



BACHELOROPPGAVE:

**SAMMENLIGNING
AV
GNSS MOTTAKERE**

Høgskolen i Gjøvik

Avdeling for Teknologi, Økonomi og Ledelse

Bachelor i Geomatikk, våren 2012

FORFATTERE:

JEANETTE BEINSET MAGNUS OG PÅL ELLINGSEN WANGEN

Dato: 23.05.2012



Sammenligning av GNSS mottakere



Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet av Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen ved Høgskolen i Gjøvik, avdeling for teknologi, økonomi og ledelse, geomatikk..

Oppgaven er utført med Høgskolen som oppdragsgiver, der vi i samråd med veileder George Preiss har kommet fram til en problemstilling som omhandler test av GNSS- mottakere for å finne ut om de avgir samme resultater.

Dette har gitt oss mulighet til å lære mer om hvordan GNSS-mottakere fungerer og hvilke prosesser som foregår når denne typen utstyr brukes til målinger. I en tid hvor GNSS blir stadig mer utbredt for bruk i måleoppdrag er dette en svært nyttig lærdom og ta med seg videre.

Vi vil spesielt takke George Preiss, vår veileder ved Høgskolen i Gjøvik for hjelp underveis med oppgaven vår og for tre lærerike år som studenter på Høgskolen i Gjøvik. Han har hjulpet oss med programvare og besvart de mange spørsmålene som har dukket opp underveis.

Takk til Jon Bråten i Leica Geosystems Norge for utlån av utstyr, opplæring i bruk av utstyret og for å ha delt sine erfaringer med oss.

Takk til daglig leder hos Sitech, Karsten Haukås for utlån av Trimble-utstyr. Vil også takke Per-Ola Berntsen hos Sitech for opplæring i bruk av utstyret og for oppfølgingen underveis i måleprosessen.

Takk til Tor Ole Dahlø og Christian Rost ved Statens Kartverk. Tor Ole drifter Kartverkets CPOS-tjeneste og har bidratt med mange tips om hvem vi kunne snakke med for innspill i oppgaven og hvor vi kunne låne utstyr. Christian Rost med doktorgrad i GNSS fra Tyskland, har delt sine erfaringer med oss da han tester GNSS-utstyr i Tromsø for Statens Kartverk og tips om programvaren RTKlib som har vist seg svært nyttig for vår oppgave.

Gjøvik 22. mai 2012

Jeanette Beinset Magnus

Pål Ellingsen Wangen



Sammendrag av bacheloroppgaven

Tittel:	Sammenligning av GNSS-mottakere	Dato : 22.05.12
<hr/> <hr/>		
Deltaker(e)/ Kandidatnr*:	Jeanette Beinset Magnus Pål Ellingsen Wangen	
<hr/> <hr/>		
Veileder(e):	George Preiss	
<hr/>		
Evt. oppdragsgiver:	HIG, Høgskolen i Gjøvik	
<hr/>		
Stikkord/nøkkel ord (3-5 stk)	GNSS, statiske målinger, antennetesting	
<hr/>		
Antall sider: 57	Antall vedlegg: 3	Publiseringsavtale inngått: Ja
<hr/>		
<p>Innenfor landmålingsfaget har GNSS eller «Global Navigation Satellite Systems» lenge vært utbredt som arbeidsverktøy. Med økende nøyaktighetskrav er det viktig at mottakerne leverer like resultater. Produsenten oppgir målenøyaktighet, men dette er testet under ideelle forhold i laboratorier. Tidligere kunne de mottatte signalene testes gjennom å benytte en splitter for å dele signalene fra flere antenner inn på én mottaker for å se etter eventuelle avvik.</p> <p>Dagens teknologiske utvikling har gjort det vanligere å lage antenner og mottaker i en og samme enhet, noe som vanskeliggjør en slik testprosess. Denne oppgaven vil lage en testprosedyre for å teste mottakere. Dette vil innebære statiske målinger over tid for å samle data, samt å lage en teoretisk simulert splitting av antennesignalene.</p> <p>På denne måten kan man avsløre forskjeller mellom antennene etter samme prinsipp som tidligere har blitt brukt for å sjekke GNSS-antenner.</p>		



Abstract of Bachelor Thesis

Title:	Comparing GNSS-receivers	Date :	22.05.12
Participants/ Candidate number*:	Jeanette Beinset Magnus Pål Ellingsen Wangen		
Supervisor(s)	George Preiss		
Employer:	GUC, Gjøvik University College		
Keywords (3-5)	GNSS, static measurements, receiver testing		
Number of pages: 57	Number of appendix: 3	Availability (open/confidential):	Open
<p>Within the surveying profession, GNSS or "Global Navigation Satellite Systems" has long been widely used as tools. With the increasing accuracy requirements it is essential that receivers deliver similar results. The manufacturer specifies the measurement accuracy, but they are tested under ideal conditions in laboratories. Previously, the received signals were tested by using a splitter to split the signals from multiple antennas into a single receiver to look for any discrepancies.</p> <p>Today's technological developments have made it more common to make antennas and receiver in one unit, which makes it difficult to test signal reception using this method. With this project the aim is to make a test procedure to test the receivers. This will involve static measurements over time to collect data and to create a theoretical simulated splitting of the antenna signal.</p> <p>In this way it should be possible to detect differences between the antennas using the same principle that has previously been used to check the GNSS antennas.</p>			



Sammenligning av GNSS mottakere



Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag av bacheloroppgaven	4
Abstract of Bachelor Thesis	5
1 Innledning	8
1.2 Bakgrunn	9
1.3 Oppgavens hensikt med problemstilling	9
1.4 Begrensning	10
1.5 Presentasjon av utstyrslleverandørene	10
1.6 Presentasjon av utstyret	11
2 Teori	12
2.1 En introduksjon til GPS	12
2.2 Introduksjon til GPS- mottakere	18
2.3 Observerbare størrelser i GPS	22
2.4 Navigasjonsmeldinger og RINEX	27
2.5 Feilkilder	29
3 Metode	34
3.1 Metoder	34
3.2 Valg av metode	34
4 Prosess	35
4.1 Forberedelsesfasen	35
4.2 Målefasen	36
4.3 Beregningsfasen	42
5 Resultater	49
5.1 RTKLib Precise Point Positioning – Gitte S1	49
5.2 RTKLib – Single Point Positioning – Gitte S1	50
5.3 Manuell beregning – Gitte S1	51
5.4 Drøfting av signalmottak	52
5.5 Drøfting av simulasjon	53
5.5 Drøfting av resultater	54
Konklusjon	55
Kildeliste	56
Figurliste	57
Tabelliste	57
Vedlegg 1 - Prosjektavtale	58
Vedlegg 2 – Bildeavtale fra NASA	60
Vedlegg 3 – Måleskjemaer (4 dager)	61



