling

Precise Point Positioning (PPP) er en beregningsstrategi for GNSS som benytter seg av presise satellittkoordinater og klokkekorreksjoner for å oppnå nøyaktighet cm-nivå. Det er flere tjenester på internett som tilbyr gratis etterprosessering av data ved hjelp av PPP eller en kombinasjon av referansenettverk og PPP. Ved å prosessere observasjoner med ulik kvalitet, lengde og observasjonstype (kinematisk og statisk) vil jeg undersøke hvordan de forskjellige tjenestene håndterer de ulike dataene.

- **Dataflyt** Hvordan kan filene sendes inn og hvor store valgmuligheter har man med tanke på andre input.
- **Robusthet** Hvilke krav stiller tjenestene til filene som sendes inn med tanke på observasjonstyper og prosesseringsmodus.
- **Nøyaktighet** Hvilken nøyaktighet eller presisjon kan forventes og hvordan påvirker de forskjellige datasettene nøyaktigheten.

Observasjonene til forsøkene vil jeg få fra Kartverket, Sjøkartverket og Blom.

Kapittel 3

Teori

3.1 GPS

GNSS (Global Navigation Satellite System) er hjørnesteinen i navigasjon og posisjonering på og utenfor jordoverflata. Ved hjelp av en enkel mottaker skal man til en hver tid kunne finne sin egen posisjon innenfor noen meter så lenge man har nok satellitter i sikte. Prinsippet er ganske enkelt. Satellittene sender ut et signal som mottakeren kan lese. Satellittkoordinater finnes i efemeridene og ved å måle hvor lang tid signalet bruker fra det forlater satellitten til det fanges opp i mottakeren kan man beregne avstanden til satellittene. Systemene baserer seg på såkalt one-way ranging. Klokkene i satellitten som registrerer at signalet forlater satellitten er ikke synkronisert med klokka i mottakeren som registrerer når signalet ankommer mottakerantennen. Denne forskjellen i tid gjør at gangtiden til signalet blir enten litt for kort eller for langt. Signalet beveger seg med lysets hastighet og selv små unøyaktigheter vil påvirke resultatet ganske kraftig. Det er grunnen til at avstandsobservasjonene omtales som pseudoranges, de er altså beheftet med feil. Derfor må man ha kontakt med minimum fire satellitter for å kunne beregne posisjon (X,Y,Z) og klokkefeilen. Altså fire observasjoner for å beregne de fire ukjente. GNSS er samlebetegnelsen for alle de satellittbaserte systemene som finnes der GPS (Global positioning service) er det mest kjente. GPS er ett militært system som er utviklet av DOD (Department of Defence) i USA, men er også

| | |
|--|---------------------------|
| Atomic clock (CS,Rb) Fundamental frequency | 10.23 MHz |
| L1 carrier signal | $154 * 10.23 MHz$ |
| L1 frequency | 1574.42MHz |
| L1 wavelength | 19.0 cm |
| L2 carrier signal | $120 * 10.23 MHz$ |
| L2 frequency | 1227.60 MHz |
| L2 wavelength | 24.4 cm |
| P-code | 10.23 MHz |
| P-code wavelength | 29.31 m |
| P-code period | 266 days 7 days/satellite |
| C/A-code frequency | 1.023 MHz |
| C/A-wavelength | 293.1 m |
| C/A-code period | 1 ms |
| data signal frequency | 50 bps |
| data signal cycle length | 30 seconds |

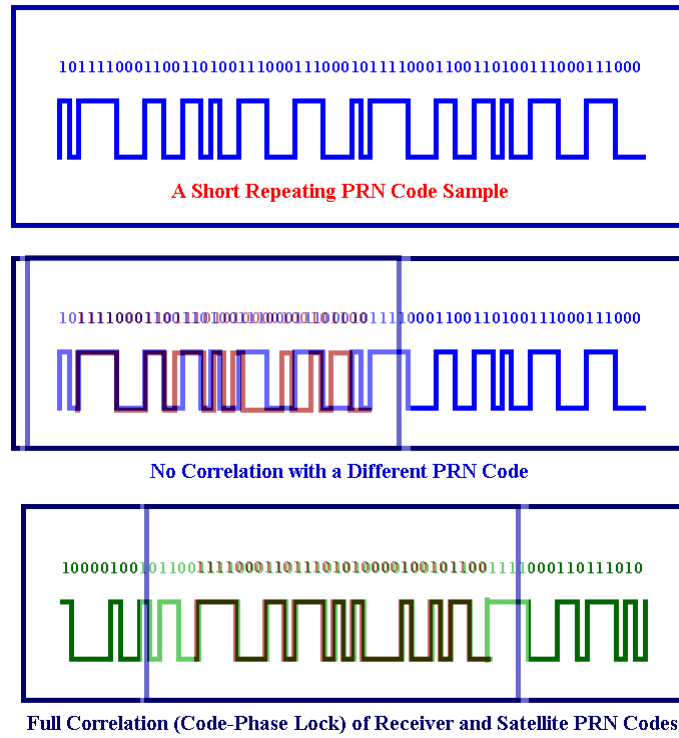
Tabell 3.1: Oversikt over GPS-signaler [Seeber, 2003]

tilgjengelig for sivile brukere. Det har vært i konstant utvikling siden 1973 da arbeidet med GPS ble startet.

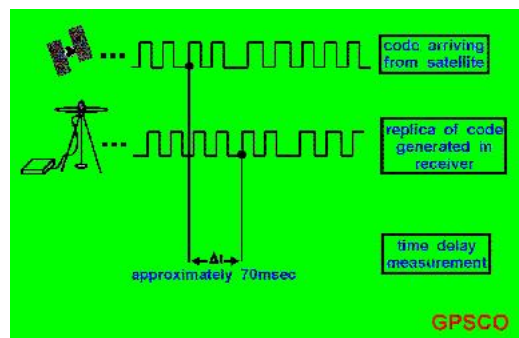
3.1.1 Kodemåling

De to hoved observasjonsstørrelsene ved GPS er fasemåling og kodemåling. Ved kodemåling blir en såkalt PRN (Pseudo random noise) modulert på bæreølgen til signalet. PRN ser ut som en helt tilfeldig rekke med binære tall, men de har den egenskapen at krysskorrelasjonen er lav for alle andre PRN som ikke er identiske

Bæreølgen som sendes ut fra GPS-satellittene inneholder tre koder. P-koden (Precision code) har en frekvens på 10.23 Mhz, dvs 10.23 millioner binærtall per sekund. Koden er en ekstremt lang sekvens med binærtall, med 266 dagers repetisjonstid. Denne kodestrengen deles inn i sekvenser på en uke som tilegnes de forskjellige satellittene. Dette er grunnen til at satellittene kan sende på samme frekvens og samtidig bli identifisert av den unike 7 dagers PRN koden. P-koden er tilgjengelig på både L1- og L2 bæreølgen.



Figur 3.1: Hvordan den mottatte PRN koden fra satellittene korreleres med kopien i mottakeren.[Dana, 2012]



Figur 3.2: Gangtiden for signalet mellom satellitt og mottaker. [Dana, 2012]

Inntil 2.mai 2000 var P-koden kryptert for sivile brukere med såkalt anti-spoofing og satellittmeldingene sendte ut upresise opplysninger om klokke og banedata noe som førte til forringelse i nøyaktigheten. Dette er noe av drivkraften bak Galileo systemet som skal styres sivilt.

Den sivile koden kalles C/A-koden (clear/acquisition) en 1.023 bit lang PRN kode som sendes med frekvens 1.023 Mhz. Dvs at koden gjentas hvert millisekund og gir en bølgelengde på ca 300 meter. Hver satellitt sender ut en unik PRN kode som ikke korrelerer med PRN koder fra de andre satellittene. C/A-koden sendes på L1, L2C, L5 og er planlagt en ny L1C fra BlockIII satellittene.

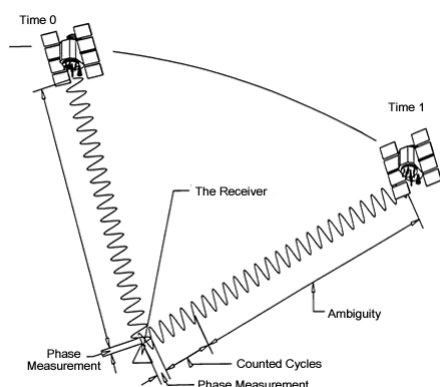
Den siste koden som sendes fra satellittene er navigasjonsmeldingen. Den er på 1500 bit og sendes med 50 bit/s. Den er laget i tre deler. En blokk som inneholder GPS tid, dato og status. Den andre delen inneholder efemeridene som gjør at mottakeren kan beregne satellittens posisjon. Den tredje delen inneholder almanakkdata om satellittene.

Mottakeren genererer en identisk kode som den satellittene sender ut. Gangtiden til signalet gjennom atmosfæren utledes ved å sammenligne de to kodene og se på forskyvningen i tid mellom de to kodene. Tommelfingerregelen for måle-nøyaktigheten man oppnår ved GPS er 1% av bølgelengden. For C/A koden som da er ca 300 m vil det si ca 3 m.

3.1.2 Fasemåling

Høypresisjonsmålinger ned mot millimeternivå kan oppnås ved hjelp av fasemåling av bærebølgen. Bærebølgen har en bølgelengde på 19.4 cm på L1 og 24.4 cm på L2. Dvs at nøyaktighet ned mot 2-3 mm er mulig. Mottakeren kan måle fasen med meget stor nøyaktighet, men den greier ikke å bestemme hvor mange hele bølgelengder som er i tillegg. For å kunne bestemme det ukjente antallet hele bølgelengder må man ta i bruk dobbeldifferanser. Observasjonslikningen for fasemåling skrives forenklet [Seeber, 2003]:

$$PR_{CR} = R + cdt_u + cdt_a - cdt_s + c\left(\frac{N}{f_{CR}}\right) + \xi_{CR} \quad (3.1)$$



Figur 3.3: Mottakeren låser seg til bæreølgen [NPTEL, 2012]

- dt_s = klokkefeil i satellitt
- dt_u = klokkefeil i mottaker
- d_a = forsinkelse i atmosfæren
- ϵ_R = observasjonsstøy
- R = avstand satellitt - mottaker
- c = lysets hastighetbølgelengder
- N = antall hele bølgelengder
- f_{CR} = frekvensen til bæreølgen
- ξ = restfeil (multipath, målefeil og umodelerte effekter)

Ved enkeltdifferanse mellom en satellitt og to mottakere som i ligning 3.2 ser vi at leddet for klokkefeil i satellitten er identisk og blir borte. Forsinkelsen i atmosfæren dt_a blir også nesten borte hvis mottakerne står såpass nær hverandre at gangen gjennom atmosfæren blir tilnærmet lik for begge mottakere. Hvis det differensieres mellom to satellitter og en mottaker vil på samme måte klokkefeilen i mottakeren dt_u forsvinne. En annen framgangsmåte er å differensiere for den samme satellitten mellom to epoker. Da vil faseflertydigheten N bli eliminert siden det leddet ikke forandrer seg så lenge mottakeren er låst til signalet.

$$\Delta PR_{CR_{ij}} = \Delta R_{ij} + c(dt_{u_j} - dt_{u_i}) - c(dt_s - dt_s) + c(dt_{a_j} - dt_{a_i}) + \lambda_{CR}(N_i - N_j) + \xi_{\Delta CR} \quad (3.2)$$

Ved å benytte seg av to mottakere i og j , to satellitter p og q og beregner de fire mulige psuedorangene PR_i^p , PR_i^q , PR_j^p og PR_j^q kan enda fler av ledde-
ne elimineres. I ligning 3.3 er resultatet etter dobbeltdifferanse. De feilkildene
som er igjen er fra banefeil til satellittene, små forskjeller i den atmosfæriske
forsinkelsen og målestøy. Det er da mulige å finne faseflertydigheten N som
trengs for å oppnå den høyeste nøyaktigheten. Noen ganger mister mottake-
ren låsen på signalet. Da vil den gå glipp av noen bølgelengder før den greier
å låse seg til signalet igjen. Dette kalles fasebrudd og kan repareres i statistisk
modus ved å f.eks danne trippeldifferanser.

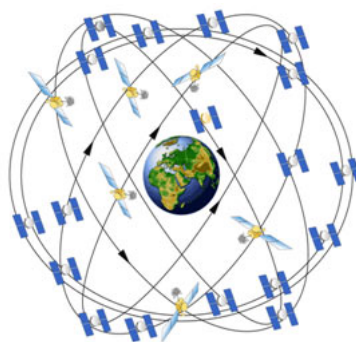
$$\nabla \Delta PR = \nabla \Delta R - \nabla \Delta d_a + \lambda \nabla \Delta N + \xi_{res} \quad (3.3)$$

3.1.3 Romsegmentet

Full konstellasjon består av 24 satellitter i 6 forskjellige plan. De går i sirkulær
bane ca 20200 km høyde med tolv timers repeterende bane (siderisk tid). Det-
te skal sikre at det til en hver tid er minst 4 satellitter synlig på himmelkulen
over hele kloden. Det er per idag 31 [GPS.gov, 2012] satellitter i bane. Dette
tallet varierer da det er vanskelig å si nøyaktig hvor lenge satellittene varer.
Når planlagte oppskytninger for å erstatte eldre satellitter gjennomføres, får
man ett overskudd. Konstellasjonen består av flere forskjellige generasjoner
av satellitter der de nyere generasjonene har diverse forbedringer. Den første
generasjonen med satellitter var Block I. Det ble fra 1978 til 1985 skutt opp
11 Block I satellitter. De hadde en forventet levetid på 4.5 år, men holdt i ca
ti år. Neste generasjon som kom var Block II og Block IIa. Disse hadde lengre
levetid, fire klokker (to rubidium og to Cesium), anti spoofing og selective
availability. Det ble fra 1989 til 1997 skutt opp 28 av disse satellittene. I
2005 ble den første Block IIR-M (replacement-modernized) skutt opp. Disse
er utrustet med 3 rubidium klokker og har mulighet for 2 sivile koder. Per

| Blokk | Periode | Antall skutt opp | Planlagte oppskytninger | I drift | Forbedring |
|-------|-----------|------------------|-------------------------|---------|------------|
| I | 1978–1985 | 10 | 0 | 0 | |
| II | 1989–1990 | 9 | 0 | 0 | |
| IIa | 1990–1997 | 19 | 0 | 10 | |
| IIR | 1997-2004 | 12 | 0 | 12 | |
| IIR-M | 2005-2009 | 8 | 0 | 7 | L2C |
| IIF | 2010- | 2 | 10 | 2 | L5 |
| III | 2014- | 0 | - | 0 | |

Tabell 3.2: De forskjellige generasjonene med GPS-satellitter [Wikipedia, 2012b].

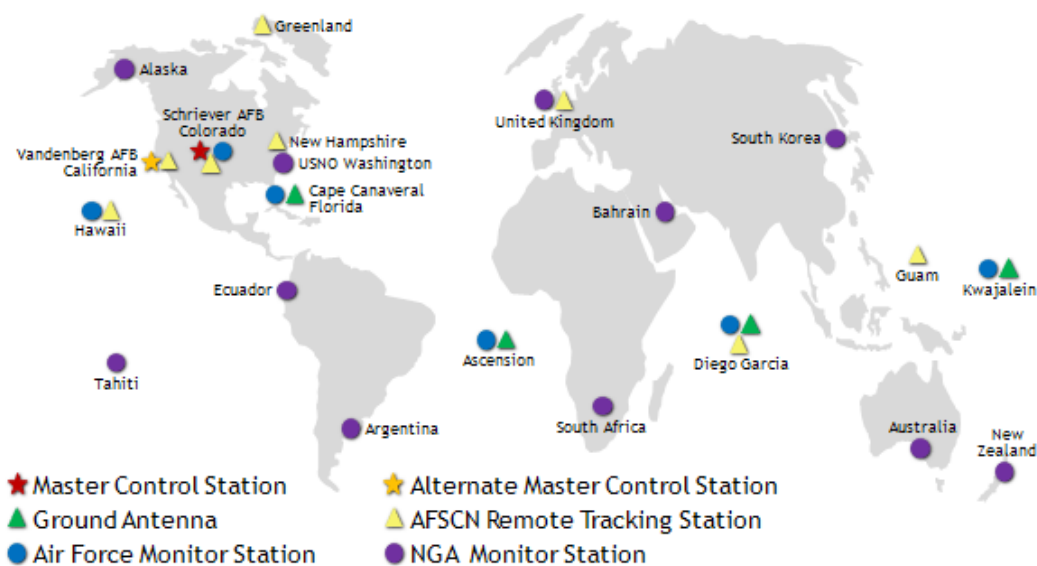


Figur 3.4: Full konstelasjon for GPS hentet fra [GPS.gov, 2012]

nå er den siste modellen block IIF. De har en tredje sivil kode L5 og er den første satellitten som ikke har innebygd SA [Ng, 2012].

3.1.4 Kontrollsegmentet

Kontrollsegmentet for GPS består av ett globalt nettverk med bakkestasjoner. Det er bygget opp av en Master Control Station (MCS) og en alternativ MCS, 12 Command and Control Antenna (GA) og 16 Monitor Stations (MS), se figur 3.5. Monitor stasjonene mottar signalene og beregner pseudorange til de tilgjengelige satellittene. Disse blir sammen med metrologidata overført til Master Control Station i Colorado som beregner efemerider og navigasjonsmeldingen til de forskjellige satellittene. Disse blir til slutt sendt til de forskjellige ground antennas og lastet opp til satellittene.



Figur 3.5: Kontrollsegmentet. Bildet fra [GPS.gov, 2012]

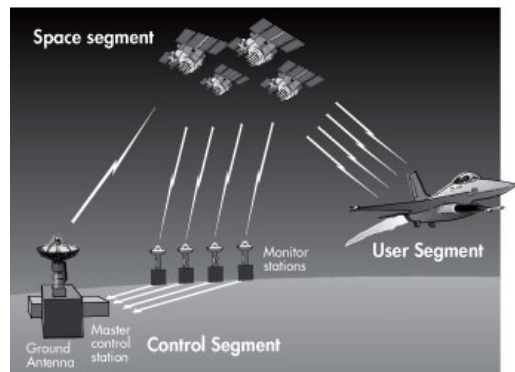
- Kontinuerlig kontrollere og overvåke systemet
- Bestemme GPS system tid
- Prediktere efemerider og klokker til satellittene
- Oppdatere navigasjonsmeldingene til satellittene
- Foreta små manøvreringer for å relokasere eller fjerne ødelagte satellitter

3.1.5 Brukersegmentet

Brukersegmentet vil si sluttbrukeren som benytter seg av GPS. Der navigasjon og posisjonering står for mesteparten av bruken.

3.1.6 Feilkilder og feilbudsjett

Avstandsmålingen mellom satellitt og mottaker er i realiteten ikke like simpelt som det høres ut. Prinsippene baserer seg på teorier som ikke er direkte overførbare til GPS bruk. Optimalt sett skulle jorden og dens atmosfære vært



Figur 3.6: Informasjon fra kontrollsegmentet sendes til satellittene før det så tas i mot av brukeren [The Aerospace Corporation, 2012].

ett inertialsystem i vakuum. Siden dette ikke er tilfelle må det gjøres en rekke grep for å oppnå nøyaktighetspotensialet som ligger i GPS.

- Jorden roterer rundt sin egen akse og fra det tidspunktet signalet forlater satellitten endrer mottakeren sin posisjon seg før signalet ankommer mottakeren.
- Satellittsignalet beveger seg med lysets hastighet og må derfor også korrigeres for relativistiske effekter.
- Signalets hastighet i atmosfæren endres gjennom ionosfæren og troposfæren.
- Ufullstendige satellittkoordinater, klokkefeil i satellitt og mottaker, multipath, antenneoffset og målestøy.
- Satellittenes geometri

Nøyaktigheten til GPS posisjonering avgjøres av to faktorer, det er målenøyaktigheten σ_r , ofte kalt UERE (User Equivalent Range Error) som er den samlede betegnelsen for unøyaktigheter i efemeridedataene, forsinkelser i atmosfæren, klokkefeil og mottakerstøy. Den andre faktoren er den geometriske konfigurasjonen av satellittene kalt DOP-verdi. DOP (Dilution of precision) kan forklares som forholdet $\frac{1}{V}$, der V er volumet satellittene spenner ut ved ett

Tabell 3.3: Feilbudsjett for posisjonsbestemmelse med GPS [Seeber, 2003].

| Feilkilde | RMS feil |
|-------------------------------------|----------|
| <u>Satellitt</u> | |
| -bane | 1-2 m |
| -klokke | 1-2 m |
| <u>Feilforplantning i atmosfære</u> | |
| -Ionosfære (2-frekvent) | cm-dm |
| -Ionosfære (modell) | 1-50 m |
| -Troposfære (modell) | dm |
| -Multipath | 1-2 m |
| <u>Mottaker</u> | |
| -Målestøy | 0.2-1 m |
| -hardwarefeil | dm-m |
| -antenne fasesenter | mm-cm |

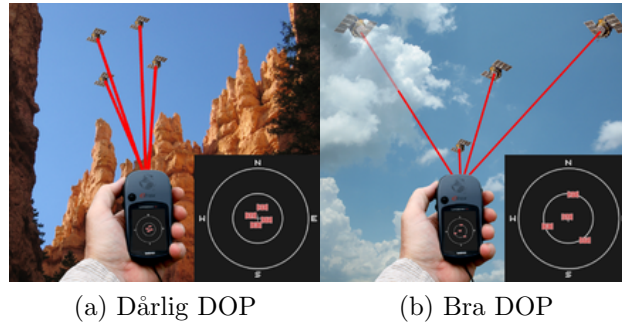
forenklet tilfelle (kun 4 satellitter). Vanligvis beregnes DOP-verdien ut fra kovariansmatrisen C_{xx} ved GPS posisjonering som i ligning 7.118 fra [Seeber, 2003]:

$$C_{xx} = \sigma_r^2 (A^T A)^{-1} \quad (3.4)$$

der

$$(A^T A)^{-1} = \begin{pmatrix} q_{xx} & q_{xy} & q_{xz} & q_{xt} \\ q_{yx} & q_{yy} & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{zx} & q_{zy} & q_{zz} & q_{zt} \\ q_{tx} & q_{ty} & q_{tz} & q_{tt} \end{pmatrix}$$

slik at variansen blir:



Figur 3.7: Hvordan satellittenes plassering eller tilgjengelighet påvirker DOP-verdien. [Wikipedia, 2012a]

$$\sigma_p^2 = \sigma_r^2 * (q_{xx} + q_{yy} + q_{zz}) \quad (3.5)$$

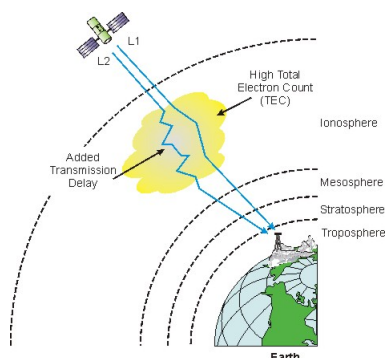
før man endelig finner standardavviket til posisjonsbestemmelsen

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_r^2 * (q_{xx} + q_{yy} + q_{zz})} \quad (3.6)$$

Til tider og særlig før full satellittkonstellasjon var tilgjengelig kunne nøyaktigheten påvirkes i stor grad da DOP-verdiene ble store.

Bane- og klokkefeil

Ved feil satellittposisjon i de kringkastede efemeridene vil den beregnede avstanden mellom satellitt- og mottakerantenna bli feil. Klokkene ombord i satellittene er meget stabile Cesium eller Rubidium klokker. De må være stabile innenfor noen få nanosekunder for å kunne tilfredsstillende den nøyaktigheten som ønskes.



Figur 3.8: Hvordan signalet forsinkes for de to frekvensene gjennom atmosfæren [wireless dictionary, 2012].

Ionosfære

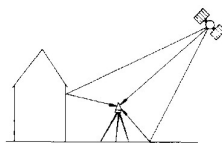
Laget fra 50 km og opp til 1000 km i atmosfæren kalles for ionosfæren. Det består av frie elektroner og ioner og varierer etter tid og lokasjon. GPS-signalet vil gjennom ionosfæren oppleve en forsinkelse etter hvor mye ioner som er til stede se figur 3.8. Effekten av dette kan reduseres ved hjelp av modell eller ved å benytte seg av lineærkombinasjoner fra L1 og L2 frekvensene da forskjellige frekvenser har forskjellig forsinkelse gjennom ionosfæren.

Troposfære

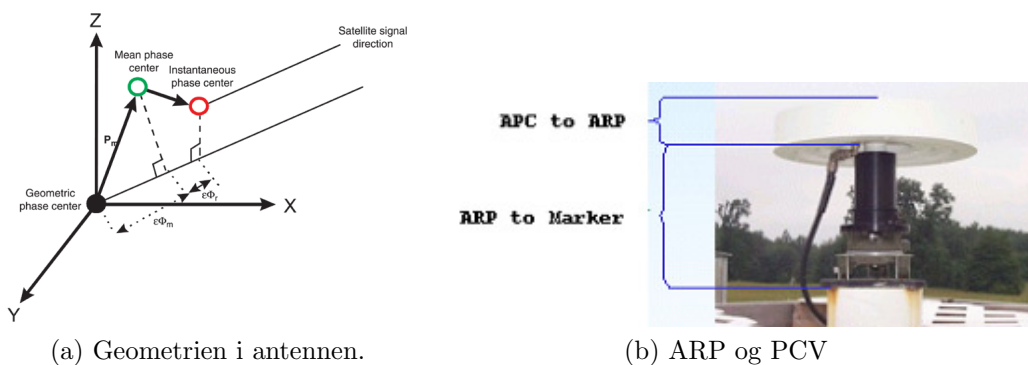
Troposfæren består av nøytrale molekyler. Den har en øvre tørr del som utgjør ca 90% av forsinkelsen. Den er imidlertid relativt stabil og kan bestemmes og modelleres bort med en nøyaktighet ned mot 1%. Den våte delen som står for de siste 10% av forsinkelsen varierer i tid og det kan være problematisk å korrigere for denne

Multipath

Multipath vil si at en eller flere av signalene som ankommer mottakerantenna har blitt reflektert fra andre objekter. Når signalet reflekteres av andre objekter blir veien mellom satellittantenna og mottakerantenna lenger som igjen fører til at den utledede pseudorange blir feil. Multipath kan forårsake fasebrudd da mottakeren kan miste låsen på signalet.



Figur 3.9: Signalet treffer andre objekter og tar en omvei før den treffer mottakerantenna og forutsaker såkalt multipath [Schulz, 2012].



Figur 3.10: Antennens referansepunkt [Natural Resources Canada, 2004] og fasesenter [Akrouer et al., 2012].

Antennens fasesenter

Ved posisjonering er det utledning av avstand mellom satellitten og mottakerens klokke som finnes. Når nøyaktighet på cm-mm nivå skal bestemmes må det være ett meget godt definert punkt det måles mellom. En mottakerantenne inneholder flere punkter. Den har ett referansepunkt (ARP) som brukes til å finne høyden fra punktet på bakken og opp til antennen, se figur 3.10b. Det har også ett mekanisk eller geometrisk fasesenter som ofte ligger i skjæringslinjen mellom den vertikale akse og det horisontale planet i antennen, se figur 3.10a. Men det faktiske punktet som avstanden utledes fra er det som kalles det elektriske fasesenteret. Det varierer med asimut og elevasjonen til de observerte satellittene, det varierer også mellom L1 og L2 frekvensene. Dette punktet varierer med mm-cm fra det gjennomsnittlige fasesenteret som blir oppgitt fra produsenten av antennen. Antennens fasesenter finnes ved hjelp av kalibrering. PPP tjenester henter denne kalibreringsinformasjonen fra IGS som har registre med denne informasjonen.

3.2 Relativ posisjonsbestemmelse

Per dags dato er differensiell måling den metoden som gir den høyeste nøyaktigheten. Fremgangsmåten er at en eller flere mottakere plasseres i ett kjent punkt og en annen eller flere mottakere settes opp i de ukjente punktetene som skal måles inn. Så må mottakerne stå å logge observasjoner samtidig. De samme satellittene må være tilgjengelige for begge mottakerne for at observasjonene skal kunne brukes. Metoden begrenses av avstanden mellom punktene mottakerne settes opp i på grunn av en avstandsavhengig feil. Når observasjonene så trekkes fra hverandre blir de effektene så og si eliminert. Hvis avstanden mellom mottakerene ikke er for stor (mindre enn 100 km [Kouba, 2009]) antas det at signalet fra satellittene har en tilnærmet lik gang gjennom atmosfæren. Det vil også være andre effekter som landheving og loading effekter som vil gjøre seg gjeldene. Ved statiske målinger er det mulig å oppnå en nøyaktighet på millimeter nivået ved kontinuerlige målinger på ca en time. Ved for store avstander mellom base og rover vil den avstandsavhengige feilen forringe resultatene.

Differensiell måling er mulig med etterprosessering eller som sanntidsmålinger ved hjelp datakorreksjoner som sendes mellom base og rover. I Norge er CPOS som leveres av Statens Kartverk den mest brukte tjenesten. Nøyaktigheten som oppnås er ikke like god som ved statiske målinger, men fullt brukbar til oppgaver som eiendomsmåling. Det er også mye mer tidseffektivt en statiske målinger.

3.3 Absolutt posisjonsbestemmelse

Ved absolutt posisjonsbestemmelse finner mottakeren sin posisjon kun ved målinger mellom de nødvendige satellitter og antennen til mottakeren. Siden det bare er en mottaker kan ikke feilkildene elimineres ved hjelp av differensiering. Det må tas i bruk modeller for å kvitte seg med så mye som mulig av disse feilkildene. Eksempler på feilkilder er f.eks tidejord og “phase wind up”, se kapittel 3.1.6. Ved disse metodene blir ikke alle bidragene fra de diverse feilkildene fjernet, dette fører til at nøyaktigheten som oppnås ikke er

like god. Posisjonsbestemmelse med en enkel mottaker gir en nøyaktighet i grunnriss på 2-5 m. Ved statiske målinger kan man få en del bedre resultater, men for å komme helt ned på cm-mm meter nivå som i differensielle målinger må man ha lange kontinuerlige måleserier og benytte seg av presise efemerider (PPP).

3.4 RINEX

Receiver Independent Data Format (RINEX) er ett standardisert utvekslingsformat for data fra GNSS mottakere. Siden det er mange forskjellige produsenter av mottakerne som har hver sin måte å logge dataene fra satellittene oppstår det problemer når disse skal prosesseres. Dette ble løst da Gunter Werner ved universitetet i Bern, Sveits i 1989 lanserte RINEX. I RINEX er all data som blir logget strukturert på lik måte uavhengig av hvilken mottaker som ble brukt. Det kreves av rådataen fra mottakerne blir konvertert fra sitt format over til RINEX. Det blir da generert tre filer, det er observasjonsfiler, metrologifiler og navigasjonsfiler. RINEX er i ASCII format, det vil si en ren tekstfil som kan leses av alle enkle tekstprogrammer.

3.4.1 Hatanaka kompresjon

Med lange måleserier og høy datarate kan RINEX observasjonsfiler fort bli meget store. Hos IGS og andre aktører som sender mye informasjon over nett er det ønskelig med ett format som ikke er såpass plasskrevende. I 1977 lanserte Yuki Hatanaka et kompresjonsformat som het Hatanaka. Ved hjelp av f.eks ett lite DOS basert program `rxn2crx` og `crx2rxn` kan `rinex`filer komprimeres til og fra `hatanaka` format[Unavco, 2012]. En UNIX og Hatanaka komprimert RINEX observasjonsfil tar 25-30% av opprinnelig størrelse[SOPAC, 2012].

3.4.2 Teqc

Teqc er ett enkelt DOS-basert program som kan brukes til mange preprocessing problemer for GNSS data. Det har tre hovedfunksjoner som også

forklarer navnet,translation, editing, and quality check (Teqc). Se [Unavco, 2012] for mer info.

3.5 Precise Point Positioning

Precise Point Positioning (PPP) vil si absolutt måling som benytter seg av mer nøyaktige data, korreksjoner og modeller enn de som kringkastes fra satellittene. Ved differensiell måling blir flere feilkilder langt på vei eliminert da de antas å være tilnærmet like for stasjoner i nærheten av hverandre. For PPP er ikke dette mulig. Med en geodetisk to-frekvent GNSS-mottaker kan de fleste feilkildene som forringer nøyaktigheten korrigeres, modelleres eller estimeres slik at nøyaktighet på cm-nivå kan oppnås. For lange måleserier opp mot 24 timer er det oppnådd resultater på under 1 cm i grunnriss og 2 cm i høyde [Soycan and Ata, 2010].

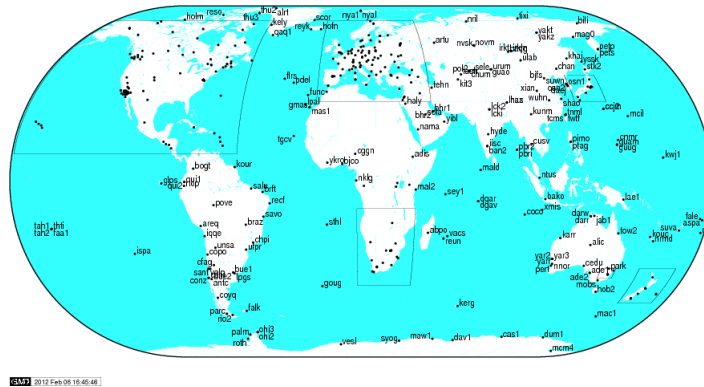
En av de store fordelene med PPP kontra differensiell måling er at det kan være er veldig resurssparende da man slipper å logge data fra to mottakere samtidig. Problematikken med avstandavhengige feil ved lange baselinjer som oppstår ved differensielle målinger er ikke til stede da det benyttes globale løsninger. Korreksjonen som brukes i PPP består av flere ulike produkter. De mest vanlige blir beregnet og gjort tilgjengelig av IGS se kapittel 3.5.1. Det finnes også andre produkter som f.eks de som beregnes av JPL. Produktene er delt opp i flere klasser med ulik kvalitet etter hvor lang tid det tar å klargjøre produktene. For å kunne løse faseflertydighetene benytter man seg av heltallsegenskapene de får ved dobbeldifferensiering. På grunn av hardware bias i satellitt og mottaker har ikke de estimerte faseflertydighetene heltallsegenskaper. En fix-løsning er i utgangspunktet ikke mulig, så faseflertydighetene beregnes sammen med stasjonskoordinatene. Akkurat det å modellere hardwarebias i satellitt og mottaker for å kunne fikserte faseflertydighetene er noe som det forskes på i dag, se [Gendt et al., 2006]. At ekstra parametere må bergenes fører til flere ukjente som svekker geometrien. På grunn av den svekkede geometrien til float-løsningen øker nøyaktigheten med tiden, se tabell 3.11.

| Dynamics | Duration (hours) | Horizontal (meter) | Vertical (meter) |
|-----------|------------------|--------------------|------------------|
| Static | 24 | 0.01 | 0.02 |
| | 6 | 0.02 | 0.04 |
| | 1 | 0.05 | 0.10 |
| Kinematic | 24 | 0.03 | 0.04 |
| | 6 | 0.03 | 0.05 |
| | 1 | 0.15 | 0.20 |

Figur 3.11: Hvor lang tid det typisk tar før faseflertydigheten konvergerer for statisk og kinematiske data. Tabell hentet fra [Ovstedal et al., 2006].

3.5.1 IGS

Fritt oversatt fra <http://igsb.jpl.nasa.gov/> “The International GNSS Service (IGS), tidligere International GPS Service, er en frivillig sammenslutning av mer enn 200 byråer over hele verden som samler ressurser og permanente GPS og GLONASS data for å generere nøyaktige GPS og GLONASS produkter. IGS er forpliktet til å tilby den høyeste kvalitet på data og produkter som standard for Global Navigation Satellite Systems (GNSS) i støtte for geovitenskap forskning, tverrfaglige programmer, og utdanning. Foreløpig omfatter IGS to GNSS, GPS og russiske GLONASS, og har til hensikt å innlemme fremtidige GNSS som Galileo. Du kan tenke på IGS som ett høy-presisjons, internasjonalt og sivilt GPS samfunn” [J.M et al., Journal of Geodesy (2009)].