1 Innledning

I moderne landmåling har bruken av satellittbaserte målemetoder blitt stadig mer utbredt. GNSS (Global Navigation Satellite Systems)-målinger kan utføres raskt og effektivt, og ved hjelp av etterberegningstjenester som CPOS (Statens Kartverk) og Spider-Net (Leica Geosystems) har nøyaktigheten ved RTK (Real-Time Kinematic) kommet ned til centimeternivå.

Ved statiske målinger kan man ved etterprosessering av GNSS- rådata komme ned på millimeternivå, en metode som brukes av blant annet Statens Kartverk for bestemmelse av grunnlagspunkter.

Også innenfor GNSS er de teknologiske fremskrittene merkbare. Mens det tidligere har blitt brukt separate antenner som kunne tilkobles hvilken som helst mottaker, har produsentene nå i større og større grad et utvalg av mottakere hvor mottakeren har en integrert antenne. Dette har resultert i at man nå er tvunget til å bruke mottakerens integrerte antenne ved målinger, og dette stiller større krav til at de integrerte antennene mottar de samme signalene.

Tidligere har man kunnet teste antennene sine ved å bruke en splitter for å dele signaler fra separate antenner, og kjøre dem gjennom én mottaker for å se etter forskjeller. Dette er ikke lenger mulig. Derfor ønsker man med denne oppgaven å lage en prosedyre for å teste de målte GNSS-dataene, lage en teoretisk splitting av signalene, samt å lure antennene til å tro at de står i samme punkt. På denne måten bør man, som med tidligere metode, kunne sjekke hvorvidt antennene gir de samme resultatene og mottar de samme signalene.



1.2 Bakgrunn

Når man måler med GNSS-utstyr antar man at man uansett mottaker vil få de samme resultatene. Utstyret blir produsert ut i fra en spesifikasjon, men samtidig blir utstyret stort sett testet i laboratorier hvor forholdene er identiske for hver mottaker. Dette kan endre seg når man tar i bruk mottakerne under reelle forhold utendørs.

Tidligere har man innenfor landmålingsfeltet hatt adgang på GNSS- utstyr hvor antenne og mottaker er to separate enheter. Dette gjorde det mulig å bytte ut én av enhetene dersom de ikke fungerte tilfredsstillende. Om antennen ikke ga tilsynelatende riktige resultater, kunne den byttes ut med en annen.

I dag er situasjonen litt annerledes, siden både antenne og mottaker nå ofte er integrert i samme enhet. Når en kunde for eksempel bestiller fem identiske GNSS- mottakere vil man motta fem bokser hvor antenne og mottaker er integrert. Ønsker man å skifte ut antennen, må man skifte ut hele boksen. Derfor oppstod et ønske om å sjekke hvorvidt mottakere leverer like resultater under reelle forhold.

1.3 Oppgavens hensikt med problemstilling

Hensikten med denne undersøkelsen er å finne ut om et utvalg GNSS- mottakere produserer samme resultat, og om vi kan stole på resultatene.

Vi ønsker å finne ut:

- Om et utvalg GNSS- mottakere av samme type og produsent leverer like resultater
- Om vi finner et mønster i eventuelle avvik slik at vi kan ta høyde for det under målinger
- Om vi klarer å utvikle en testprosedyre som gir oss mulighet til å teste mottakerne under like forhold. I denne prosedyren inngår det å lure GNSS- mottakerne slik at de tror de står i samme punkt. Dette for å simulere bruk av to GNSS- antenner på samme mottaker.

Vi tror:

- at GNSS- mottakerne i praksis vil levere relativt like resultater, til tross for kontakt med forskjellige satellitter i hvert fall ned til centimeternivå. Dette forutsetter at vi har en test som gir mottakerne relativt like forhold med tanke på vær og ionosfæriske forhold
- at GNSS- mottakerne i praksis vil levere relativt like resultater, til tross for at de har kontakt med forskjellige satellitter, i hvert fall ned til centimeternivå. Dette forutsetter at vi har klart å lage en test som gir mottakerne relativt like forhold med tanke på vær og ionosfæriske forhold.
- at vi kan se forskjell på målinger utført med GNSS- mottakere av forskjellige fabrikant.



1.4 Begrensning

Høgskolen i Gjøvik har et begrenset antall mottakere tilgjengelig. Det er derfor nødvendig å hente inn utstyr fra eksterne kilder. Av hensyn til tidsbruk ble det valgt å benytte utstyr fra de to største merkene, hvilket innebar Leica og Trimble.

Det presiseres at dette ikke er en test for å finne den ”beste” mottakeren, men for å finne ut hvilke rådata som logges og om disse er de samme fra alle enhetene.

GNSS-målinger innebærer som regel bruk av både GLONASS og GPS. I denne oppgaven er det valgt å bruke kun GPS, da GLONASS vil gi tilnærmet identiske resultatet forutsatt at det benyttes presise efemeride-filer til beregning av posisjon. Av hensyn til personellressurser og oppgavens tidsramme, velger man å kun beregne ut i fra GPS-data.

Hver GNSS- enhet vil bli målt to ganger, i én time sammenhengende. Forutsatt et måleintervall på 1 måling per sekund, vil én time produsere ca 3600 målinger. Totalt vil dette over to målesesjoner gi ca 7200 målinger per mottaker. Dette bør være tilstrekkelig for å lage et godt bilde av hvordan mottakerne mottar og kalkulerer signaler.

1.5 Presentasjon av utstyrsleverandørene

Leica Geosystems Norge AS

Forhandler av Leica Geosystems sitt landmålingsutstyr i Norge. Opprinnelig et sveitsisk selskap med kontorer over hele verden og i dag en del av Hexagon Group Sweden.

Kontaktperson: Jon Bråten.

Sitech AS

Eneforhandler i Norge av Trimble maskinstyring og landmålingsutstyr til bygg- og anleggsbransjen samt Trimble Marine. Sitech er en del av et internasjonalt Trimble forhandlernetttverk.

Kontaktperson: Karsten Haukås.



1.6 Presentasjon av utstyret

Det har blitt benyttet tre ulike mottakere beregnet for landmålingsoppdrag i denne oppgaven:

Leica GS15

En tofrekvent GNSS- mottaker med integrert antenne som kan lese GPS, GLONASS og Galileo-satellitter. 120 kanaler, som betyr lesing av opptil 60 satellitter på både L1 og L2.

En typisk kodemålingsnøyaktig på rundt 25 centimeter.

Det er blitt benyttet 5 stykker i forsøket.

Leica ATX1230

En tofrekvent GNSS- mottaker med integrert antenne som leser GPS og GLONASS-satellitter. 72 kanaler og kan dermed lese opptil 36 satellitter på både L1 og L2. En typisk kodemålingsnøyaktighet på rundt 25 centimeter.

Det er blitt benyttet 3 stykker i forsøket.

Trimble SPS882

En tofrekvent GNSS- mottaker med integrert antenne som leser GPS og GLONASS-satellitter. 220 kanaler og kan derfor lese opptil 110 satellitter på både L1 og L2. Beskyttelse mot multipath og en typisk kodemålingsnøyaktig på 25 centimeter.

Det er blitt benyttet 3 stykker i forsøket.



2 Teori

Innenfor feltet GPS finnes det mange begreper å skille fra hverandre. Denne teoridelen er ment som en introduksjon til begreper og konsepter som vil bli brukt videre i oppgaven.

2.1 En introduksjon til GPS

Satellittbasert navigasjon har etter hvert blitt svært utbredt. Det har fulgt utviklingen til annen forbrukerelektronikk, som betyr at navigasjonssystemene har blitt stadig billigere og tilgjengelig for langt flere.

Det har også blitt et langt større bruksområde for satellittbasert navigasjon, og det begrenser seg ikke bare til å finne veien. Systemet finnes i mange smartmobiler, noe som har åpnet mange muligheter. Man kan logge joggeturen for å finne en mer utfordrende rute neste gang, man kan la vennene vite hvor man er ved å "sjekke inn"¹ på steder man er eller bare finne ut hvor den beste restauranten er i nærheten.

Det har også åpnet muligheten for sporing. Dyre luksusbiler kan nå spores om de blir stjålet, det samme kan mobiltelefonen din. På lik linje kan man også spore mennesker eller kjæledyr ved å utstyre dem med en GPS- sender.

Begynnelsen

Systemets utvikling begynte allerede for snart 40 år siden, i 1973. Systemet begynner derfor å dra på årene, men har fortløpende blitt oppdatert gjennom tekniske oppgraderinger. En konstant videreutvikling for å holde systemet operativt er derfor i fokus og i 1999 ble et moderniseringsprogram vedtatt. Denne moderniseringen tar spesielt for seg rom- og kontrollsegmentet, men det innebærer også opprettelse av to nye signaler, beregnet på sivil bruk. Dette innebar L2C, noe vi allerede er kjent med gjennom tofrekvente mottakere. Men også L5, som skal benyttes til flytrafikk og redningsetater. (1) Dette skal øke nøyaktigheten for sivile brukere drastisk, noe som kommer godt med innenfor de områdene GPS er utbredt i dag. Denne moderniseringen er derfor velkommen for å sikre at systemet er effektivt, stabilt og nøyaktig også i fremtiden.

¹ FourSquare, Facebook (Gowalla), m. m.



GPS- systemet er amerikansk og betales av amerikanske skattebetalere. (2) Det er utviklet av det amerikanske forsvarsdepartementet, og de har også ansvaret for den daglige driften. Dette er trolig en av grunnene til at EU ønsker et eget navigasjonssystem, nettopp fordi USA er i posisjon til å slå av GPS- systemet dersom de skulle se behovet for det.

Måten GPS fungerer på er at signaler fra satellitter ute i rommet sender signaler ned til jorden, hvor hvert signal merkes med tidspunktet signalet ble sendt på. Dette mottas av en synkronisert mottaker, som deretter kan dekode signalet og finne posisjonen.

GPS var opprinnelig ment som et system hvor militæret skulle kunne finne sin posisjon overalt på kloden, og kunne brukes som et tidsreferansesystem.

Ettersom DoD (Department of Defence) var initiativtakeren til systemet, var også bruksområdene i første rekke militære. Men den amerikanske kongressen la etter hvert føringer for at systemet også skulle kunne brukes av sivile.

I 1983 ble et koreansk passasjerfly skutt ned over russisk territorium. Dette var medvirkende årsak til at GPS ble åpnet opp for sivil bruk. I 1996 ble bruken og implementeringen av GPS til sivil oppfordret. Dette medførte også at Selective Availability begynte å opphøre.

I 1998 ble det åpnet for et nytt signal til sivile brukere, og dermed ble både nøyaktighet, presisjon og ytelse forbedret. Visepresidenten uttalte at dette ville gi forbedringer for alle, inkludert bønder, flypiloter og forskere. Og mange flere, selvsagt.

I 1999 bestemmer presidenten at en modernisering skal gjennomføres. Dette skal forbedre signalene til sivile, kommersielle og vitenskapelige brukere over hele verden.

I 2000 blir det bestemt at man skal slutte å nedgradere nøyaktigheten for sivile brukere(3).

Det var dette som tidligere kaltes SA (Selective Availability). Dette gjør at lokaliseringen for sivile brukere blir opptil 10 ganger bedre, og er en ytterligere oppmuntring for å gjøre GPS tilgjengelig for massene.



Referansesystem

Innenfor all navigasjon har det vært nødvendig å ha en mulighet for å lagre posisjoner. For å bestemme posisjon har GPS tatt i bruk to referansesystemer, hvorav det første er koordinatsystemet hvor posisjonen lagres.