Figur 3.12: Nettverket av stasjoner som forsyner IGS med data. [NOAA/NGS, 2011]

| Navn | Type | Nøyaktighet | Ventetid | Oppdatering | Intervall |
|----------------------------|--------------|-------------|------------|--------------------|------------|
| Broadcast | orbits/clock | 100cm/5ns | real time | - | daily |
| Ultra-Rapid (predicted) | orbits/clock | 5cm/3ns | real time | 03,09,15,21 UTC | 15 min |
| Ultra-Rapid (observed) | orbits/clock | 3cm/150ps | 3-9h | 03,09,15,21 UTC | 15 min |
| Rapid | orbits/clock | 2.5cm/75ps | 17-41h | 17 UTC | 15min/5min |
| Final | orbits/clock | 2.5cm/75ps | 12-18 days | Thursday | 15 min/30s |

Tabell 3.4: De forskjellige IGS produktene for GPS. [NOAA/NGS, 2011]

Kapittel 4

Online prosesseringstjenester

Det er flere organisasjoner som tilbyr online etterprosesseringstjenester i dag. Brukergrensesnittet er stort sett likt. Brukeren laster oppe en RINEX-fil via FTP eller e-mail. RINEX-filen blir så prosessert og resultatet sendes tilbake på mail.

4.1 Tjenester på nett

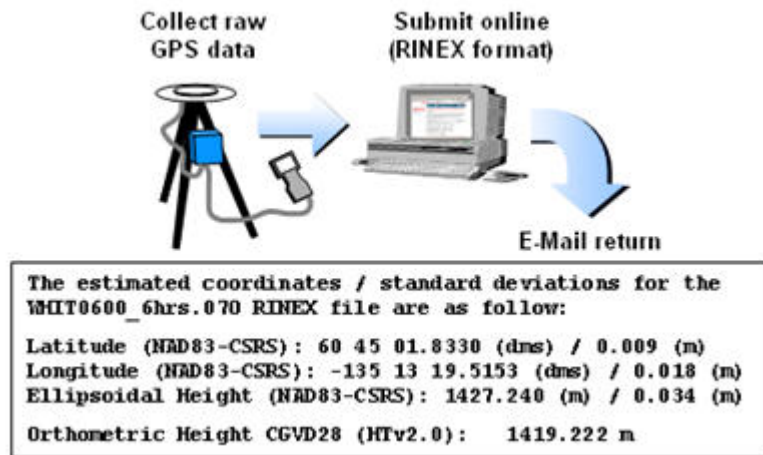
De forskjellige tjenestene i tabell 4.1 benytter seg av forskjellige metoder for å gjøre sine beregninger. Noen av de benytter seg kun av produkter fra IGS, mens de andre er en kombinasjon av egne produkter og ett nettverk av forskjellige faste referansestasjoner. Felles for alle tjenestene er at du må laste opp en RINEX-fil via FTP, E-mail eller på deres websider. Du må også vite antennotypen og antennehøyden til det utstyret som ble benyttet til å gjennomføre målingene. Selve prosesseringen er i de fleste tilfeller ferdig og levert på din mail innen 30 minutter avhengig av antall beregninger som ligger i kø på serveren.

4.1.1 Apps

NASA's Jet Propulsion Laboratory har utviklet Automatic Precise Positioning Service (APPS). Det er en robust og brukervennlig tjeneste som tilbyr nær sanntid etterprosessering av GPS observasjoner. JPL har sitt eget

Tabell 4.1: Oversikt over online tjenester og spesifikasjoner

| Navn | Csrs | Apps | Gaps | MagicGNSS | Scout | Auspos |
|----------------------|--------------|------------|-------|------------|---------|--------------|
| Utvikler | Csrs | JPL | UNB | GMV | Sopac | GA |
| Frekvens | L1 & L1+L2 | L1+L2 | L1+L2 | L1+L2 | L1+L2 | L1+L2 |
| Systemer | GPS+GLO | GPS | GPS | GPS+GLO | GPS | GPS |
| Statisk & kinematisk | Ja | Ja | Ja | Ja | Statisk | Statisk |
| Opplasting | Web & mail | Web & mail | Mail | Web & mail | Web | Web |
| Antenne input | Rinex | Rinex | Rinex | Rinex | Rinex | Web |
| Referansesystem | ITRF & NAD83 | ITRF | | ITRF | ITRF | ITRF & NAD83 |
| Motor | Bernese | Gipsy | | Gamit | | |



Figur 4.1: Dataflyt fra observasjonene som logges i mottakeren og fram til beregnet resultat. Bilde er fra resultat fra prosessering med Csrns.

nettverk av bakkestasjoner som beregner sine egne banedata og korreksjoner. Apps håndterer kode og fasemålinger i kinematisk og statisk modus. Det tre forskjellige produktene som er tilgjengelig er JPL final, rapid og real-time. Som default vil de til en hver tid beste løsningene bli valgt[JPL NASA, 2012].

4.1.2 Auspos

Auspos er en tjeneste levert av Geoscience Australia. Den bruker IGS sine produkter og data fra IGS sitt globale nettverk med referansestasjoner, altså en kombinasjon av PPP og differensiell måling. Auspos har en nedre begrensning i måletid på 1 time og en øvre grense på 7 dager. Observasjonsstørrelsene må komme fra en to-frekvent mottaker i statisk modus.[Geoscience Australia, 2012]

4.1.3 Csrns

The Canadian Spatial Reference System (CSRS) Precise Point Positioning (PPP) en en tjeneste som tilbyr etterprosesserte posisjonsestimater over nett. Den benytter seg av L1 og L2 fase og kodeobservasjoner eller bare L1 kodeobservasjoner om L2 ikke er tilgjengelig. Den kan også ta i bruk GLONASS

observasjoner. Tjenesten er global og kan brukes for observasjoner fra hele kloden. Den benytter seg av de til en hver tid beste produktene fra IGS (ultra-rapid, rapid eller final), hvis ingen av disse er tilgjengelig vil prosesseringen bli lagt i kø til produktene er klare. Det er ingen nedre begrensning på måleseriene. Den øvre begrensningen er seks dager eller 100 mb med data.[Natural Resources Canada, 2004]

4.1.4 Gaps

Gaps står for The GPS Analysis and Positioning Software og er utviklet på Universitetet i New Brunswick av Rodrigo Leandro, online delen som er gjort tilgjengelig for almenheten er laget av Landon Urquhart og Alex Garcia. Gaps er i hovedsak laget for posisjonsbestemmelse ved etterprosessering, men estimerer også andre parametere. Gaps er under utvikling og de jobber nå med implementasjon av andre systemer som GLONASS og Galileo. Den tar i bruk både kode og fase observasjoner fra L1 og L2 og aksepterer både kinematisk og statiske målinger.[R.F. et al., 2007]

4.1.5 Scout

Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT) er utviklet av Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) i USA. Den benytter seg av de tre nærmeste IGS stasjonene og tillater at brukeren velger opp til fire andre referansestasjoner. Den baserer seg på programvaren GAMIT og har en minimumsbegrensning på 1 time med observasjonsdata som må lastes opp via ftp.[SOPAC, 2012]

4.1.6 MagicGNSS

GMV som er ett spansk privat selskap står bak tjenesten MagicGNSS som er en web basert tjeneste som beregner GNSS relaterte produkter som koordinater, modeller og korreksjoner. Den takler de to store systemene GPS og GLONAS, og er klargjort for Galileo. Den kan for øyeblikket bare benytte seg av kombinasjon av L1 og L2 i statisk eller kinematiske målinger, for

kinematisk modus har den også valgmulighet mellom terrestrisk eller aerial dynamikk. [GMV, 2011].

4.1.7 Terrapos

Terrapos skiller seg fra de andre tjenestene ved at det ikke ligger fritt tilgjengelig på nett. Det er utviklet av Terratec i Norge og krever tilgang på en lisens. For å oppnå de beste resultatene anbefales det bruk av gode tofrekvente geodetiske GNSS mottakere og antenner. Terrapos har også muligheten for å prosessere IMU data, noe som kan styrke resultatet betraktelig i områder med liten satellittdekning. Dette krever imidlertid at man har slikt utstyr tilgjengelig.

Terrapos ble tatt med i denne oppgaven da den vil kunne gi ett godt sammenligningsgrunnlag, eller “benchmarking” av de andre tjenestene som blir undersøkt i oppgaven.

Kapittel 5

Forsøksdesign

For å kunne gjøre en så god som mulig test av de nettbaserte prosesserings-tjenestene som blir tatt for seg i denne oppgaven bestemte jeg meg for å benytte meg av flere observasjonssett tiltenkt ulike formål med høye nøyaktighetskrav. Det ble formidlet kontakt til Kartverket, Sjøkartverket og Blom for å få tilgang på GNSS-observasjoner. De ble valgt da de sitter på store mengder med data som passer godt til de undersøkelsene jeg skulle gjøre i denne oppgaven.

For å se hvordan både gode og dårlige målinger i lange og korte måleserier påvirker resultatene satte jeg opp ett forsøksdesign som la vekt på det.

Fra Sjøkartverket fikk jeg tilgang på kinematisk GNSS data med datarate på 1 Hz for en ukes måling utenfor Lofoten. Målingene ble gjort med en Javad Euro-GGD mottaker med Novatel 702 GG rev 1.02 antenne. Disse dataene antas å være meget gode da måleforholdene til sjøs er optimale med tanke på lite obstruksjoner for antenna.

Av Blom fikk jeg GPS målinger for en flytur på ca 7 timer. De ble målt med en Trimble mottaker med Aerat 2771-41 antenne. Dataraten var på 10 Hz. Disse observasjonene har trolig litt dårligere kvalitet enn dataene fra Sjøkartverket da flyets hastighet er såpass stor og det gjør mange krappe manøvre som kan forårsake fasebrudd.

Kartverket sendte meg 24 timer statiske GNSS-data med en datarate på 1 Hz. De kommer fra en Trimble NETR5 mottaker med TRM55971 antenne

som står på taket av operaen i Oslo.

Det antas at oppnådd nøyaktighet er avhengig av måletiden. For å se på initialiseringstiden og hvilken nøyaktighet som kan oppnås som en funksjon av tid ble filene delt opp i datasett med ulik lengde, se tabell 5.2 til 5.6 for hvordan de ble delt opp.

Cutoff angle ble satt til 10 grader og antennenavnet ble puttet inn i RINEX-headeren. Det er svært viktig at antennedefinisjonen som blir brukt av IGS blir fulgt når antennenavnet settes inn i headeren da feil i navnet kan føre til at feil eller ingen antennekorreksjoner vil bli brukt.

5.1 Referanseramme og koordinatsystem

Jorden er stadig i bevegelse og med den endres koordinatene på jordoverflaten. IGS benytter seg av referanserammen ITRF (International Terrestrial Reference Frame). ITRF er et globalt system, det vil si at det er dynamisk og hele tiden i bevegelse. Koordinatene i ITRF vil derfor endre seg etter hvert som tiden går. For å ivareta dette må referanserammen som benyttes være identisk med situasjonen da målingene ble gjennomført. Dette blir tatt hånd om uten videre innblanding fra brukeren, men det er ofte ønskelig å få de beregnede koordinatene over i andre systemer som f.eks Euref89 som er det offisielle koordinatsystemet i Norge. Euref89 er en fastlåsning av hvordan ITRF så ut i 1989. Siden hele Norge ligger på en tektonisk plate vil ikke koordinatene endre seg utenom loadingeffekter. I denne oppgaven ble det gjort en transformasjon av dataene for de statiske dataene fra Kartverket. Det var fordi fasisitkoordinatene var i Euref89. For dataene fra Blom og Sjøkartverket var både de beregnede og referansekoordinatene i ITRF så ingen transformasjon var nødvendig.

Terrapos har innebygd flere offisielle transformasjoner som f.eks fra ITRF til Euref89. Ved å beregne koordinatene til mottakeren i Euref89 og ITRF2008 ved hjelp av Terrapos kunne differansen mellom de to systemene bestemmes. Som en sikkerhet ble dette gjennomført for to forskjellige epoker for å sikre at differansen er konstant som den bør være over ett kort tidsrom.

Map projection coordinates: 00:59:59 - 02/05-2012

| | | |
|-------------|------------|-----------------|
| 6642362.199 | 598127.688 | 63.797 Euref89 |
| 6642362.644 | 598128.007 | 63.913 ITRF2008 |
| 0.445 | 0.318 | 0.116 Diff |

Map projection coordinates: 23:59:59 - 02/05-2012

| | | |
|--------------|-------------|------------------|
| 6642362.1753 | 598127.7002 | 63.8072 Euref89 |
| 6642362.6208 | 598128.0185 | 63.9229 ITRF2008 |
| 0.446 | 0.318 | 0.116 Diff |

Fra utklippet over kommer det fram at differansen mellom Euref89 og ITRF2008 er tilnærmet konstant for de to epokene. For å finne de endelige ITRF2008 koordinater for mottakeren ble de jordsentriske koordinatene fra headeren i RINEX-filen fra kartverket transformert til geodetiske og så til kartesiske koordinater i matlab. Til slutt ble differansen over lagt til.

Tabell 5.1: Hvordan ITRF2008 koordinater for mottakeren i Oslo ble beregnet.

| ECEF Euref89 koordinater | | |
|--|--------------|---------------|
| X | Y | Z |
| 3149785,955 m | 598260,893 m | 5495348,488 m |
| | | |
| Geodetiske Euref89 koordinater | | |
| Lat | Lon | h |
| 59,9070725 ° | 10,7544831 ° | 63,820m |
| | | |
| Kartesiske Euref89 koordinater | | |
| N | Ø | h |
| 6642362,199 m | 598127,700 m | 63,820 m |
| | | |
| Kartesiske ITRF2008 koordinater | | |
| N | Ø | h |
| 6642362,644 m | 598128,018 m | 63,936 m |

5.2 Kinematiske data

De to tjenestene (Scout og Auspos) som benytter seg av differensiering i tillegg til PPP støtter ikke kinematiske beregninger og er derfor ikke tatt med her.

En stor del av oppgaven er å se på hvilken nøyaktighet som kan oppnås med de forskjellige tjenestene som er tilgjengelig på nett. Ved kinematiske anvendelser er det utfordrende å bestemme en fasit som ligger til grunnlag for nøyaktigheten til resultatene. For dataene fra Sjøkartverket var det ingen nøyaktige referansedata tilgjengelig så der måtte sammenligningsgrunnlaget finnes på en annen måte. Ved å lage ett vektet middel av resultatene fra de forskjellige tjenestene med tilhørende standardavvik ble det beregnet en løsning som forhåpentligvis skal stemme godt med virkeligheten. I realiteten blir denne løsningen ett mål på hvor godt de resultatene som er med, stemmer overens.

Da referansesettet med koordinater skulle bestemmes, var det ønskelig å beregne det med bidrag fra alle de forskjellige tjenestene, men det viste seg at Gaps og Apps ikke greide å beregne resultater for de lengste tidsseriene. Da nøyaktigheten henger sammen med observasjonstid ble kun de tjenestene som fikk ett resultat for 24 timers måleserie for dataene fra Sjøkartverket og 7 timer fra Blom tatt med i beregningen. Koordinatene ble beregnet for X,Y og høyde for tidspunkt i som i ligning 4.1-4.3.

For å kunne håndtere de store datamengdene ble det laget en del matlabrutiner som importerer, sorterer og konverterer dataene på en hensiktsmessig måte så de kunne sammenlignes og analyseres.

$$\hat{X} = \frac{\sum(\eta_{X_i} * X_i)}{\sum \eta_i} \quad (5.1)$$

$$\hat{Y} = \frac{\sum(\eta_{Y_i} * Y_i)}{\sum \eta_i} \quad (5.2)$$

$$\hat{h} = \frac{\sum(\eta_{h_i} * h_i)}{\sum \eta_i} \quad (5.3)$$

Der $\eta_{X_i} = \frac{S_0^2}{S_{X_i}^2}$, S_0 er en konstant og S_{X_i} er standardavvik mellom beregnede koordinater fra de ulike tjenestene og referansesettet med koordinater for koordinat X ved tidspunkt i.

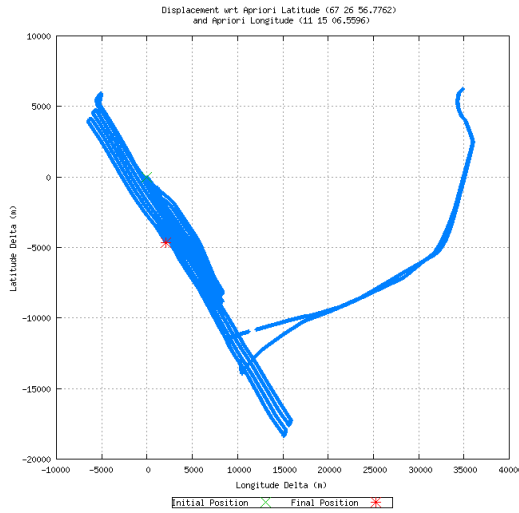
For at observasjoner med grove feil ikke skulle bli tatt med i beregningen av referansekoordinatene ble alle differanser mellom koordinater fra referansesettet og de forskjellige tjenestene som var større en tre ganger standardavviket vektet bort. Det er litt av grunnen til at antallet beregnede posisjoner i kapittel 6.2. De resterende manglende koordinatene kommer av at tjenestene ikke har generert koordinater for alle tidspunktene.

5.2.1 Nøyaktighet av kinematiske data

Siden sammenligningsgrunnlaget for de kinematiske dataene var mangelfulle ble det også gjennomført en kinematisk prosessering av de statiske målte dataene fra taket på operaen i Oslo. Der var mottakerkoordinatene godt bestemt og resultatet vil vise de forskjellige tjenestenes nøyaktighet for de forskjellige tidsseriene.

5.2.2 Sjøkartverket

Dataene fra sjøkartverket ble redigert med teqc til observasjonsfiler med varighet på 24 timer - 5 minutter, se tabell 5.2. Filene innhold såpass store mengder med observasjoner at det ble nødvendig å fjerne alle glonass observasjoner og kun ta vare på observasjonstørrelsene C1,L1,L2,P1,P2. Filene ble så komprimert med hatanaka og pakket ned for å komme under maksimumskravene for filstørrelse som er 10 mb på en del av tjenestene.



(a) Sporlog fra Csrs.



(b) Sporlog fra Terrapos.

Figur 5.1: Sporlogg av Sjøkartverkets rute under sjøkartlegingen utenfor Lofoten i Norge den 05/07-2011. Figur 5.1a viser bilde fra resultatfilene som følger med fra Csrs, mens figur 5.1b er en KML fil eksportert fra Terrapos vist i Goole Earth.