For GPS sin del heter dette WGS-84 (Russlands GLONASS bruker PZ-90). Det er et jordsentrisk koordinatsystem som ble realisert gjennom observasjoner fra 1500 «terrestrial sites» rundt omkring i verden. Som vanlig er det definert en ellipsoide for dette koordinatsystemet og denne har fire parametre:

Semimajor axis a

Normalized second-degree zonal gravitational coefficient $C_{2,0}$

Truncated angular velocity of the earth ω_e

Earth's gravitational constant μ

Denne referanserammen har blitt brukt siden 1987. $C_{2,0}$ kan uttrykkes med flattrykning f .

Dette koordinatsystemet er riktignok blitt modifisert flere ganger for å gi bedre koordinater og bedre nøyaktighet i forbindelse med at den er blitt sammenlignet med andre koordinatsystemer.

For å måle med satellitter er man også avhengig av en tidskomponent, det andre referansesystemet. Tidssystemet i GPS er relatert til internasjonal atomtid, mens «hovedtiden» er UTC. (Coordinated Universal Time) UTC blir «vedlikeholdt» av US Naval Observatory (USNO).

Vanligvis har GPS en 19 sekunders offset sammenlignet med TAI (International Atomic Time). Dette betyr at $TAI = GPS \text{ time} + 19.000s$

Dette sammenfaller med UTC på GPSens standardepoke 6. januar 1980. TAI og UTC har en heltallforskjell på n sekunder. I januar 2007 var denne verdien $n=33$ og dermed er GPS- tiden nøyaktig 14 sekunder foran UTC.

Måten GPS- systemet teller tid på er i GPS- uker, og antall sekunder inn i nåværende uke. For å beregne denne GPS- uka benytter vi juliansk dato. Man har også sykluser, der antallet uker er 1024. Den første «rolloveren» skjedde i august 1999 og skyldes at datameldingen i satellitten kun har minne til å telle 1024 uker(4).



GPS – service

GPS- systemet har to ulike bruksmodi. Som kjent er GPS opprinnelig ment for militær bruk, og de nyter dermed godt av en høyere presisjon enn det de sivile brukere har adgang på. Blant annet skiller man mellom SPS «Standard Positioning Service» og PPS «Precise Positioning Service». Sistnevnte kan kun brukes av autoriserte brukere. Her oppstår et av problemene med GPS: Det kan umiddelbart stenges for all sivil adgang dersom en situasjon som krever det skulle oppstå. Det kan tenkes at dette er en av årsakene til at Europa nå er i full gang med å utvikle sitt eget navigasjonssystem, Galileo.

Hovedårsaken til at GPS er såpass nøyaktig er det faktum at alle komponenter i et signal er strengt overvåket av presise atomklokker. De klokkene man typisk nok finner i satellitter er av typen rubium eller cesium. Disse klokkene har en nøyaktighet i størrelsesorden ± 1 sekund på en million år. (5) Disse atomurene er en kritisk del av systemet ombord i en GPS- satellitt og opererer på frekvensen 10.23 MHz. Ut fra atomurets frekvens har man utledet to frekvenser som utgjør signalenes bæreølger. Disse genereres ved å multiplisere hovedfrekvensen med 154 og 120 og den gir dermed henholdsvis:

L1: 1575.42 MHz

L2: 1227.60 MHz

Det faktum at det finnes to frekvenser er med på å sikre at man eliminerer en del større feilkilder, for eksempel den ionosfæriske refraksjonen. Med disse to frekvensene får man to koder.

Den første kalles coarse/ acquisition code (C/A) og er tilgjengelig for sivile brukere. Denne er en del av SPS, med en bølgelengde på 300 meter. Denne moduleres på L1, men stenges ute fra L2. Grunnen til dette er at det gjør det mulig å forhindre sivile brukere fra å oppnå full presisjonsnøyaktighet.

Den andre koden heter precision (P) og denne har blitt reservert for militært bruk (og andre med autorisasjon). Denne former PPS, og har en bølgelengde på 30 meter sammenlignet med C/A. Denne koden moduleres på både L1 og L2, og er i dag kryptert som Y-kode. Sivile brukere har imidlertid også tilgang på L2-koden nå, men med restriksjoner.

Kodene inneholder også en del informasjon som statusinformasjon, satellittefemerider og satellittklokke bias som vi kan få ut som RINEX- filer(4).



SPS «Standard Positioning Service»

Denne tjenesten fungerer som tids- og posisjonstjeneste. Den benytter C/A-koden og finnes kun på L1-signalet. L2 er ikke del av SPS i det hele tatt. Ytelsen til SPS referer til SIS «Signals in Space». Det betyr blant annet at ting som multipath, ionosfære, troposfære, mottaker, topografi og forstyrrelser ikke er inkludert.

Stort sett vil nøyaktigheten i SPS være $< 13\text{m}$ horisontalt og $< 22\text{m}$ vertikalt. Men det viser seg at nøyaktigheten ofte er mye bedre enn spesifikasjonene. Spesifikasjonen er basert på fjerning av de to verste satellittene. I mange tilfeller fjerner man flere(4).

PPS «Precise Positioning System»

PPS bruker P-koden (og Y-koden, respektivt) på L1- og L2-signalet. Dette er den koden sivile ikke har adgang på. Derimot kan den benyttes av amerikansk forsvarspersonell, en del føderale byråer, samt enkelte allierte lands militærvesen.

Man peker på at nøyaktigheten til PPS er like god som SPS uten SA og andre ting som forstyrrer nøyaktigheten. Men siden det er problematisk å bedømme nøyaktighet basert på horisontal og vertikale målinger, antas det at nøyaktigheten i praksis er den samme.

Imidlertid påstås det at nøyaktigheten i 3D er på under 10 meter dersom man bruker mottakere med to frekvenser.

Men SPS brukes ikke av militært personell overhodet, og det antas at P-koden har bedre presisjon i avstandsmålinger som følge av den kortere bølgelengden. Dessuten er PPS-koden mye vanskeligere å forstyrre/forfalske enn SPS-koden, siden den repeterer seg sjeldnere. På denne måten kan militært personell benytte P-koden, men man kutter ut C/A-koden i enkelte områder(4).



Kontrollsegment

For å sikre driften av GPS, finnes det et kontrollsegment som overvåker konstant. Denne overvåkningen består av en hovedstasjon, kontrollstasjoner og flere bakkeantenner.

Hovedstasjon

Den første hovedstasjonen lå i Vandenberg AFB i California, men nå ligger den under Consolidated Space Operations Center i Colorado Springs. CSOC henter inn sporingsdata fra kontrollstasjonene og beregner satellittenes bane og klokkeparametre. Deretter kan disse verdiene korrigeres og sendes tilbake til satellitten.

Kontrollstasjoner

Kontrollstasjonene ligger spedt utover verden. Før moderniseringen lå de på fem forskjellige steder, nå er det utvidet med et par til. Hver av disse stasjonene er utstyrt med en svært presis atomklokke og måler kontinuerlig pseudoavstander til alle satellitter hvert 1,5 sekund.

Dermed kan de, ved hjelp av ionosfæriske og metrologiske data, beregne posisjonen til satellittene som sendes tilbake til hovedstasjonen.

Bakkeantenner

Det er fire antenner som ligger på samme sted som kontrollstasjonene. Disse antennenes oppgave er å sende kommandoer og data til satellittene, slik at disse hele tiden har oppdatert informasjon. Alt dette kontrolleres av hovedstasjonen. Dersom en antenne ikke skulle være i stand til å sende informasjonen, vil et sett med forhåndslagrede parametre sikre at satellittens nøyaktighet blir gradvis dårligere, og ikke umiddelbart faller.

Modernisering av kontrollsegmentet

Årsaken til at man ønsker å modernisere kontrollsegmentet er som følger:

- Oppdatere kontrollstasjoner og bakkeantenner med nytt og moderne utstyr (datamaskiner, mottakere)
- Utskiftning av datasentraler i hovedstasjonen
- Forbedret sporing av satellitter, og generelle nøyaktighetsforbedringer
- Bygge en operasjonsdyktig reservehovedbase i Vandenberg AFG, California
- Tilføyning av kontroll- og kommandosystemer for Block IIR-M og Block IIF-



satellitter.

- Tilføyning av direkte sivil kodeovervåkning

Ved å bygge flere kontrollstasjoner og oppgradere disse kan man observere satellittene mer nøyaktig, og sikre at efemeridene er korrekte. Dette gjør man også gjennom å øke datamengden hver satellitt bruker, slik at man får mer nøyaktige klokke- og posisjonsdata(4).

2.2 Introduksjon til GPS- mottakere

For å sikre gode resultater er mottakeren en svært viktig komponent i moderne landmålingsarbeid med GPS. Selv om mottakerne har blitt små nok til å passe inn i mobiltelefoner og har gjort GPS tilgjengelig for alle, er ikke disse enhetene gode nok til å utfordre landmålerens høypresisjonsutstyr.

Utviklingen av nye mottakere går, som med all annen avansert teknologi, i et svært høyt tempo.(6)

Det finnes også svært mange forskjellige typer. Noen har antenne og mottaker integrert i samme enhet, mens andre har adskilt antenne og mottaker.

Dagens mottakere inneholder mye moderne, digital kommunikasjonsteknologi. Ikke bare skal de ha kontakt med satellitter, men de skal også kunne holde kontakt med en RTK- base ved behov. Dette krever dataoverføring i form av radiosamband eller via internett over mobiltelefoni. Man har også i mange tilfeller gått bort fra kabeloverføring mellom målebok og GNSS- mottaker og derfor er mange mottakere utstyrt med Bluetooth for enkel dataoverføring og samhandling.

De skal også lagre efemeriden fra satellitten, slik at dataene kan etterprosesseres.

Når en mottaker mottar satellittsignaler foregår det gjerne i tre ”moduler”. (4)

Den første modulen tar seg av råsignalene fra antennen. Antennen i seg selv mottar signalene direkte fra satellitten, og tilhørende navigasjonsmeldinger. Disse signalene blir behandlet i den første modulen, og kan deretter sendes videre til neste blokk for videre behandling.

I den andre blokken sitter en digital signalprocessor (DSP). Her gjøres den viktige jobben hvor signalene fra satellitten skal matches med mottakeres signal for deretter å gi de observerbare størrelsene fra satellittsignalet.



Den tredje og siste blokken er navigasjonsprosessen. De omgjorte signalene kobles sammen med navigasjonsmeldinger, efemeriden og almanakken slik at posisjon, fart og tid kan beregnes. Almanakken inneholder oversikten over hvor satellittene i teorien skal oppholde seg, og oppdateres med jevne mellomrom.

Denne prosessen gjøres for enkelt satellitt, og understreker hvor sofistikert maskineri det egentlig er snakk om.

Man bør også merke seg at dagens mottakere har langt flere kanaler, og har dermed mulighet til å gi hver satellitt sin egen kanal. Dette i kontrast til tidligere mottakere, hvor satellittene nærmest måtte settes i kø for å prosesseres da kanalen måtte deles mellom flere.

Det dukker opp en del tekniske termer i forbindelse med mottakernes behandling av signalene. De vil bli forsøkt belyst under tilhørende overskrifter.

Ved måling med GPS har målefeil og sporing en nær sammenheng. Dette er fordi mottakeren som regel mister satellitten dersom målefeilen overstiger visse grenser.(1)

Båndbredde

Båndbredde brukes som oftest i forbindelse med rekkevidde (eller spredning) i frekvenser, hvor man definerer et bestemt vindu for hvor høy og lav frekvensen kan være.(7) En båndbredde kan overføre like mye informasjon uavhengig av hvor frekvensen ligger. For eksempel vil man kunne overføre like mye informasjon mellom 1 og 5 MHz som mellom 5 og 10 MHz.

Kraft

Noen elektriske apparater krever mer strøm enn andre, og dette førte til at desibel ble introdusert som en målefaktor. Denne målefaktoren er relativ, noe som vil si at den bare kan brukes så fremt man på forhånd har definert et referansenivå. Man kan dermed, ut i fra referansenivået, vise signalets styrke i et tids- eller frekvensperspektiv.

På dette området viser C/A-koden seg overlegen. ”Tettheten” til koden er mye høyere enn bakgrunnsstøyen, hvilket gjør det svært enkelt og filtrere ut og å spore kodens signal.



Filtrering

De færreste signaler inneholder bare de dataene vi ønsker oss. Som det meste annet består også signaler av ønskede og uønskede deler. Dette gjør at vi må lage filtre som kan fjerne de delene av signalet vi ikke vil ha. Dersom man skulle ønske å ta i mot kun lave frekvenser, kan man lage filtre som sorterer ut alle andre frekvenser enn de man vil ha. Dette fungerer likt også for høye frekvenser, eller om man bare vil ha en bestemt frekvens. For eksempel ± 92.5 MHz.