Tabell 5.2: Hvordan de kinematiske dataene fra sjøkartverket ble delt opp og til hvilke tjenester de ble sendt.

| | Csrs | Apps | Gaps | magicGNSS | Terrapos |
|----------|------|------|------|-----------|----------|
| 24 timer | x | x | x | x | x |
| 12 timer | x | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x | x |
| 1 timer | x | x | x | x | x |
| 30 min | x | x | x | x | x |
| 15 min | x | x | x | x | x |
| 10 min | x | x | x | x | x |
| 5 min | x | x | x | x | x |

5.2.3 Data fra Blom

Datasettet fra Blom er fra en flyfotografering i Trondheim. Under flyfotografering benyttes vanligvis treghetsnavigasjon. Treghetsnavigasjon har ofte en målerate som er mange ganger raskere en hos GNSS systemer. Dette er trolig grunnen til at observasjonene jeg har fått fra Blom har en målerate på 10 Hz. For undersøkelsene som skal gjøres i denne oppgaven er det uhenksmessig med så høy datarate da 1 Hz er den raskeste måleraten flere av tjenestene kan prosessere. Det er sannsynligvis også lite ekstra å hente ved hyppigere målerate da PPP oppnår sin nøyaktighet som en funksjon av tid og ikke antall observasjoner.

Observasjonsfilene ble også her redigert med teqc for å passe best mulig til formålet. Dataraten ble satt ned til 1 Hz og kun observasjoner på C1,L1,L2 og P2 ble tatt vare på. Så ble lengden på filene kortet ned som i tabell 5.3. Optimalt sett skulle lengden på datasettene fra Sjøkartverket og Blom vært like lange slik at også de lengste seriene hadde vært direkte sammenlignbare.

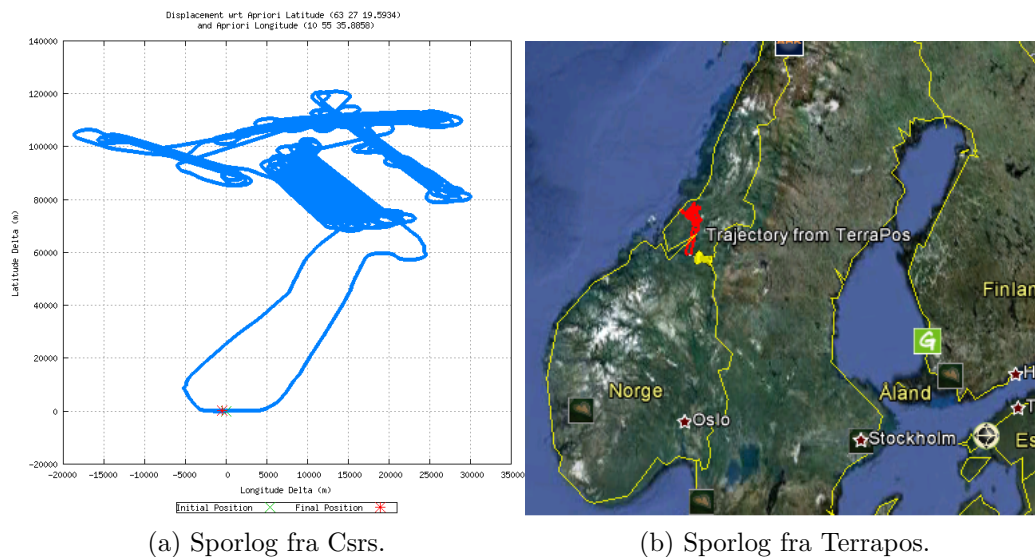
Fra Blom ble det også levert basedata fra flere referansestasjoner i det aktuelle området. I utgangspunktet var det meningen å beregne en differensiell løsning med Leica Geo Office som skulle virke som referansesett. Under beregningen av referansesettet viste det seg at resultatet ble ganske mangelfullt og ikke egnet seg da bare ca 2/3 av datasettet hadde god nok kvalitet (fix-løsning). Det ble derfor besluttet å beregne ett referansesett med koordinater for flyturen fra Blom på samme måte som for Sjøkartverket. Altså ett vektet middel av de beste resultatene. Som ett tilleggsmoment ble de to løsningene som ble beregnet sjekket mot hverandre for å se på spredningen mellom de to. Dette var interessant da to forskjellige beregningsstrategier kan sammenlignes og resultatet vil kunne si en del om kvaliteten til de to løsningene.

5.2.4 Statistiske data fra Kartverket prosessert i kinematisk modus

Fremgangsmåten for disse dataene er den samme som for dataene i kapittel 5.3.1. Den eneste forskjellen er at de ble prosessert i kinematisk modus.

Tabell 5.3: Hvordan de kinematiske dataene fra Blom ble delt opp og til hvilke tjenester de ble sendt.

| | CSRS | Apps | GAPS | magicGNSS | Terrapos |
|---------|------|--------|------|-----------|----------|
| 7 timer | x | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x | x |
| 1 timer | x | x </tr | | | |



Figur 5.2: Sporlogg av Blom sin flyfotografering i Trøndelag i Norge den 27/07-2010. Figur 5.2a viser bilde fra resultatfilene som følger med fra CsrS, mens figur 5.2b er en KML fil eksportert fra TerraPos vist i Goole Earth.

Tabell 5.4: Hvordan de statiske dataene fra Kartverket som skulle prosesseres i kinematisk modus ble inndelt og sendt til de ulike tjenestene.

| Tid | Csrs | Terrapos | MagicGNSS | Gaps |
|----------|------|----------|-----------|------|
| 5 min | x | x | x | x |
| 10 min | x | x | x | x |
| 15 min | x | x | x | x |
| 30 min | x | x | x | x |
| 1 time | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x |
| 12 timer | x | x | x | x |
| 24 timer | x | x | x | x |

5.3 Statiske data

Kartverket sto for de statiske dataene som skulle undersøkes. Behandlingen og test av nøyaktigheten til statiske målinger er enklere å gjennomføre da resultatet kun inneholder koordinater for mottakeren og standardavvik på disse. Der de kinematiske målingene ga koordinater for hvert sekund og dermed gjorde databehandlingen til en utfordring er det trivielt å håndtere ved statiske målinger. For de statiske data er det også meget godt bestemte koordinater for punktet som skal undersøkes.

5.3.1 Kartverket

Målingene fra Kartverket var 24 timer med data fra GPS og GLONASS målt på taket av operahuset i Oslo. Området mottakeren står i er åpen og har lite objekter i området rundt som kan skjerme for satellitter. Med en datarate på 1 Hz og observasjoner av C1,P1,P2,C2,L1,L2,S1,S2 og D1 er størrelsen på filene så store at de en del av observasjonene måtte fjernes. Også her var det bare C1,C2,L1,L2 og P1 fra GPS som ble beholdt. Med hatanaka og UNIX kompresjon ble filstørrelsen redusert fra 273 mb til litt over 6 mb for 24 timers data.

Tabell 5.5: Hvordan de statiske dataene fra Kartverket ble inndelt. Tre av tjenestene håndterer ikke målinger under en time.

| | Csrs | Apps | Gaps | MagicGNSS | Terrapos | Scout | Auspos |
|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|--------|
| 24 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 12 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 1 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 30 min | x | x | x | x | x | | |
| 15 min | x | x | x | x | x | | |
| 10 min | x | x | x | x | x | | |
| 5 min | x | x | x | x | x | | |

5.3.2 En-frekvente data fra Kartverket

Det ble også gjennomført en test av hvilke tjenester som kunne prosessere en-frekvente data.

Tabell 5.6: Hvordan de en-frekvente statiske dataene fra Kartverket ble inndelt og sendt til de ulike tjenestene.

| | Csrs | Apps | Gaps | MagicGNSS | Terrapos | Scout | Auspos |
|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|--------|
| 24 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 12 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 1 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 30 min | x | x | x | x | x | | |
| 15 min | x | x | x | x | x | | |
| 10 min | x | x | x | x | x | | |
| 5 min | x | x | x | x | x | | |

5.4 Kommentar til forsøksdesign

For at forsøket som gjennomføres skal være mest mulig troverdig er det viktig at datasettet som ligger til grunnlag for analysen er stort nok og har god kvalitet til det formålet det skal benyttes til. Samtidig må omfanget begrenses da arbeidsmengden fort blir stor om mengden data som skal undersøkes blir for stor. I denne oppgaven ble det undersøkt tre forskjellige datasett som ble delt opp i måleserier med synkende måletid fra 24 timer til 5 minutter. Siden alle beregningene fra de forskjellige stammer fra de samme observasjonsfilene kan resultatene bli påvirket av lokale situasjoner som kan slå positivt eller negativt ut. Om ett 24 timers datasett hadde blitt delt opp i 5 minutters intervaller fra start til slutt og gjennomsnittlig avvik ble beregnet ville sannsynligvis resultatet ligget mye nærmere det reelle nøyaktighetspotensialet. Men siden dette skaper for mye arbeid ble ikke det prioritert da hovedformålet med oppgaven var å se på forskjellen av de ulike tjenestene.

Kapittel 6

Resultat

6.1 Fullstendighet

Hvis en skal benytte seg av en online prosesseringstjeneste som ett alternativ til annen programvare for etterprosessering må tjenestene takkle det meste av data som GNSS-brukere vil kunne ønske å prosessere. Hvilke tjenester som genererer resultat for de ulike observasjonsfilene gir ett godt svar på hvor robuste tjenestene er. Dette kommer fram i tabell 6.1 6.2, 6.3, 6.4 og 6.5.

Det er som tidligere omtalt bare de fem tjenestene i tabell 6.2 og 6.3 som kan prosessere kinematiske data. For de statiske dataene er alle tjeneste med, men det bør bemerkes at Scout og Auspos krever minimum en time med sammenhengende måledata for å kunne generere resultater.

For de kinematiske dataene fra Blom i tabell 6.2 er det tre tjenester som skiller seg ut. Magicgnss, Terrapos og Csrns greier å generere resultater for alle måleseriene. Gaps kunne ikke generere noe resultat i det hele tatt, mens Apps også var ganske mangelfull. Det som kjennetegner dette datasettet er målinger under noe krevende forhold og viser hvordan dette slår ut på fullstendigheten til de forskjellige tjenestene.

De kinematiske dataene fra Sjøkartverket var langt snillere da sjøkartleging gir bedre observasjonsforhold i form av lav fart og få obstruksjoner. Av tabell 6.3 kommer Gaps og Apps langt bedre ut en for datasettene fra Blom.

Her er det bare målingen fra Apps på 5 minutter og 15 minutter fra Gaps samt settene på 12 og 24 timer som ikke blir generert. En kuriositet her er at Apps faktisk produserer resultatfil for 12 og 24 timer også, men resultatfilen inneholder bare 9 timer 44 minutter og 52 sekunder i begge tilfellene. Magicgnss, Terrapos og Csrs har som for dataene fra Blom ikke problemer med å prosessere resultatene for alle datasettene.

Prosesseringen av de statiske dataene i tabell 6.4 var omtrent som forventet. Magicgnss ga ikke noe resultat på det 5 minutter lange settet. Scout kunne ikke generere noe resultat for måleserien på en time. Apps og Gaps har som i de tidligere datasettene problemer med de aller korteste datasettene. En annen ting som er verdt å legge merke til er at Apps her greier å generere resultater for 12 og 24 timer, men resultatene er identiske for 2-12 timer.

De en-frekvente dataene fra kartverket i tabell 6.5 var det bare Terrapos og Csrs som kunne prosessere. Det bør nevnes at Csrs kun benytter seg av C1 observasjonene når kun en-frekvente data er tilgjengelige [Natural Resources Canada, 2004].

Tabell 6.1: Hvilke av tjenestene som kunne generere resultater for de statiske dataene prosessert som kinematiske data.

| Tid | Csrs | Terrapos | MagicGNSS | Gaps |
|----------|------|----------|-----------|------|
| 5 min | x | x | x | x |
| 10 min | x | x | x | x |
| 15 min | x | x | x | x |
| 30 min | x | x | x | x |
| 1 time | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x |
| 12 timer | x | x | x | x |
| 24 timer | x | x | x | |

Tabell 6.2: Hvilke resultater som ble generert av de kinematiske dataene fra Blom.

| | Apps | Csrs | Terrapos | Magic | Gaps |
|---------|------|------|----------|-------|------|
| 5 min | | x | x | x | |
| 10 min | x | x | x | x | |
| 15 min | x | x | x | x | |
| 30 min | x | x | x | x | |
| 1 time | x | x | x | x | |
| 2 timer | | x | x | x | |
| 3 timer | | x | x | x | |
| 6 timer | | x | x | x | |
| 7 timer | | x | x | x | |

Tabell 6.3: Hvilke resultater som ble generert av de kinematiske dataene fra Sjøkartverket.

| | Apps | Csrs | Terrapos | Magic | Gaps |
|----------|------|------|----------|-------|------|
| 5 min | | x | x | x | x |
| 10 min | x | x | x | x | x |
| 15 min | x | x | x | x | |
| 30 min | x | x | x | x | x |
| 1 time | x | x | x | x | x |
| 2 timer | x | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x | x |
| 12 timer | | x | x | x | |
| 24 Timer | | x | x | x | |

Tabell 6.4: Hvilke resultater som ble generert av de statistiske dataene fra Kartverket. Scout og Auspos krever minimum en times sammenhengende målinger.

| | Apps | Csrs | Terrapos | Magic | Gaps | Scout | Auspos |
|----------|------|------|----------|-------|------|-------|--------|
| 5 min | | x | x | | | - | - |
| 10 min | x | x | x | x | | - | - |
| 15 min | x | x | x | x | x | - | - |
| 30 min | x | x | x | x | x | - | - |
| 1 time | x | x | x | x | x | | x |
| 2 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 3 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 6 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 12 timer | x | x | x | x | x | x | x |
| 24 Timer | x | x | x | x | x | x | x |

Tabell 6.5: Det er bare Terrapos og Csrs som kan prosessere en-frekvente data.

| | Csrs | Terrapos |
|----------|------|----------|
| 5 min | x | x |
| 10 min | x | x |
| 15 min | x | x |
| 30 min | x | x |
| 1 time | x | x |
| 2 timer | x | x |
| 3 timer | x | x |
| 6 timer | x | x |
| 12 timer | x | x |
| 24 Timer | x | x |

| | | | |
|--|---|--------------------------------------|---|
| Receiver type : E_GGD_2 Detected as a non Cross-correlation receiver Antenna Calibration : unknown Antenna type not recognized! Marker to Antenna Reference Point (ARP): 0.000 m ARP to Antenna Phase Center: 0.000 m | Elevation Cut-Off 10.000 degrees | Rejected Epochs 0.00 % | Observation & Estimation Steps 1.00 sec / 1.00 sec |
| | Antenna Model NOV702GG | APC to ARP L1= 0.057 m L2=0.066 m | ARP to Marker 0.000 m |
| | (APC = antenna phase center, ARP = antenna reference point) | | |

(a) Fra rapport fra Gaps.

(b) Fra rapport fra CsrS.

Figur 6.1: Antennenavnet blir hentet ut fra RINEX-headeren og observasjonene blir påført korreksjoner. Dette fungerte ikke med Gaps.

6.1.1 Håndtering av antenne

Som nevnt i kapittel 5 ble antennenavn puttet inn i headeren på RINEX-fila. Resultatene fra Gaps viste at antennen ikke ble gjenkjent. Dette fører da til at det ikke blir korrigert for APC, se kapittel 3.1.6. Da de andre tjenestene kjente igjen antennen er det vanskelig å si hvorfor Gaps ikke gjorde det, se figur 6.1.

6.2 Presisjon

6.2.1 Kinematiske data fra Kartverket

Da det ikke var tilgjengelig noen gode referansekoordinater for de kinematiske målingene fra Sjøkartverket og Blom, var det interessant å se på ett datasett der referansekoordinatene foreligger. Derfor ble de statiske dataene som ble levert fra kartverket prosessert som kinematiske data. Formålet er da å se hvor mye resultatene fra de ulike tjenestene avviker fra de gitte koordinatene og på den måten få ett inntrykk av hvilken nøyaktighet som kan forventes av de forskjellige tjenestene. Tidligere undersøkelser viser forskjell mellom gitte og beregnede koordinater på omlag 1-3 cm i grunnriss og 3-4 cm i høyde for kinematiske måleserier på 24 timer [Ovstedal et al., 2006, Mireault et al., 2008].

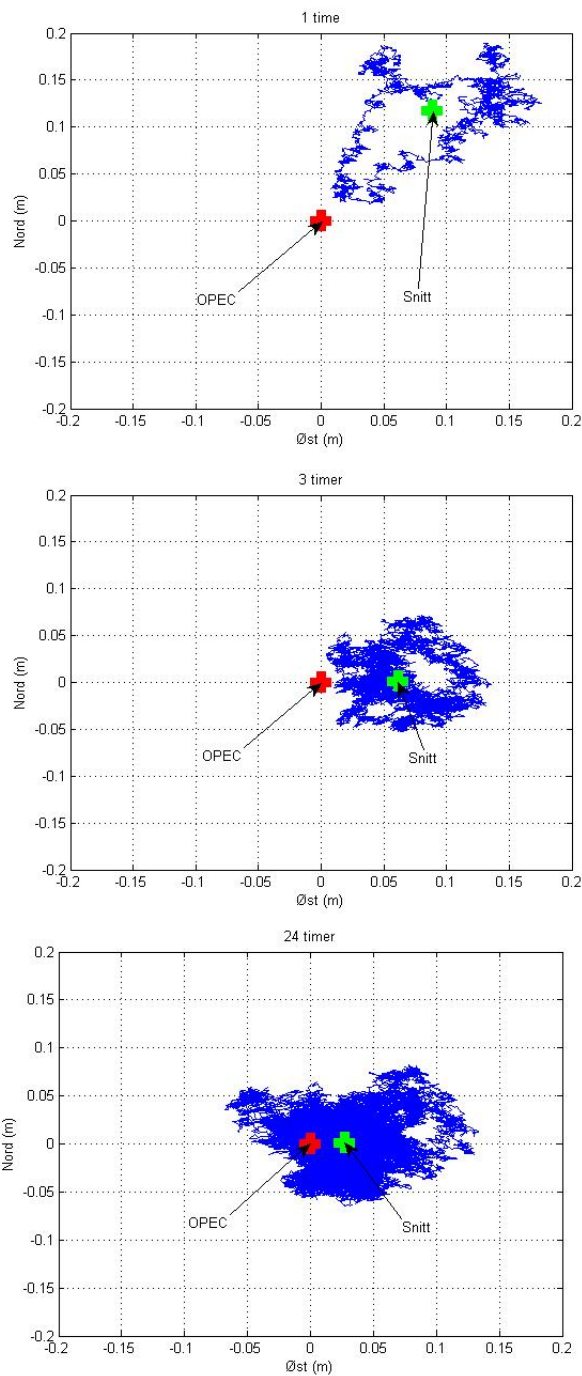
Apps prosesserte ikke noen resultater for disse dataene, mens Gaps hadde problemer med de to lengste måleseriene. Etter seks timer med måledata var RMS-verdiene i grunnriss nede i cm-nivå, mens rms i høyde var 25 cm for Gaps. Terrapos brukte to timer for å komme ned på cm nivå i grunnriss og høyde, mens Csrs og MagicGNSS var på cm nivå etter tre timer. For de lengste måleseriene var avvikene for Terrapos og Csrs på 1-3 cm i grunnriss og ca 5 cm i høyde. Av figur 6.2 ser man også hvordan økt måletid gjør at spredningen samler seg rundt det gitte punktet. Dette er i tråd med det som forventes.

Tabell 6.6: De statistiske målingene fra Kartverket sin referansestasjon i Oslo prosessert som kinematiske data. *Gaps ikke påført korreksjoner for APC, se kapittel 3.1.6.

| Csrs | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | -0,521 | -0,263 | 0,633 | 0,521 | 0,263 | 0,633 | 0,572 | 0,298 | 0,732 | 99% |
| 10m | -0,402 | 0,017 | 0,562 | 0,402 | 0,017 | 0,562 | 0,438 | 0,031 | 0,671 | 98% |
| 15m | -0,350 | 0,065 | 0,565 | 0,350 | 0,065 | 0,565 | 0,393 | 0,088 | 0,678 | 99% |
| 30m | 0,005 | -0,104 | 0,305 | 0,040 | 0,104 | 0,305 | 0,086 | 0,187 | 0,460 | 99% |
| 1t | 0,089 | 0,117 | 0,009 | 0,089 | 0,117 | 0,108 | 0,131 | 0,166 | 0,247 | 100% |
| 2t | 0,071 | 0,037 | -0,107 | 0,071 | 0,041 | 0,129 | 0,092 | 0,091 | 0,283 | 100% |
| 3t | 0,061 | 0,001 | -0,074 | 0,061 | 0,022 | 0,092 | 0,090 | 0,053 | 0,158 | 100% |
| 6t | 0,042 | -0,028 | -0,052 | 0,044 | 0,043 | 0,075 | 0,074 | 0,079 | 0,146 | 100% |
| 12t | 0,033 | -0,006 | -0,022 | 0,034 | 0,022 | 0,065 | 0,065 | 0,058 | 0,154 | 100% |
| 24t | 0,027 | 0,001 | -0,007 | 0,030 | 0,017 | 0,046 | 0,052 | 0,050 | 0,114 | 100% |
| Gaps* | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | 0,467 | -0,042 | 1,516 | 0,678 | 0,230 | 1,709 | 1,170 | 0,507 | 3,542 | 96% |
| 10m | 0,051 | -0,248 | 0,999 | 0,509 | 0,340 | 1,094 | 1,075 | 0,811 | 3,517 | 98% |
| 15m | -0,174 | -0,123 | 0,825 | 0,545 | 0,270 | 0,888 | 0,996 | 0,786 | 3,451 | 99% |
| 30m | -0,156 | -0,046 | 0,615 | 0,346 | 0,188 | 0,646 | 0,882 | 0,662 | 2,562 | 99% |
| 1t | 0,020 | 0,092 | 0,215 | 0,271 | 0,208 | 0,427 | 0,791 | 0,409 | 1,106 | 100% |
| 2t | 0,069 | 0,105 | -0,126 | 0,195 | 0,164 | 0,447 | 0,672 | 0,381 | 0,745 | 100% |
| 3t | 0,066 | 0,065 | -0,168 | 0,151 | 0,117 | 0,381 | 0,514 | 0,337 | 0,680 | 100% |
| 6t | 0,028 | 0,030 | -0,133 | 0,097 | 0,073 | 0,250 | 0,333 | 0,282 | 0,616 | 100% |

Tabell 6.7: Fortsettelse fra tabell 6.7. Terrapos ville i dette tilfellet kun eksportere data med 2 sekunders mellomrom som kan sees av antallet i tabellen.

| MagicGNSS | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | 0,086 | 0,026 | 0,368 | 0,086 | 0,026 | 0,368 | 0,078 | 0,023 | 0,401 | 60% |
| 10m | 0,027 | 0,051 | 0,354 | 0,027 | 0,051 | 0,354 | 0,025 | 0,057 | 0,398 | 85% |
| 15m | -0,061 | 0,150 | 0,695 | 0,061 | 0,150 | 0,695 | 0,101 | 0,157 | 0,761 | 90% |
| 30m | 0,061 | 0,089 | 0,513 | 0,061 | 0,089 | 0,513 | 0,065 | 0,098 | 0,572 | 93% |
| 1t | 0,158 | 0,231 | -0,055 | 0,158 | 0,231 | 0,085 | 0,158 | 0,241 | 0,219 | 97% |
| 2t | 0,103 | 0,132 | -0,075 | 0,103 | 0,132 | 0,098 | 0,111 | 0,150 | 0,179 | 98% |
| 3t | 0,072 | 0,065 | -0,035 | 0,072 | 0,065 | 0,046 | 0,077 | 0,090 | 0,095 | 99% |
| 6t | 0,037 | 0,017 | 0,041 | 0,042 | 0,025 | 0,076 | 0,069 | 0,052 | 0,226 | 99% |
| 12t | 0,030 | 0,013 | 0,096 | 0,033 | 0,021 | 0,108 | 0,058 | 0,048 | 0,227 | 100% |
| 24t | 0,039 | -0,006 | 0,076 | 0,040 | 0,026 | 0,100 | 0,065 | 0,074 | 0,227 | 100% |
| Terrapos | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | -0,400 | -0,466 | 0,750 | 0,448 | 0,466 | 0,764 | 0,464 | 0,497 | 0,803 | 97% |
| 10m | -0,369 | 0,195 | 0,497 | 0,393 | 0,195 | 0,501 | 0,420 | 0,207 | 0,530 | 98% |
| 15m | -0,406 | 0,199 | 0,628 | 0,422 | 0,200 | 0,629 | 0,451 | 0,213 | 0,669 | 99% |
| 30m | -0,062 | -0,115 | 0,412 | 0,070 | 0,115 | 0,413 | 0,098 | 0,135 | 0,504 | 99% |
| 1t | 0,106 | 0,114 | -0,051 | 0,106 | 0,114 | 0,060 | 0,098 | 0,124 | 0,162 | 100% |
| 2t | 0,050 | 0,018 | -0,080 | 0,050 | 0,023 | 0,086 | 0,053 | 0,035 | 0,157 | 100% |
| 3t | 0,029 | -0,023 | -0,019 | 0,030 | 0,023 | 0,040 | 0,035 | 0,052 | 0,080 | 100% |
| 6t | 0,029 | -0,019 | -0,023 | 0,030 | 0,023 | 0,052 | 0,035 | 0,055 | 0,108 | 100% |
| 12t | 0,018 | -0,011 | 0,009 | 0,022 | 0,017 | 0,052 | 0,035 | 0,050 | 0,121 | 100% |
| 24t | 0,021 | -0,004 | 0,009 | 0,023 | 0,014 | 0,047 | 0,035 | 0,044 | 0,106 | 100% |



Figur 6.2: Hvordan de kinematiske genererte koordinatene sprer seg rundt det gitte punktet OPEC for måleseriene på 1,3 og 24 timer. Prosessert med Csr, det røde krysset representerer gitte koordinater for punktet OPEC, mens det grønne er gjennomsnittet i grunnriss. Etterhvert som måletiden øker nærmer snittet (grønt kryss) seg punktet OPEC (rødt kryss).

6.2.2 Kinematiske data fra Sjøkartverket

For de kinematiske dataene fra Sjøkartverket hadde jeg ikke tilgang på referansekoordinater. Derfor ble det laget ett sett med koordinater som beskrevet i kapittel 5.2. Koordinatene fra Terrapos, MagicGNSS og Csrs ble brukt til å beregne ett vektet middel av de tre koordinatsettene. Det er da naturlig å tro at disse tjenestene sine resultater vil passe bedre med løsningen enn Gaps og Apps sine resultater. Det resultatene sier er hvor godt de ulike tjenestene stemmer overens med den beregnede løsningen. Undersøkelsen av de kinematiske dataene fra kartverket som ble presentert tidligere viser hvilken nøyaktighet som kan oppnås, mens dette datasettet viser hvordan de ulike tjenestene stemmer overens med løsningen.

Resultatene er presentert i tabell 6.8 og 6.9.

Etter bare en time ligger RMS-verdiene i grunnriss på mm-cm nivå for Csrs, MagicGNSS og Terrapos. I høyde ligger Csrs og Terrapos på 3-5 cm, mens MagicGNSS er rundt en dm. Som beskrevet i avsnittet over er resultatene fra Apps og Gaps som forventet litt dårligere. Etter måleserien på tolv timer, som er den lengste måletiden Apps kunne prosessere, er RMS-verdiene på ca en dm i grunnriss og høyde. Gaps er under en dm i grunnriss og tre dm i høydekomponenten.

Tabell 6.8: Differanse mellom beregnet løsning og koordinater beregnet med de ulike tjenestene for målingene fra Sjøkartverket.

| Csrs | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | -0,060 | 0,006 | -0,047 | 0,060 | 0,006 | 0,047 | -0,044 | 0,016 | 0,010 | 70% |
| 10m | -0,079 | -0,073 | -0,071 | 0,079 | 0,073 | 0,083 | -0,056 | -0,056 | 0,087 | 88% |
| 15m | -0,098 | 0,045 | -0,042 | 0,098 | 0,045 | 0,050 | -0,081 | 0,059 | 0,036 | 98% |
| 30m | -0,043 | 0,044 | -0,016 | 0,043 | 0,044 | 0,025 | -0,023 | 0,057 | 0,030 | 99% |
| 1t | -0,002 | -0,003 | -0,044 | 0,008 | 0,009 | 0,045 | 0,015 | 0,013 | -0,001 | 97% |
| 2t | -0,011 | -0,009 | -0,041 | 0,012 | 0,011 | 0,043 | 0,006 | 0,006 | 0,009 | 99% |
| 3t | -0,003 | 0,007 | -0,047 | 0,007 | 0,009 | 0,049 | 0,010 | 0,019 | 0,002 | 100% |
| 6t | 0,002 | 0,010 | -0,047 | 0,007 | 0,011 | 0,049 | 0,016 | 0,030 | 0,003 | 100% |
| 12t | -0,001 | 0,005 | -0,038 | 0,008 | 0,006 | 0,043 | 0,014 | 0,014 | 0,018 | 100% |
| 24t | -0,001 | -0,002 | -0,021 | 0,011 | 0,008 | 0,036 | 0,020 | 0,010 | 0,046 | 100% |
| MagicGNSS | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | -0,385 | -0,244 | 0,112 | 0,385 | 0,244 | 0,112 | -0,376 | -0,240 | 0,167 | 70% |
| 10m | -0,142 | -0,139 | -0,025 | 0,142 | 0,139 | 0,028 | -0,142 | -0,139 | -0,025 | 85% |
| 15m | -0,038 | 0,031 | 0,052 | 0,038 | 0,031 | 0,052 | -0,025 | 0,047 | 0,113 | 90% |
| 30m | -0,090 | 0,188 | 0,129 | 0,090 | 0,188 | 0,129 | -0,076 | 0,200 | 0,232 | 95% |
| 1t | -0,015 | 0,033 | 0,107 | 0,015 | 0,033 | 0,107 | -0,007 | 0,039 | 0,154 | 97% |
| 2t | 0,001 | 0,002 | 0,105 | 0,004 | 0,003 | 0,105 | 0,011 | 0,007 | 0,162 | 98% |
| 3t | 0,005 | -0,001 | 0,100 | 0,005 | 0,004 | 0,100 | 0,014 | 0,007 | 0,154 | 99% |
| 6t | 0,001 | 0,000 | 0,113 | 0,004 | 0,005 | 0,113 | 0,010 | 0,008 | 0,182 | 99% |
| 12t | 0,007 | -0,009 | 0,076 | 0,009 | 0,011 | 0,080 | 0,029 | 0,006 | 0,151 | 99% |
| 24t | 0,012 | 0,006 | 0,051 | 0,016 | 0,014 | 0,068 | 0,042 | 0,037 | 0,145 | 100% |

Tabell 6.9: Fortsettelse fra tabell 6.8. *Gaps ikke påført korreksjoner for APC, se kapittel 3.1.6.

| Terrapos | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | 0,118 | 0,035 | -0,042 | 0,118 | 0,035 | 0,042 | 0,125 | 0,041 | -0,014 | 70% |
| 10m | -0,032 | -0,101 | 0,042 | 0,032 | 0,101 | 0,042 | -0,025 | -0,095 | 0,079 | 88% |
| 15m | -0,019 | -0,060 | 0,025 | 0,052 | 0,019 | 0,026 | -0,045 | 0,025 | 0,004 | 98% |
| 30m | 0,032 | -0,063 | -0,064 | 0,032 | 0,063 | 0,064 | 0,039 | -0,052 | -0,041 | 99% |
| 1t | 0,015 | -0,022 | -0,041 | 0,015 | 0,022 | 0,041 | 0,020 | -0,016 | -0,016 | 97% |
| 2t | 0,007 | -0,011 | -0,020 | 0,010 | 0,012 | 0,036 | -0,001 | -0,006 | -0,001 | 99% |
| 3t | -0,003 | -0,007 | -0,041 | 0,004 | 0,007 | 0,042 | 0,004 | -0,002 | -0,011 | 100% |
| 6t | -0,001 | -0,003 | -0,038 | 0,003 | 0,004 | 0,038 | 0,006 | 0,003 | -0,003 | 100% |
| 12t | -0,005 | 0,004 | -0,027 | 0,007 | 0,006 | 0,031 | 0,006 | 0,014 | 0,015 | 100% |
| 24t | -0,008 | -0,002 | -0,017 | 0,010 | 0,008 | 0,024 | 0,005 | 0,013 | 0,018 | 100% |
| Apps | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | | | | | | | | | | |
| 10m | -0,048 | 0,042 | -0,517 | 0,048 | 0,042 | 0,517 | -0,039 | 0,055 | -0,460 | 85% |
| 15m | -0,122 | 0,111 | -0,249 | 0,122 | 0,111 | 0,249 | -0,108 | 0,129 | -0,197 | 90% |
| 30m | -0,213 | 0,170 | -0,060 | 0,213 | 0,170 | 0,065 | -0,190 | 0,200 | 0,051 | 95% |
| 1t | -0,036 | -0,050 | -0,098 | 0,036 | 0,050 | 0,098 | -0,019 | -0,040 | -0,057 | 97% |
| 2t | -0,121 | -0,138 | 0,009 | 0,121 | 0,138 | 0,180 | -0,082 | -0,015 | 0,358 | 98% |
| 3t | -0,140 | -0,015 | 0,024 | 0,140 | 0,093 | 0,084 | -0,118 | 0,154 | 0,214 | 99% |
| 6t | -0,017 | -0,021 | -0,157 | 0,035 | 0,027 | 0,160 | 0,057 | 0,020 | 0,009 | 99% |
| 12t | -0,096 | 0,106 | -0,002 | 0,096 | 0,120 | 0,139 | -0,049 | 0,273 | 0,247 | 81% |
| Gaps* | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | -0,828 | 0,118 | -6,260 | 0,831 | 0,331 | 6,260 | 0,060 | 0,688 | -2,566 | 74% |
| 10m | -0,287 | 0,340 | -3,560 | 0,419 | 0,430 | 3,654 | 0,257 | 0,726 | 0,576 | 87% |
| 15m | | | | | | | | | | |
| 30m | -0,107 | 0,006 | -0,914 | 0,213 | 0,253 | 1,296 | 0,281 | 0,726 | 0,686 | 96% |
| 1t | -0,122 | 0,048 | -0,454 | 0,174 | 0,181 | 0,677 | 0,254 | 0,670 | 0,561 | 98% |
| 2t | -0,073 | 0,045 | -0,272 | 0,106 | 0,111 | 0,394 | 0,146 | 0,430 | 0,408 | 99% |
| 3t | -0,054 | 0,048 | -0,229 | 0,078 | 0,092 | 0,311 | 0,090 | 0,303 | 0,310 | 99% |
| 6t | -0,017 | 0,026 | -0,211 | 0,052 | 0,058 | 0,252 | 0,078 | 0,145 | 0,197 | 99% |



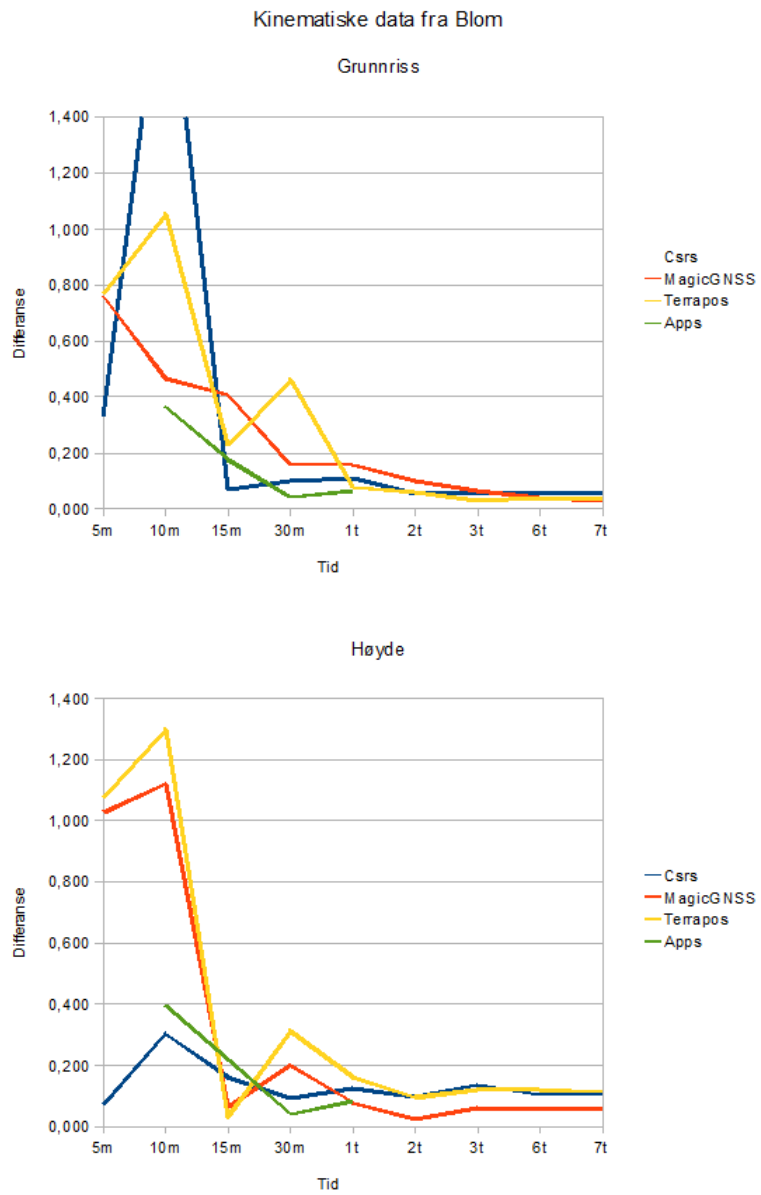
Figur 6.3: Grafisk fremstilling av tabell 6.8 og 6.9. Apps og Gaps mangler noen av måleseriene og gir ikke like gode resultater som de tre andre tjenestene.