Frekvensoversettelse og multiplikasjon

Frekvensoversettelse går ut på å endre frekvensspekteret opp eller ned i frekvensbåndet mens spekterets form forblir den samme. En ”upshift” vil si at man forandrer frekvensbåndet slik at det blir høyere. Denne metoden har sin fordel i at signalene blir enklere å generere i mottakeren og enklere å prosessere.

Spredningsspektrum

Bredt definert som en mekanisme der båndbredden til en overført kode er mye større enn båndbredden som kreves av «baseband information signal». (Altså navigasjonsmeldingen)

Man har dermed forskjellige metoder for å bruke dette spektrumet. For eksempel TDMA (time division multiple access). Her deler flere forskjellige kanaler overføringslinken.

GPS benytter CDMA (code division multiple access). Dette går ut på at pseudo- randomiserte koder blir overført av satellitten og disse kodene blir også generert inni mottakeren. Denne typen kommunikasjon kan egentlig inneholde alle mulige typer data, men i GPSens tilfelle består datastrømmen logisk nok av navigasjonsmeldinger.

Siden disse signalene kombineres med pseudo-randomisert kode bruker de mye båndbredde. Dermed må dette signalenes kunne fradeles når det når mottakeren. Mottakeren er i stand til å ta ut informasjonen fra datastrømmen.

Dette er fordelaktig i militæret hvor dette gjør mottakeren enklere og «å herde» mot jamming.



Kryssningskorrelasjon

Å krysse mottatte signaler med signaler som genereres i mottakeren er en grunnleggende funksjon for alle mottakere. Korrelasjonsfunksjonen er kontinuerlig. Dette tillater mottakeren å låse seg til fasekoden.

For eksempel:

En C/A-kodestrøm blir sendt fra en satellitt og blir mottatt av mottakeren etter å ha reist i 70 millisekunder. Mottakeren generer den samme koden (som blir tidssynkronisert med koden generert fra satellitten) og dermed blir disse krysskorrelert. Deretter kan tiden forskyves, slik at de to kodene blir helt like. I det øyeblikket dette skjer, er autokorrelasjonen = 1.

Låsing og sporing

En mottaker er kodelåst dersom koden fra satellitten og den mottakergenererte koden er korrelert. Sporing er derfor betegnelsen på en mottaker som er kontinuerlig låst. For eksempel at mottaker koden veksles kontinuerlig for å matche det innkommende signalet.

Vekslingen av den mottakergenererte koden styres av DLL (delay lock loop). Denne teknikken kan bruke to korrelasjoner for å måle tidsgapet for den mottatte koden.

Dette gjøres ved at en numerisk kontrollert oscillator setter inn en digital forsinkelseslinje som genererer tre faser av koden. Tidlig, punktlig og sen. Det innkommende signalet må korreleres med alle tre. (6)



2.3 Observerbare størrelser i GPS

Når man måler med GNSS får man ofte ut én av to typer målinger. Begge er en type pseudoavstand, men de baserer seg på enten kode eller fase. Dersom det er viktig med høyest mulig presisjon foretrekkes fasemålinger, men det begynner å komme stadig flere kombinasjonsmålinger der begge deler benyttes samtidig.

Det er ofte vanlig å ta i bruk differensiering når man bruker fasemålinger, blant annet for å eliminere klokkefeil i både mottaker og satellitt.

Å måle faser og pseudo involverer temmelig avansert teknologi. (6)

Pseudoavstander

En pseudoavstand er distansen mellom en satellitt og en mottaker, stort sett ved mottakerantennens fasesenter. Man måler dermed reisetiden til signalet fra satellitt til mottaker. Alt dette baserer seg på signalene som satellitten sender ut. Signalet som mottas av mottakeren inneholder såkalt pseudokode. Når mottakeren får signalet, genererer den sin egen pseudokode som korreleres med det mottatte signalet, og kan dermed matches.

Mottakeren genererer denne koden ved hjelp av sin egen klokke, men satellitten genererer sin kode ved hjelp av atomuret om bord i satellitten.

Dette gjør at en klokkefeil oppstår. Denne er ikke mulig å unngå, med mindre man ønsker å drasse rundt på et atomur i hver eneste GNSS- mottaker som lages. Denne lille tidsforskjellen gjør at pseudoavstanden ikke er lik den geometriske avstanden i det tidsrommet signalet er på reise.

Denne pseudoavstanden benyttes av P- eller C/A-kode. Som nevnt ville den tilsvart den geometriske avstanden om ikke klokkefeilen hadde dukket opp, og dersom avstanden hadde blitt målt i et vakuum. Men det gjør den ikke, og det skyldes altså klokken, og det faktum at signalet skal reise gjennom både troposfæren og ionosfæren før det kommer frem til mottakeren. Dermed er det helt forståelig at forstyrrelser oppstår.

Kode- pseudoavstand

I all måling som innebærer bruk av satellitter er tiden svært viktig. For eksempel vil man i kodemålinger basere seg på den lille tidsforskjellen mellom tidspunktet hvor signalet ble sendt fra satellitten og til det ble mottatt i mottakeren. Navigasjonsmeldingen som blir sendt



ut fra satellitten samtidig, inneholder tidsinformasjon og dermed også parametre for hvordan klokkefeilen er akkurat da. Denne er stort sett satt i forhold til systemklokken i satellitten, og vil dermed variere fra gang til gang og fra satellitt til satellitt.

Dermed får man en tidsforskjell + klokkefeil.

Som nevnt kan man fjerne denne klokkefeilen dersom man benytter differensiering.

Satellitten svever langt ute i rommet, nærmere 20 000 km over jordoverflaten, hvor signalene reiser med litt forskjellig fart. Satellittene beveger seg også i voldsomt høy fart.

Et uttrykk for kodemåling må derfor inneholde denne tidsforskjellen med klokkefeil, i tillegg til lysets hastighet og satellittens hastighet for å kalkulere pseudoavstanden.