6.2.3 Kinematiske data fra Blom

På samme måte som i forrige undersøkelse av de kinematiske dataene fra Sjøkartverket er koordinatene som ligger til grunn for sammenligningen beregnet som ett vektet middel av de lengste måleseriene fra Terrapos, Csrts og MagicGNSS. Resultatene blir presentert i tabell 6.10 og 6.11. I motsetning til dataene fra Sjøkartverket som skulle representere en ideell målesituasjon for kinematiske data skulle dette gi datasettet gi data som var målt under mer utfordrende forhold. Dette er forventet å gjenspeile seg i resultatene med større spredning enn det som ble funnet i resultatene fra Sjøkartverket.

Terrapos har RMS-verdier på en dm i grunnriss etter en times måledata og ned mot 2-3 cm for de lengste måleseriene. I høyde kommer RMS-verdien ikke noe særlig under en dm for alle måleseriene. Csrts og MagicGNSS kommer under en dm i grunnriss etter to timer. For de lengste måleseriene har Csrts en RMS-verdi på 4-5 cm i grunnriss og ca en dm i høyde. MagicGNSS er faktisk den tjenesten som stemmer best overens med løsningen på de lengste måleseriene. Med en RMS-verdi på 1-3 cm i grunnriss og 5,6 cm i høyde ligger den en del lavere enn de to andre tjenestene.

Apps genererte bare resultater for fire av måleseriene. Resultatene er gode med RMS-verdier i grunnriss og høyde under en dm etter bare 30 minutter. Men da avvikene er det dobbelte i øst- og høydekomponenten for måleserien på en time og det ikke foreligger noen flere resultater for Apps er det vanskelig å si om resultatene virkelig er like gode for måleseriene som mangler.



Figur 6.4: Grafisk fremstilling av tabell 6.10 og 6.11. Etter hvert som lengden på måleseriene øker blir presisjonen bedre.

Tabell 6.10: Kinematiske data fra Blom

| Csrs | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | 0,177 | -0,274 | 0,036 | 0,177 | 0,274 | 0,071 | -0,347 | -0,672 | -1,035 | 72% |
| 10m | 1,351 | 1,510 | -0,304 | 1,351 | 1,510 | 0,304 | 1,098 | -0,063 | -1,255 | 86% |
| 15m | 0,036 | -0,051 | -0,161 | 0,044 | 0,054 | 0,161 | -0,177 | 0,146 | 0,087 | 91% |
| 30m | -0,034 | 0,094 | -0,090 | 0,036 | 0,094 | 0,091 | -0,212 | 0,426 | 0,384 | 95% |
| 1t | -0,028 | 0,104 | -0,123 | 0,030 | 0,104 | 0,124 | -0,006 | 0,082 | -0,097 | 98% |
| 2t | -0,005 | 0,052 | -0,090 | 0,016 | 0,052 | 0,097 | -0,021 | 0,064 | -0,021 | 99% |
| 3t | -0,009 | 0,041 | -0,132 | 0,034 | 0,044 | 0,135 | 0,017 | 0,040 | -0,047 | 99% |
| 6t | -0,036 | 0,030 | -0,044 | 0,045 | 0,037 | 0,104 | 0,031 | 0,068 | 0,015 | 99% |
| 7t | -0,027 | 0,040 | -0,071 | 0,036 | 0,045 | 0,108 | 0,034 | 0,052 | 0,013 | 100% |
| MagicGNSS | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | 0,625 | -0,431 | 1,029 | 0,625 | 0,431 | 1,029 | 0,644 | -0,423 | 1,038 | 42% |
| 10m | 0,427 | -0,180 | 1,121 | 0,427 | 0,180 | 1,121 | 0,478 | -0,133 | 1,157 | 71% |
| 15m | 0,341 | -0,220 | 0,065 | 0,341 | 0,220 | 0,065 | 0,361 | -0,206 | 0,115 | 81% |
| 30m | 0,146 | 0,063 | 0,200 | 0,146 | 0,063 | 0,200 | 0,158 | 0,068 | 0,241 | 90% |
| 1t | 0,129 | 0,089 | -0,077 | 0,129 | 0,089 | 0,078 | 0,144 | 0,109 | -0,026 | 95% |
| 2t | 0,024 | 0,098 | 0,011 | 0,024 | 0,097 | 0,024 | 0,037 | 0,104 | 0,059 | 98% |
| 3t | 0,057 | 0,031 | 0,057 | 0,057 | 0,031 | 0,059 | 0,214 | 0,043 | 0,166 | 98% |
| 6t | 0,029 | -0,008 | 0,025 | 0,037 | 0,011 | 0,056 | 0,108 | 0,007 | 0,104 | 99% |
| 7t | 0,022 | -0,008 | 0,047 | 0,029 | 0,010 | 0,056 | 0,097 | 0,006 | 0,113 | 100% |

Tabell 6.11: Fortsettelse fra tabell 6.10

| Terrapos | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 5m | -0,361 | -0,678 | -1,074 | 0,361 | 0,678 | 1,074 | -0,347 | -0,672 | -1,036 | 71% |
| 10m | 1,044 | -0,135 | -1,297 | 1,044 | 0,135 | 1,297 | 1,097 | -0,063 | -1,255 | 86% |
| 15m | -0,190 | 0,133 | 0,009 | 0,190 | 0,133 | 0,030 | -0,177 | 0,145 | 0,087 | 90% |
| 30m | -0,232 | 0,397 | 0,314 | 0,232 | 0,397 | 0,314 | -0,212 | 0,426 | 0,384 | 95% |
| 1t | -0,026 | 0,073 | -0,160 | 0,026 | 0,073 | 0,160 | -0,006 | 0,082 | -0,097 | 98% |
| 2t | -0,042 | 0,045 | -0,094 | 0,042 | 0,045 | 0,094 | -0,021 | 0,064 | -0,021 | 99% |
| 3t | -0,023 | 0,007 | -0,121 | 0,029 | 0,010 | 0,121 | 0,017 | 0,040 | -0,047 | 99% |
| 6t | -0,013 | 0,023 | -0,115 | 0,026 | 0,028 | 0,120 | 0,031 | 0,068 | 0,015 | 99% |
| 7t | -0,011 | 0,016 | -0,108 | 0,025 | 0,023 | 0,113 | 0,034 | 0,052 | 0,013 | 100% |
| Apps | | | | | | | | | | |
| | Snitt | | | RMS | | | 95 % intervall | | | % av Obs |
| Tid | N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H | |
| 10m | 0,177 | -0,320 | -0,397 | 0,177 | 0,320 | 0,397 | 0,197 | -0,285 | -0,340 | 86% |
| 15m | 0,155 | -0,083 | -0,220 | 0,155 | 0,083 | 0,220 | 0,196 | -0,032 | -0,151 | 91% |
| 30m | -0,015 | 0,037 | -0,002 | 0,020 | 0,037 | 0,042 | 0,014 | 0,069 | 0,070 | 95% |
| 1t | 0,015 | -0,063 | -0,084 | 0,021 | 0,063 | 0,086 | 0,051 | -0,031 | 0,002 | 98% |

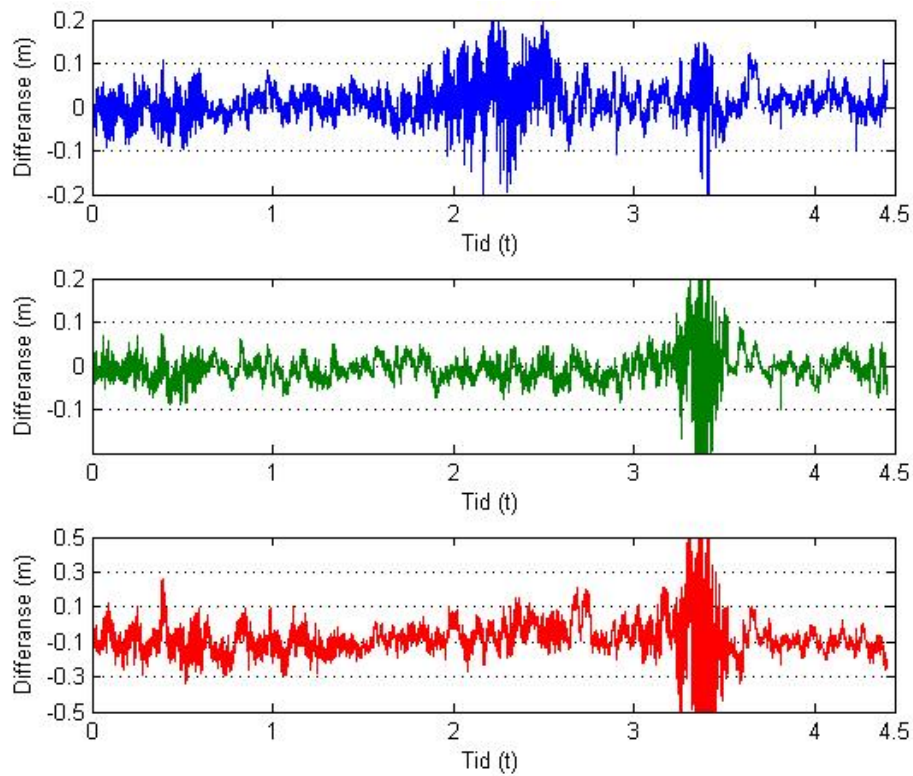
6.2.4 Vektet middel kontra differensiell løsning

Datasettet fra Blom inneholdt observasjoner fra 07:39:35.000 til 15:16:16.000 den 2010-07-17, altså litt over syv timer med data. Løsningen som ble beregnet med LGO hadde fix-løsning fra 08:02:19 til 12:26:22, dvs ca 4.5. Den delen av resultatet med fix ble hentet ut og sammenlignet med samme tidsrom for referansesettet beregnet med PPP.

Av tabell 6.12 kommer det fram at gjennomsnittlig forskjell mellom de to resultatene er på 1.2 cm i nord, -0.6 cm i øst og -8.1 cm i høyde. Figur 6.5 viser hvordan differansen mellom de to løsningene varierer i tid. Stor sett svinger differansen rundt null og Tabellen viser også at 95% (2σ) er bedre en 8.9 cm i nord, 5.8 cm i øst og 22.3 cm i høyde.

Tabell 6.12: Differanse mellom resultatene beregnet med PPP og differensiell måling med LGO.

| Differanse PPP-DD (m) | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Snitt | | | RMS | | | 95% | | |
| N | Ø | H | N | Ø | H | N | Ø | H |
| 0,012 | -0,006 | -0,081 | 0,030 | 0,024 | 0,107 | 0,089 | 0,058 | 0,223 |



Figur 6.5: Differanse mellom vektet middel som ble beregnet fra resultatene fra de ulike tjenestene og den differensielle løsningen beregnet med LGO. Vær oppmerksom på at målestokken for differanse i høyden er mindre enn for grunnriss.

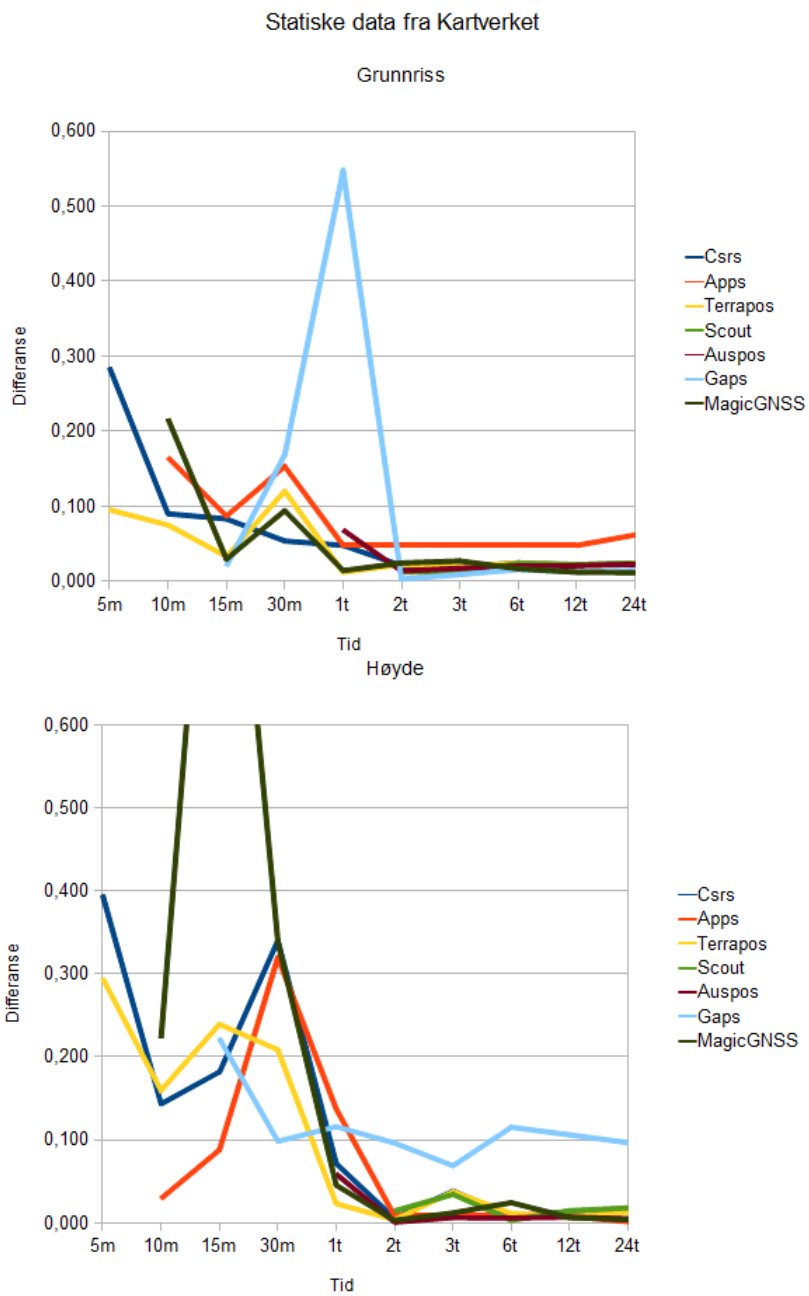
6.3 Nøyaktighet

For å kunne si noe om nøyaktigheten er man avhengig av gode koordinater som ligger til grunn for beregningene. Koordinatene som er brukt som referansekoordinater for de statiske målingene er hentet fra Kartverket og gjort om til ITRF08 som beskrevet i kapittel 5.3. Størrelsene som presenteres i tabellene under er dN , $d\emptyset$, dH , $3d \text{ rms}$, $2d \text{ rms}$, StN , $St\emptyset$ og StH der de fem første er differanse fra beregnede og gitte koordinater, mens standardavvikene er generert og hentet ut fra de forskjellige tjenestene.

6.3.1 Statistiske data fra Kartverket

Målingene fra Kartverket for stasjonen OPEC som står på taket av operaen i Oslo er forventet å være veldig gode da det er få obstruksjoner i området som kan svekke satellittdekningen. Koordinatene er offisielle koordinater fra Kartverket og antas å være veldig gode. I denne undersøkelsen er også de to tjenestene Auspos og Scout som benytter seg av differensiering i tillegg til PPP tatt med. De krever dog måletid på minimum en time. Resultatene presenteres i tabell 6.13 og 6.14.

Som ett grovt overblikk av de ulike tjenestene kommer det fram at de korteste måleseriene på 5 minutter til ett sted mellom 30 minutter og en time gir litt vilkårlige resultater der avvikene kan øke etter hvert som måleseriene blir lengre. Dette skyldes nok en kombinasjon av kodemålingenes lavere nøyaktighet og at de korteste måleseriene tilfeldigvis har meget gode observasjoner som fører til at avvikene med gitte koordinater er små. Om man sammenligner med standardavvikene ser man at de er mye høyere enn avvikene, og standardavvikene er nok også i fler av tilfellene ganske optimistiske. Resultatene for måleseriene fra 30 minutter – 1 time og oppover viser relativt stabile avvik på 1-2 cm i grunnriss og høyde. Unntaket er Gaps som har små avvik i grunnriss, men ligger på dm-nivå i høyde.



Figur 6.6: Grafisk fremstilling av statistiske data fra tabell 6.13 og 6.14. Avvikene mellom gitte og beregnede koordinater for punktet OPEC.

Tabell 6.13: Tabellen viser differansen mellom de statiske målingene fra kartverket sin referansestasjon 'OPEC' prosessert med de ulike tjenestene og gitte koordinater for den samme mottakeren.

| Apps | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|------------|------------|------------|
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 10m | 0,163 | 0,024 | 0,029 | 0,167 | 0,165 | 0,014 | 0,014 | 0,031 |
| 15m | 0,064 | 0,059 | 0,088 | 0,123 | 0,087 | 0,009 | 0,010 | 0,020 |
| 30m | 0,065 | 0,139 | 0,319 | 0,354 | 0,153 | 0,005 | 0,005 | 0,008 |
| 1t | 0,021 | 0,042 | 0,137 | 0,145 | 0,047 | 0,002 | 0,002 | 0,003 |
| 2t | 0,028 | 0,038 | 0,008 | 0,048 | 0,047 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 3t | 0,028 | 0,038 | 0,008 | 0,048 | 0,047 | 0,000 | 0,001 | 0,001 |
| 6t | 0,028 | 0,038 | 0,008 | 0,048 | 0,047 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 12t | 0,028 | 0,038 | 0,008 | 0,048 | 0,047 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 24t | 0,014 | 0,060 | 0,001 | 0,061 | 0,061 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Csrs | | | | | | | | |
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 5m | 0,222 | 0,178 | 0,394 | 0,486 | 0,284 | 1,590 | 1,154 | 2,652 |
| 10m | 0,075 | 0,049 | 0,143 | 0,169 | 0,090 | 0,620 | 0,530 | 1,104 |
| 15m | 0,080 | 0,021 | 0,182 | 0,200 | 0,083 | 0,345 | 0,334 | 0,649 |
| 30m | 0,025 | 0,047 | 0,340 | 0,344 | 0,053 | 0,123 | 0,149 | 0,236 |
| 1t | 0,007 | 0,047 | 0,071 | 0,086 | 0,048 | 0,044 | 0,079 | 0,086 |
| 2t | 0,008 | 0,019 | 0,005 | 0,021 | 0,021 | 0,014 | 0,027 | 0,040 |
| 3t | 0,014 | 0,012 | 0,038 | 0,043 | 0,018 | 0,008 | 0,016 | 0,026 |
| 6t | 0,024 | 0,003 | 0,008 | 0,025 | 0,024 | 0,004 | 0,010 | 0,016 |
| 12t | 0,021 | 0,003 | 0,013 | 0,025 | 0,021 | 0,003 | 0,006 | 0,010 |
| 24t | 0,024 | 0,001 | 0,013 | 0,028 | 0,024 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| Terrapos | | | | | | | | |
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 5m | 0,051 | 0,080 | 0,294 | 0,309 | 0,095 | 0,168 | 0,146 | 0,273 |
| 10m | 0,066 | 0,035 | 0,160 | 0,176 | 0,075 | 0,094 | 0,052 | 0,090 |
| 15m | 0,033 | 0,004 | 0,239 | 0,241 | 0,033 | 0,059 | 0,030 | 0,059 |
| 30m | 0,047 | 0,110 | 0,208 | 0,240 | 0,120 | 0,021 | 0,012 | 0,021 |
| 1t | 0,000 | 0,012 | 0,023 | 0,026 | 0,012 | 0,007 | 0,006 | 0,008 |
| 2t | 0,007 | 0,021 | 0,004 | 0,022 | 0,022 | 0,002 | 0,003 | 0,003 |
| 3t | 0,013 | 0,014 | 0,037 | 0,042 | 0,019 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| 6t | 0,023 | 0,007 | 0,011 | 0,027 | 0,024 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 12t | 0,022 | 0,001 | 0,007 | 0,023 | 0,022 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 24t | 0,023 | 0,000 | 0,013 | 0,027 | 0,023 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |

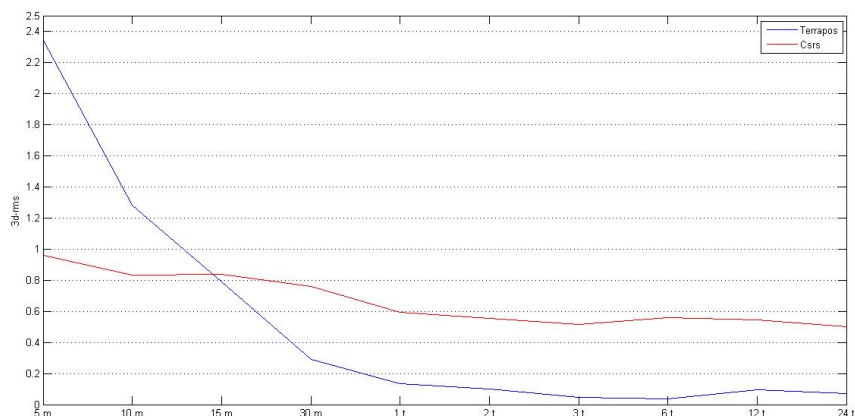
Tabell 6.14: Fortsettelse av tabell 6.13. *Gaps ikke påført korreksjoner for APC, se kapittel 3.1.6.

| Scout | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 2t | 0,007 | 0,010 | 0,014 | 0,019 | 0,012 | 0,0212 | 0,0345 | 0,0648 |
| 3t | 0,010 | 0,004 | 0,034 | 0,036 | 0,011 | 0,0121 | 0,0212 | 0,0466 |
| 6t | 0,023 | 0,004 | 0,003 | 0,024 | 0,024 | 0,0073 | 0,0069 | 0,0331 |
| 12t | 0,022 | 0,000 | 0,014 | 0,026 | 0,022 | 0,005 | 0,005 | 0,023 |
| 24t | 0,023 | 0,001 | 0,018 | 0,029 | 0,023 | 0,0038 | 0,0063 | 0,0168 |
| Auspos | | | | | | | | |
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 1t | 0,012 | 0,067 | 0,059 | 0,090 | 0,068 | 0,017 | 0,019 | 0,019 |
| 2t | 0,009 | 0,010 | 0,001 | 0,013 | 0,013 | 0,001 | 0,002 | 0,005 |
| 3t | 0,017 | 0,001 | 0,006 | 0,018 | 0,017 | 0,001 | 0,002 | 0,004 |
| 6t | 0,017 | 0,011 | 0,006 | 0,021 | 0,020 | 0,001 | 0,001 | 0,003 |
| 12t | 0,018 | 0,011 | 0,007 | 0,022 | 0,021 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| 24t | 0,021 | 0,008 | 0,005 | 0,023 | 0,022 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| Gaps* | | | | | | | | |
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 15m | 0,020 | 0,000 | 0,222 | 0,223 | 0,020 | 0,366 | 0,274 | 0,530 |
| 30m | 0,070 | 0,153 | 0,098 | 0,195 | 0,168 | 0,128 | 0,094 | 0,214 |
| 1t | 0,445 | 0,318 | 0,116 | 0,560 | 0,547 | 0,047 | 0,037 | 0,081 |
| 2t | 0,002 | 0,001 | 0,096 | 0,096 | 0,003 | 0,017 | 0,020 | 0,035 |
| 3t | 0,006 | 0,006 | 0,069 | 0,069 | 0,008 | 0,009 | 0,014 | 0,025 |
| 6t | 0,015 | 0,003 | 0,115 | 0,116 | 0,015 | 0,005 | 0,010 | 0,015 |
| 12t | 0,011 | 0,003 | 0,106 | 0,107 | 0,012 | 0,003 | 0,006 | 0,011 |
| 24t | 0,014 | 0,002 | 0,097 | 0,098 | 0,014 | 0,002 | 0,004 | 0,007 |
| MagicGNSS | | | | | | | | |
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | StN | StØ | StH |
| 10m | 0,193 | 0,023 | 0,223 | 0,296 | 0,216 | x | x | x |
| 15m | 0,049 | 0,008 | 1,090 | 1,091 | 0,029 | x | x | x |
| 30m | 0,091 | 0,072 | 0,339 | 0,358 | 0,094 | x | x | x |
| 1t | 0,018 | 0,024 | 0,045 | 0,054 | 0,014 | x | x | x |
| 2t | 0,014 | 0,013 | 0,003 | 0,020 | 0,024 | x | x | x |
| 3t | 0,017 | 0,017 | 0,012 | 0,027 | 0,027 | x | x | x |
| 6t | 0,024 | 0,006 | 0,024 | 0,035 | 0,016 | x | x | x |
| 12t | 0,024 | 0,001 | 0,006 | 0,025 | 0,012 | x | x | x |
| 24t | 0,021 | 0,001 | 0,004 | 0,021 | 0,011 | x | x | x |

6.3.2 En-frekvente statistiske data fra stasjonen OPEC.

Det var også interessant å se hvilke av de ulike tjenestene som kunne prosessere en-frekvente data. To-frekvente målinger kan danne lineærkombinasjoner som fjerner mye av forsinkelsene fra ionosfæren. Fra dokumentasjonen til CsrS går det fram at ved en-frekvent data blir kun C1 observasjonene benyttet [Natural Resources Canada, 2004].

I tabell 6.15 er resultatene presentert. For måleserien på 5 minutter har Terrapos en 3D-RMS på 2,35 meter og 2D-RMS på 0,94 meter. Etter dette synker RMS-verdiene jevnt ned og etter to timer er de under en dm. CsrS gir RMS-verdier fra en meter for de korteste måleseriene og ned mot 0,5 m i 3D-RMS og 0,2 m i 2D-RMS for de lengste måleseriene.



Figur 6.7: 3d-rms for de en-frekvente dataene. Det kommer tydelig fram hvordan nøyaktigheten blir bedre når faseflertydighetne konvergerer for beregningen fra Terrapos. CsrS benytter seg bare av C1 når det kun er en-frekvente data og greier ikke å oppnå den samme nøyaktigheten.

Tabell 6.15: Tabellen viser differansen mellom gitt og beregnede koordinater fra referansestasjonen 'OPEC'.

| Terrapos | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | Sn | Sø | Sh |
| 5m | -0,657 | -0,668 | -2,153 | 2,348 | 0,937 | 2,1561 | 1,9341 | 3,874 |
| 10m | -0,038 | -0,698 | -1,075 | 1,282 | 0,699 | 1,450 | 1,297 | 2,352 |
| 15m | -0,284 | -0,719 | -0,163 | 0,790 | 0,773 | 1,1293 | 0,9869 | 1,6131 |
| 30m | -0,112 | -0,183 | -0,194 | 0,289 | 0,214 | 0,5902 | 0,5271 | 0,7283 |
| 1t | -0,004 | -0,014 | -0,133 | 0,133 | 0,015 | 0,242 | 0,244 | 0,311 |
| 2t | 0,014 | -0,024 | -0,095 | 0,099 | 0,028 | 0,090 | 0,123 | 0,158 |
| 3t | 0,035 | -0,005 | -0,026 | 0,044 | 0,035 | 0,0494 | 0,0763 | 0,1224 |
| 6t | 0,031 | -0,009 | 0,012 | 0,035 | 0,032 | 0,026 | 0,049 | 0,083 |
| 12t | 0,019 | -0,092 | 0,010 | 0,094 | 0,094 | 0,016 | 0,030 | 0,056 |
| 24t | 0,032 | -0,027 | 0,054 | 0,069 | 0,042 | 0,011 | 0,019 | 0,038 |
| Csrs | | | | | | | | |
| Tid | dN | dØ | dH | 3d rms | 2d rms | Sn | Sø | Sh |
| 5m | -0,838 | -0,173 | 0,439 | 0,962 | 0,856 | 3,34 | 1,868 | 4,262 |
| 10m | -0,737 | -0,115 | 0,372 | 0,833 | 0,746 | 2,336 | 1,302 | 3,011 |
| 15m | -0,771 | -0,081 | 0,314 | 0,836 | 0,775 | 1,911 | 1,058 | 2,485 |
| 30m | -0,689 | -0,037 | 0,320 | 0,760 | 0,690 | 1,316 | 0,743 | 1,79 |
| 1t | -0,515 | -0,004 | 0,296 | 0,594 | 0,515 | 0,894 | 0,53 | 1,344 |
| 2t | -0,505 | 0,117 | 0,191 | 0,552 | 0,518 | 0,657 | 0,39 | 1,051 |
| 3t | -0,473 | 0,188 | 0,090 | 0,517 | 0,509 | 0,508 | 0,323 | 0,831 |
| 6t | -0,404 | 0,206 | -0,328 | 0,560 | 0,453 | 0,337 | 0,227 | 0,591 |
| 12t | -0,198 | 0,051 | -0,506 | 0,546 | 0,204 | 0,222 | 0,162 | 0,405 |
| 24t | -0,193 | -0,006 | -0,463 | 0,502 | 0,193 | 0,16 | 0,113 | 0,282 |

Kapittel 7

Diskusjon

I dette kapitlet vil jeg drøfte resultatet som ble presentert i kapittel 6.

7.1 Fullstendighet

I forsøksdesignet går det fram hvilke observasjonsfiler som ble sendt til hvilke tjenester. Tabellene i kapittel 6.1 viser hvilke av de innsendte filene som genererte resultat. For resultatene som ble beregnet av dataene i kinematisk modus er antall observasjonene som ble beregnet for hver måleserie presentert i tabellene 6.6 til 6.11. En feil i referansesettet med koordinater for dataene fra Sjøkartverket og Blom førte til at observasjonene for de første 90 sekundene i referansesettet ikke er med. Derfor er antallet observasjoner så lavt for de korte måleseriene. På grunn av dette blir antallet observasjoner fra de kinematiske dataene fra Kartverket (6.10 og 6.11) lagt til grunn for omtalene av helheten til datasettene.

Csrs og Terrapos genererte resultater for samtlige av filene som ble sendt inn. Antallet observasjoner ligger også helt oppunder 100%. Det er altså ikke mye å utsette på disse to, det måtte isåfall være at Csrs kun benytter seg av kodeobservasjonene når kun en-frekvent data er tilgjengelig. MagicGNSS var det heller ikke så mye å utsette på med tanke på hvilke observasjonstyper den kunne håndtere. Den genererte ikke noe resultat for måleserien på fem minutter for de statiske dataene fra Kartverket og kunne ikke benytte seg av

en-frekvent data. Resten av beregningene gikk greit. Det som dog skiller seg litt ut var at den bruker ett-to minutter før første posisjon blir beregnet, mens de andre bare bruker noen sekunder. Altså ett datasett med observasjoner for fem minutter gir bare observasjoner for de tre-fire siste minuttene. Fra tabell 6.7 ser vi at dette gir 60% av observasjonene på det korteste datasettet. I realiteten vil dette altså ha en del å si for veldig korte måleserier og det vil ikke foreligge resultat for starten av tidsrommet for målingene.

Auspos og Scout fungerer kun med statisk modus. Begge tjenestene krever også minimum en time med sammenhengende observasjoner for å kunne gjøre sine beregninger. Scout greide som eneste tjeneste ikke å beregne resultat for de statiske dataene fra Kartverket på 1 time. De to tjenestene kunne heller ikke benytte seg av en-frekvente data. Det vil si at bruksområdet for disse to tjenestene er ganske snevert i forhold til de andre.

Apps og Gaps varierte veldig i hvilke data som ble godttatt. Av de statiske dataene fra Kartverket og de kinematiske dataene fra Sjøkartverket ble de fleste datasettene godttatt. Det var bare noen av de lengste og de korteste måleseriene som ikke ga noe resultat. For de statiske dataene fra kartverket som ble prosessert i kinematisk modus genererte Apps ingen resultater. Mens de kinematiske dataene fra Blom genererte Apps resultat for måleseriene fra 10 min til en time, mens Gaps ikke godtok noen av datasettene. Det er vanskelig å si hva grunnen til dette er da flere de tre andre tjenestene genererte resultater. Men disse dataene fra Blom skulle simulere litt røffe observasjoner så det er mulig at disse to tjenestene ikke takler dårlige observasjoner så godt.

7.1.1 Bruk av de ulike tjenestene

Hovedfokus i denne oppgaven var å finne hvilken nøyaktighet og presisjonsmål som kunne oppnås med de forskjellige tjenestene. Som en kuriositet presenteres også litt erfaringer om bruken av tjenestene. Det må nevnes at det ikke har blitt ført noen slags statistikk eller lignende og at dette er min subjektive oppfatning.

Innsending av data var stort sett veldig lett vint for alle tjenestene. Csr, Gaps, Auspos og Apps har input via web som standard. Her velges enkelt

hvilken fil og andre input som skal brukes (cutoff angle, referanseramme osv). Auspos og Apps hadde mulighet for opplasting av henholdsvis 7 og 5 filer av gangen, noe som kan være kjekt hvis mange observasjoner skal prosesseres. Scout og MagicGNSS hadde opplasting via FTP, så lenge man har brukt det før gir det ingen ekstra problemer og er til en stor fordel ved behandling av mange filer. Etter en måneds bruk av MagicGNSS måtte man tegne abonnement eller benytte seg av mail for innsending av filer. Csr's og Apps krevde også at man oppretter en konto for å benytte seg av PPP-tjenesten deres, men det var ingen kostnader knyttet opp til bruken. Brukervennligheten til samtlige av tjenestene er såpass god at enhver med grunnleggende kunnskap om data og målinger med GNSS vil kunne benytte seg av tjenestene uten problemer.

Hvor lang tid det tar fra observasjonsfilene blir sendt inn til resultatet kommer tilbake på mail er i hovedsak avhengig av to faktorer. De to faktorene er hvor lang tid de ulike tjenestene bruker på beregningene og hvor mange andre beregninger som ligger i kø foran dine filer. Hvor lang tid som brukes på å prosessere en fil blir vanskelig å si da det kommer an på datamengden i filen. Her kan det som nevnt over diskuteres om grunnlaget til å uttale seg blir vel tynt det ikke er ført noen skikkelig statistikk over dette, men i løpet av denne undersøkelsen er tjenestene blitt hyppig brukt og bør gi en god pekepinn på reell tidsbruk. Tjenestene Scout og Auspos som ikke kunne prosessere kinematiske data er også bare benyttet til beregningen av de statiske dataene og har derfor ikke blitt brukt like mye som de andre tjenestene. Som en sammenligning er tidsbruken for flere av tjenestene studert tidligere [Ghoddousi-Fard and Dare, 2004].

Tabell 7.1: Rangering av online PPP-tjenester etter tidsbruk.

| Tjeneste | Kommentar |
|-----------|----------------------------------|
| MagicGNSS | Stort sett veldig rask |
| Csrs | Omtrent MagicGNSS |
| Auspos | Ikke noe å utsette på tidsbruken |
| Scout | Ikke noe å utsette på tidsbruken |
| Apps | Bruker av og til meget lang tid |
| Gaps | Bruker av og til meget lang tid |

7.2 Presisjon

7.2.1 Kartverket

Tallene som presenteres her er gjennomsnittlige sanne avvik i nord, øst og høyde. Ved å se på de statiske dataene fra Kartverket som ble prosessert som kinematiske data (tabell 6.6 og 6.7) for man ett godt inntrykk av hvilken nøyaktighet som kan forventes av de ulike tjenestene. For de korteste måleseriene er det litt tilfeldig hvor gode resultatene blir, men grovt sett er alle tjenestene mellom 0.5 m til en dm i grunnriss og en meter til noen dm i høyde for målingene fra fem minutter til en time. MagicGNSS gir veldig gode resultater for de korteste måleseriene, helt ned på cm-nivå i grunnriss. Dette er nok som nevnt tidligere litt tilfeldig at de beregnede resultatene stemmer så godt overens. Avvikene øker også for de litt lengre måleseriene før løsningen konvergerer og stabiliserer seg. Om tjenesten virkelig kunne gitt så gode resultater etter så kort måletid ville det vært forventet at avvikene skulle minke og ikke bli større.