Vanligvis bruker signalene fra rommet fra 0,06 til 0,10 sekunder ned til jorden. Presisjonen på denne typen målinger er antatt å ligge på rundt 1 % av bølgelengden. Ettersom signalene har en bølgelengde på rundt 300 meter, skulle dette tilsi at nøyaktigheten blir på rundt 3 meter. Militærets avgrensede P-kode har en bølgelengde på 30 meter, slik at en nøyaktighet ned mot 0,3 meter er mulig. Men det er også blitt sett at presisjonen til kodemålingene kan ligge på rundt 0,1 % av bølgelengden!

Fase- pseudoavstand

I motsetning til kodemålinger hvor tiden er det viktigste, måles fasemålinger på selve bærebølgen. GPS- satellittene sender kontinuerlig ut et ”mønster” av frekvenser. Poenget med fasemålinger er at mottakeren skal synkronisere seg med dette mønsteret, og dermed være i stand til å lese av tidsforskjellen og kalkulere posisjonen.

Disse fasene kommer i sykluser. Et par små feilkilder finnes, for eksempel vil det oppstå en frekvensfeil som følge av den tilnærmede bærefrekvensen. I tillegg er det også her en klokkefeil. Begge er riktignok minimale og frekvensfeilen kan man bli kvitt allerede i atmosfæren på grunn av signalforplantningen. Klokkefeilen opptrer i millisekunder og er derfor relativt ubetydelig, men den kan fjernes ved hjelp av differensiering.

Differensiering fjerner også den såkalte integer ambiguity. Dette er en ukjent størrelse som oppstår i det mottakeren startes opp og mottar signaler fra satellitten, fordi mottakeren ikke kan vite med sikkerhet hvor i frekvenssyklusen den er. Integer Ambiguity er også det som i hovedsak skiller fase- og kodemåling fra hverandre. Det er fortsatt tatt hensyn til tiden mellom satellitt og mottaker, men nøyaktigheten er bedre. Ofte ned mot et par millimeter. (6)



Dopplereffekt

Dopplereffekten defineres av Wikipedia som “Dopplereffekten er den tilsynelatende endringen i frekvens eller bølgelengde av en bølge som registreres av en observatør som beveger seg relativt til bølgens kilde”. (8)

Dette betyr at frekvensen for det sendte signalet alltid vil være den samme, men på grunn av dopplereffekten vil signalet oppleves som varierende for mottakeren. For eksempel kan signalet sendes hvert 0,5 sekund, men fordi satellitten beveger seg lenger vekk fra mottakeren vil “avstanden” mellom mottatte signaler øke progressivt.

Denne effekten påvirker fasemålinger mellom satellitt og mottaker.

Hvis en satellitt er stasjonær i forhold til mottaker er det ganske enkelt å finne antall bølger den bruker på reisetiden fra satellitt til mottaker, for da er frekvensen den samme for begge, hvis ikke kommer dopplereffekten inn i bildet.

Hvis en satellitten går fra deg blir frekvensen lavere, går den mot deg blir frekvensen høyere. For eksempel En sirene som først er på vei mot deg, og jo nærmere den kommer jo høyere frekvens blir det. Når den har passert og er på vei fra deg vil frekvensen på sirenen bli lavere og lavere desto lenger unna deg sirenen kommer.

Ettersom satellittene beveger seg forandrer også frekvensen på bølgene seg, og for å finne antall bølger som brukes på reisetiden og hvordan den forandrer seg ettersom satellitten beveger seg må det beregnes og korrigeres for ny frekvens.

I observasjonsfilen i RINEX- filene får vi oppgitt tall for doppler gitt som D1 og D2 som gjør at en kan korrigere den innkommende frekvensen, for så å konvertere det til bølgelengder og videre konvertere antall bølger til korrigert avstand. Ved å sammenligne D1 og D2 kan man se om satellitten er på vei bort fra deg eller mot deg, står det negativt fortegn er satellitten på vei bort fra deg, med positivt fortegn er satellitten på vei mot deg, både D1 og D2 skal ha samme fortegn.



Må vite tre ting for korrigerer:

- Innkommende frekvens
- Sendefrekvens
- Dopplerfrekvens

$$\begin{aligned} \text{Frekvens} &= \text{lyshastighet} / \text{bølgelengde} \\ \text{Bølgelengde} &= \text{lyshastighet} / \text{frekvens} \end{aligned}$$

L1 = 1575,42 MHz = 1575,42 * 1000000 Hz = Grunnfrekvens

L2 = 1227,6 MHz = 1227,6 * 1000000 Hz = Grunnfrekvens

Lysets hastighet: 299 792 458 meter pr sek / 1575,42 * 1000000 Hz = 0,1902936727983649m

Lysets hastighet: 299 792 458 meter pr sek / 1227,6 * 1000000 Hz = 0,2442102134245683m

1575,42Mhz * 1000000 Hz + dopplerfrekvens i Hz = 1575418799875,875hz som er korrigeret

Kan nå beregne bølgelengde ved å ta:

lyshastighet / korrigeret innkommende frekvens = ny bølgelengde som deretter ganges med en fasemåling fra RINEX-filen for å få avstanden.

Lysets hastighet brukes også til klokkefeil beregninger i kodemålinger.

Bias og støy

Fase- og kodemålinger er begge utsatt for systematiske feil, ofte i form av tilfeldig støy og bias. Bias er et begrep som forklares best med at en variabel har fått en startverdi. (9)

Stort sett kan man klassifisere disse feilkildene inn i tre grupper:

- satellittrelaterte feil
- signaloverføringsfeil
- mottakerfeil

Her kommer man blant inn på hvordan differensiering bidrar til å redusere/fjerne feil. Dersom man benytter enkeldifferensiering kan man i stor grad eliminere satellittspesifikke bias, som



for eksempel klokkefeil. Det samme kan gjøres for mottakeren sin del, og ikke minst kan man ved trippeldifferensiering fjerne integer ambiguity.

Man kan dermed også slå fast at dobbeldifferensierte pseudoavstander vil være jevnt over frie for systematiske feil. På samme måte kan man fjerne mye av problemene med ionosfærisk påvirkning ved å legge til flere frekvenser.