Etter ca en time kryper nøyaktigheten til under en dm i grunnriss og høyde, dette er omtrent som tidligere undersøkelser har vist [Ovstedal et al., 2006]. Det eneste unntaket er Gaps som ikke kommer under en dm i høyde for noen av måleseriene. Noe av grunnen til dette kan være siden Gaps ikke gjenkjenner antennen som blir brukt. Gaps generert ikke noe resultat for de to lengste måleseriene på 12 og 24 timer, så det er mulig nøyaktigheten ville vært bedre der. Csr og Terrapoint gir resultater for de lengste måleseriene som er opp mot det som forventes for måleserier på 12-24 timer (2-3 cm i grunnriss og 4-5 cm i høyde [Ovstedal et al., 2006]). MagicGNSS har like gode resultater som Csr og Terrapoint i grunnriss, mens avvikene i høyde er nesten oppe i en dm, noe som er litt høyt.

7.2.2 Sjøkartverket

Resultatene for de kinematiske dataene fra Sjøkartverket som er presentert i tabell 6.6 og 6.7 er nok litt i overkant av det som er realistisk. Det er viktig å påpeke at dette ikke er sanne avvik, men differansen mellom de beregnede

koordinatene og referansekoordinatene. Referansekoordinatene er ett vektet middel av koordinatene som er beregnet for Csrs, Terrapos og MagicGNSS. Det kommer fram i resultatene at de tre tjenestene som ligger til grunn for beregningen av referansedataene stemmer godt overens. Måleseriene på en time og mer gir spredning på mm-cm i grunnriss og noen få cm i høyde med unntak av MagicGNSS som er litt dårligere i høydekomponenten med ca en dm.

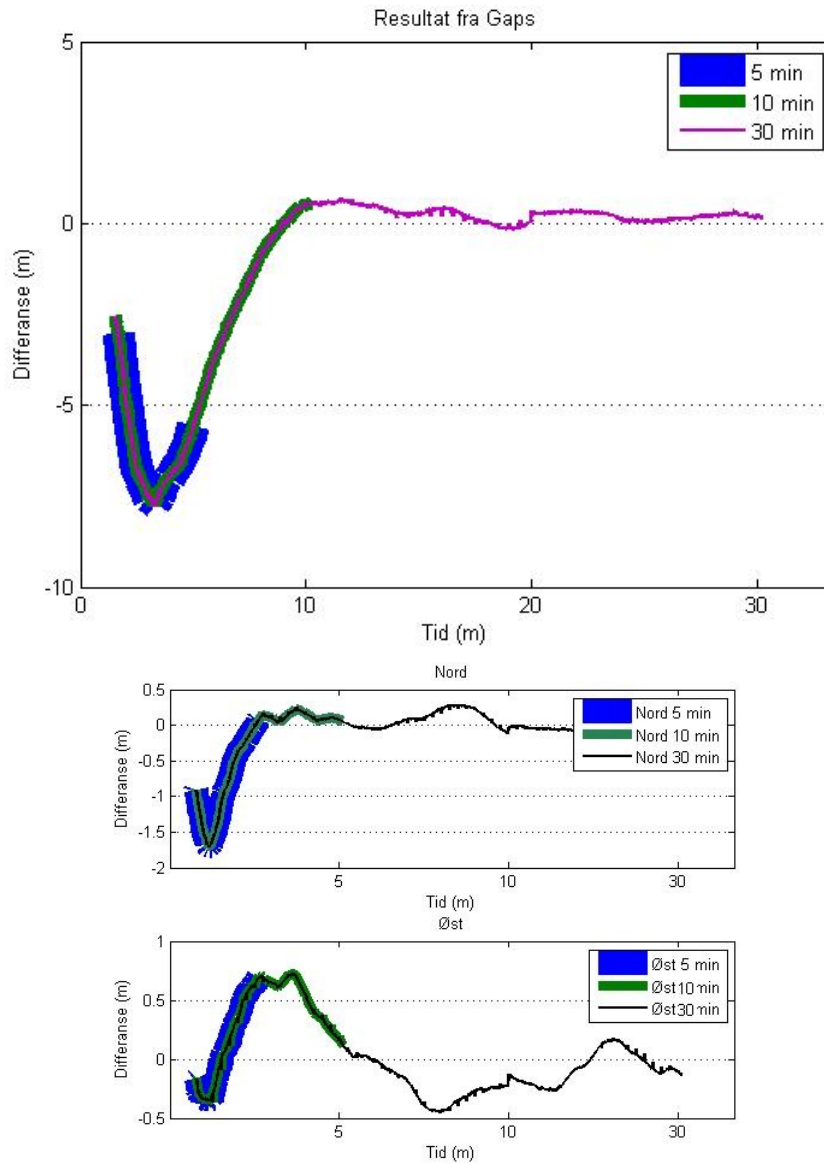
Generelt er resultatene fra Apps og Gaps dårligere enn for de nevnt over. En del av grunnen til dette er nok at de koordinatene fra de to tjenestene ikke er tatt med i beregningen av referansekoordinatene. De korteste og lengste måleseriene genererte ikke noe resultat. Spredningen ligger på dm-nivå i grunnriss for måleseriene på over en time.

Etter å ha plottet resultatene for Gaps, se figur 7.1 ser det ut til at den ikke bruker noen form for “smoothing” da de genererte koordinatene er like for f.eks de første fem minuttene for alle måleseriene. Dette kan være grunnen til at resultatene for de lengre måleseriene ikke er bedre, da de høye avvikene fra de tidligste observasjonene drar opp snittet.

7.2.3 Blom

Resultatene for beregningene av dataene fra Blom var som forventet litt dårligere enn resultatene fra Sjøkartverket da observasjonene var dårligere og datasettet bare litt over syv timer kontra 24 timer. Gaps greide ikke å generere noen resultater og Apps genererte bare resultater for måleseriene fra ti min til en time. Spredningen var på cm-dm nivå for alle måleseriene med noen slengere. MagicGNSS skilte seg positivt ut med høydeverdier på cm-nivå mot de andre som lå mer på dm-nivå.

Sammenligningen som ble gjort mellom den relative målingen og referansesettet som ble beregnet med PPP er også veldig interessant, se kapittel 6.2.4. Tabell 6.12 og figur 6.5 viser at spredningen mellom de to koordinatsettene i tidsrommet der den relative målingen hadde fix-løsning er liten. Dette styrker troverdigheten til resultatene for de kinematiske dataene da beregninger med en annen metode stemmer såpass godt med løsningen beregnet



Figur 7.1: Differanse mellom referansekoordinater og beregnede koordinater fra Gaps. Tjenseten benytter seg trolig ikke av “smoothing” da tidsseriene overlapper hverandre. Som figuren viser er måleserien på 30 min identisk med måleserien på 5 min. Etter som tiden går nærmer den seg så null.

av PPP.

7.3 Nøyaktighet

7.3.1 Statistiske data fra Kartverket

Tallene som omtales i dette avsnittet kommer fra tabell 6.13 og 6.14.

Resultatene for de statistiske målingene fra Kartverket var jevnt over veldig gode. Foruten problemer med de korteste måleseriene for Apps, Gaps, MagicGNSS og måleserien på en time fra Scout ble det generert resultater for resten av de innsendte observasjonsfilene. For de korteste måleseriene ligger avvikene i grunnriss (2d-rms) rundt 1-2 dm og 2-3 dm i høyde med unntak av en slenger hos MagicGNSS på ca 1 m for måleserien på en time. For de lengste måleseriene ligger avvikene på 1-3 cm i grunnriss og 3-5 cm i høyde med unntak av Gaps som ligger rundt 1 dm i høydekomponenten. Resultatene stemmer godt med nøyaktigheten som er rapportert fra tidligere undersøkelser [Ovstedal et al., 2006, Mireault et al., 2008]. Dette viser at nøyaktigheten som kan oppnås ved statistiske målinger er så gode som det som kan forventes av alle tjenestene utenom høydekomponenten i Gaps. Resultatene fra Apps er dog litt merkelige da de er identiske for måleseriene fra 2-12 timer. Hva som er grunnen til dette er ukjent, men det fører til en viss skepsis.

Dette datasettet var det eneste som de to tjenestene Scout og Auspos greide å generere resultater for. Resultatene for de to tjenestene viser ikke noen veldig stor forskjell til de andre tjenestene. Det kan tyde på at det kanskje ikke er veldig mye å hente på å benytte seg av ett nettverk med referansestasjoner og PPP kontra bare PPP. Grunnlaget for den påstanden er relativt tynn da dette var det eneste datasett som de to tjenestene godtok.

7.3.2 En-frekvente statistiske data fra Kartverket

Av tjenestene på nett var det bare Csrs som genererte resultater, i tillegg har Terrapos denne muligheten.

Målingene fra Csrs gir ikke like gode resultater som målingene fra Ter-

rapos, dette er ikke overraskende da Terrapos også benytter seg av faseobservasjonene. Standardavvikene for de korteste måleseriene ser også her ut til å være relativt høye i forhold til resultatene. For de lengste måleseriene er resultatene overraskende gode. Standardavvikene for målingene er en del høyere enn resultatene tilsier for de korteste måleseriene. Det kan derfor være at de er noe optimistiske. Disse resultatene er en del bedre enn det som er funnet i tidligere studier, se [Chen and Gao]. Igjen er grunnlaget her ganske lite, om forsøket ble gjentatt for flere dager kan det være at resultatet hadde nærmet seg det som er funnet tidligere. Grunnen til de gode resultatene kan f.eks være lite forstyrrelser i ionosfæren.

7.4 Mulige forbedringer av PPP

I denne oppgavene har jeg vist at flere tjenester på nett som benytter seg av PPP kan gi nøyaktighet på cm-nivå i grunnriss og høyde for statiske data og cm-dm nivå for kinematiske data med måletid på 24 timer. Ved f.eks flyfotografering eller sjøkartlegging kan den lange måletiden som kreves for å oppnå den høye nøyaktigheten “omgå” ved å la mottakeren stå å logge i nødvendig tid før selve målingene begynner. Til annet bruk som f.eks landmålingsoppgaver vil dette gjøre metoden lite effektiv. Det er gjort forskning på å redusere konvergenstiden ved også benytte seg av observasjoner fra GLONASS. Når geometrien blir bedre på grunn av flere satellitter (GPS+GLONASS) vil konvergenstiden minke og simuleringer har vist at en full konstelasjon av GLONASS vil kunne gi en forbedring av konvergenstid 50-60% [Melgard et al., 2009]. Selv om en annen undersøkelse viser at det i realiteten ikke er så stor fordel med å inkludere GLONASS enda da det er for få satellitter i omløp [Cai and Gao, 2007]. Etter hvert som også GALILEO blir operativt vil satellittdekningen bli bedre. Det er også gjort forsøk med såkalt PPP-RTK som benytter seg av ultra-rapid produkter og korreksjoner fra ett referansenettverk. De har oppnådd nøyaktighet på 1-2 cm i grunnriss for kinematiske målinger opp til 1000 km fra referansenettverket [Mervart et al., 2009] noe som kan være meget interessant for målinger i mer utilgjengelige strøk da tradisjonell RTK har en avstandsbegrensning på ca 10 km

[Seeber, 2003]. Det blir også gjort forsøk på å fiksere faseflertydighetene ved modellering av ukalibrerte faseforsinkelser i satellitt og mottaker [Ge et al., 2006].

Om det gjøres framskritt innenfor disse temaene vil PPP kunne bli langt mer interessant for flere brukere. Det virker som metoden er i vinden og at det legges ned betydelig arbeid på området. Jeg har troen på at PPP vil bli langt mer interessant for bruk om disse problemstillingene blir løst.

Kapittel 8

Konklusjon

Undersøkelsene som er gjort i denne oppgaven viser at prosessering med on-line PPP-tjenester kan gi nøyaktighet og presisjon som er på høyde med det som er oppnåelig med differensielle metoder. I tilfeller der differensiell måling ikke er mulig vil PPP være en god erstatning, men det må da kompenseres med måletid på 12-24 timer for å oppnå nøyaktighet bedre enn noen centimeter. De ulike tjenestene har alle ett enkelt brukergrensesnitt og innsending av filene med input av ønskede parametere er en enkel oppgave for samtlige av tjenestene. Av de ulike tjenestene som har blitt tatt for seg i denne oppgaven har Csrs stor sett gitt de beste resultatene med rms-verdi for sanne avvik på 1-3 cm i grunnriss og 5 cm i høyde for kinematiske data, 2.4 cm i grunnriss og 1.3 cm i høyde ved statistisk modus for datasettene med lengde på 24 timer. Presisjonen eller spredningen som oppnås er på cm nivå for dataene fra Sjøkartverket og dm-nivå for de litt dårligere observasjonene fra Blom. Csrs er også den eneste tjenesten som har generert resultater for samtlige filer som har blitt innsendt. MagicGNSS viste seg også å være meget robust og ga resultater som var like gode som Csrs i de fleste av tilfellene, men taklet ikke en-frekvente data og noen av de korteste måleseriene.

Apps og Gaps hadde problemer med flere av de ulike datasettene og resultatene var generelt litt bak de andre. Auspos og Scout gir meget god nøyaktighet, men håndterer kun statiske data og faller derfor utenfor mange av de undersøkelsene som ble gjort i oppgaven.

Bibliografi

- Boussaad Akrou, Rock Santerre, and Alain Geiger. Calibrating antenna phase centers, Mars 2012. URL <http://www.gpsworld.com/gps/calibrating-antenna-phase-centers-943>.
- Sunil B. Bisnath and Yang Gao. Precise point positioning - a powerful technique with a promising future, April 2009. URL <http://tinyurl.com/InovationPPP>.
- Changsheng Cai and Yang Gao. Ppp using combined gps and glonass observations, 2007. URL <http://www.gmat.unsw.edu.au/wang/jgps/v6n1/v6n1p02.pdf>.
- Kongzhe Chen and Yang Gao. Real-time precise point positioning using single frequency data. URL <http://www.gdgps.net/system-desc/papers/ChenGaoSingleFreq.IONGNSS05.pdf>.
- Peter H Dana. The geographer's craft project, Mars 2012. URL <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>.
- M. Ge, G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi, and J. Liu. Resolution of gps carrier-phase ambiguities in precise point positioning (ppp) with daily observations, November 2006. URL <http://ppp-wizard.net/Articles/JG2008.pdf>.
- G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi, and J. Liu. Resolution of gps carrier-phase ambiguities in precise point positioning (ppp) with daily observations, November 2006. URL <http://ppp-wizard.net/Articles/JG2008.pdf>.

- Geoscience Australia. Auspos - online gps processing service, jan 2012. URL <http://www.ga.gov.au>.
- Reza Ghoddousi-Fard and Peter Dare. Online gps processing services: an initial study, September 2004. URL <http://tinyurl.com/onlineppp>.
- GMV. Ppp- brochure, Januar 2011. URL <http://magicgnss.gmv.com/>.
- GPS.gov. Official u.s. government information about the global positioning system (gps) and related topics, Mars 2012. URL <http://www.gps.gov/>.
- Dow J.M, Neilan R.E, and Rizos C. The international gnss service in a changing landscape of global navigation satellite systems, Journal of Geodesy (2009).
- JPL NASA. The automatic precise positioning service, jan 2012. URL <http://apps.gdgps.net/index.php>.
- Jan Kouba. A guide to using international gnss service (igs) products, May 2009. URL <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>.
- Tor Melgard, Erik Vigen, and Ole Ørpen. Advantages of combined gps and glonass ppp, Oktober 2009. URL <http://tinyurl.com/pppglonass>.
- Leos Mervart, Zdenek Lukes, Christian Rocken, and Tetsuya Iwabuchi. Precise point positioning with ambiguity resolution in real-time, Oktober 2009. URL <http://tinyurl.com/rtkppp>.
- Yves Mireault, Pierre Tétreault, François Lahaye, Pierre Héroux, and Jan Kouba. *Online Precise Point Positioning*. 2008.
- Natural Resources Canada. On-line precise point positioning 'how to use' document, April 2004. URL <http://www.geod.nrcan.gc.ca/userguide/pdf/howtouse.pdf>.
- Jansen Ng. First block 2f gps satellite launched, needed to prevent system failure, Mars 2012. URL <http://tinyurl.com/BlockIIFGPS>.

- NOAA/NGS. Igs analysis center coordinator (acc), Januar 2011. URL <http://acc.igs.org/>.
- NPTEL. National programme on technology enhanced learning, Mars 2012. URL <http://nptel.iitm.ac.in/>.
- Ola Ovstedal, Narve Schipper Kjorsvik, and Jon Glenn Omholt Gjevestad. *Surveying using GPS Precise Point Positioning*. 2006.
- Leandro R.F., M.C. Santos, and R.B. Langley. Gaps: The gps analysis and positioning software, a brief overview, September 2007. URL <http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/iongnss2007.leandro.gaps.pdf>.
- Michael Schulz. Geosoft, Mars 2012. URL <http://www.geosoft-gps.de>.
- Gunter Seeber. *Satellite Geodesy, 2nd Edition*. de Gruyter, 2003. ISBN 3-11-017549-5.
- SOPAC. Scripps coordinate update tool (scout), Januar 2012. URL <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi>.
- Metin Soycan and Erceken Ata. *Precise point positioning versus traditional solution for GNSS networks*. 2010.
- The Aerospace Corporation, Mars 2012. URL <http://www.aero.org/>.
- Unavco. Unavco, Mars 2012. URL <http://facility.unavco.org/>.
- Wikipedia. Dilution of precision (gps), Mars 2012a. URL <http://en.wikipedia.org>.
- Wikipedia. Global positioning system, Mai 2012b. URL <http://en.wikipedia.org/wiki/>.
- wireless dictionary. Satellite ionospheric delay, Mai 2012. URL <http://www.wirelessdictionary.com>.
- J. F. Zumberge, M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of gps data from large networks, Mars 1997.