Det er også muligheter for at målingene kan påvirkes av tilfeldig støy. For eksempel er multipath ofte et stort problem. Dette betyr enkelt at signalene fra satellitten «spretter innom» andre reflekterende overflater før den når mottakeren. Dette kan for eksempel være fasaden på et hus, en fjellvegg eller andre objekter med stor flate i nærheten av mottakeren. En såkalt «choke- ring» som blokkerer ut signaler i en viss elevasjonsvinkel har blitt montert på de fleste mottakere, men man skal fortsatt være forsiktig ved måling i by- nære strøk med mange bygninger.

Elektronisk støy kan også oppstå. Her menes for eksempel radiobølger, eller sterkstrømsinstallasjoner. Summen av slike feil kan fort medføre feilmålinger på opptil 5 meter, så det er absolutt verdt å merke seg. (6)



2.4 Navigasjonsmeldinger og RINEX

Som man var inne på under GPS-ens kontrollsegment, så oppdateres informasjonen om satellittenes posisjon og bane nærmest kontinuerlig. Dette foregår gjennom stadig kommunikasjon mellom hovedsentralen og kontrollstasjonene.

En navigasjonsmelding inneholder parametre og informasjon om satellittens helse, satellittens bane, diverse korreksjonsdata, statusmeldinger og andre datameldinger. Denne navigasjonsmeldingen kalkuleres og oppdateres av kontrollsegmentet i faste intervaller, hvor denne meldingen lastes opp til satellittene.

Når man mottar denne meldingen i mottakeren, vanligvis får man 1 melding hver 2. time, er den gyldig i 3-4 timer og deretter må det lastes ned en ny. Dette gjøres automatisk i mottakeren, og kan eksporteres som en RINEX- fil slik at det er mulig å lese ut informasjonen.

Efemeridedataene er nøyaktig ned til cirka 1 meter, men dersom satellitten ikke mottar nye efemeridedata vil denne nøyaktigheten gradvis bli dårligere over tid. (4)

RINEX- filer

RINEX står for Receiver Independent Exchange Format.

Som navnet antyder er dette et utvekslingsformat for rådata fra satellittmålinger. Uansett hvilken mottaker man bruker skal det være mulig å konvertere dataene til RINEX- filer.

Den store fordelen med RINEX- filer er at de er lesbare for mennesker, uten at man trenger noe mer avansert program enn et enkelt tekstbehandlingsprogram, som f.eks Wordpad eller Notepad.

RINEX ble presentert i 1989 av Werner Gurtner fra universitetet i Bern. Bakgrunnen for at RINEX ble presentert var for å samle inn GPS- data når det europeiske EUREF89 skulle skapes. RINEX- formatet har gått gjennom flere revisjoner i takt med at GPS- teknologien har blitt forbedret, og spesielt nå som vi har fått nye navigasjonssystemer, heriblant det europeiske GALILEO og kinesiske COMPASS. Vi er nå oppe i versjon 3.0 av formatet, og siste revidering var i 2007.

RINEX- formatet består av tre filtyper i ASCII-format. ASCII-formatet er en betegnelse på rene tekstfiler.

Disse tre typene er:

Observasjonsdata (.11o for GPS, .11g for GLONASS, .11L for GALILEO)



Sammenligning av GNSS mottakere

Navigasjonsmelding (.11n)

Metrologisk datafil (.11m)

Disse filene følger en svært streng navnekonvensjon hvor filene skal merkes som vist ovenfor med hvilken observasjonstype de inneholder. Dessuten er det lagt inn sterke oppfordringer til å merke alle filer med dato, tid og stasjonsnavn for å gjøre det enkelt for andre å dekode hvor og når filen ble lagret.

Observasjonsfilen inneholder de målte navigasjonsdataene. Dette vil si de målbare størrelsene i form av fasemålinger, kodemålinger og pseudoavstander. Man kan her dra parallellen til landmålingsdata med totalstasjon, der observasjonsfilen inneholder informasjonen om vinkler og avstand.

Navigasjonsmeldingen inneholder, som beskrevet ovenfor, informasjon om satellittens tilstand og bane.

Den metrologiske datafilen inneholder informasjon om værforholdene på måletidspunktet. Dette vil si nedbørsmengde, lufttrykk, temperatur og lignende. (10)

2.5 Feilkilder

Troposfæren

Den laveste delen av jordas atmosfære er troposfæren ("tropos" = gresk og betyr vending/blanding), den strekker seg fra overflaten av jorda og opp til en høyde på ca 10 km i polområdene og til en høyde på ca 16-18 km over de tropiske områdene, høyden avhenger av hvor mye solenergi som når overflaten.

I denne delen dannes de fleste skyer og værphenomener og disse kan være med å påvirke satellittmålinger og gi dem en feilkilde siden signalene blir forstyrret av været i form av temperatur, trykk og luftfuktighet. Denne feilkilden vil gi et avvik på ca 2-10 meter og er ikke avhengig av å bli målt med to frekvenser siden disse vil gi samme signal, reduksjonene blir i stede gjort ut i fra innlagte modeller i mottakerne og restfeil reduseres til dm kvalitet. (11, 12)

Ionosfæren

Den øverste delen av jordas atmosfære er bygd opp av flere lag, stratosfæren, mesosfæren, termosfæren og eksosfæren og det er i hovedsak termosfæren som utgjør ionosfæren, den strekker seg fra ca 80 km til ca 600 km over jordoverflaten. Ionosfæren ble oppdaget i 1901 da observasjoner viste at radiobølger kunne forplante seg over lange avstander (over 1000km) og det ble konstatert at det måtte finnes et elektrisk ledende felt som reflekterte disse radiobølgene.(13)

Denne øverste delen av atmosfæren er ionisert (elektrisk ledende) og er så tynn at frie elektroner kan eksistere før de blir fanget av et positivt ion og antall frie elektroner er såpass høyt at det kan påvirke radiosignalene våre på grunn av den elektromagnetiske kraften. Ionisering er for det meste avhengig av solen og dens aktivitet og ioniseringen i ionosfæren er et resultat av hvor mye stråling som treffer fra solen som igjen resulterer i at strålingen varierer fra dag til dag, årstid til årstid og i tillegg er geografisk betinget (dvs. i polområde eller rundt ekvator).

Ved sol- utbrudd eller solvinder får vi en motsatt effekt i ionosfæren og ioniseringen minker, dette fordi ladde partikler blir ført mot jorden og reagerer med jordens geomagnetiske felt.

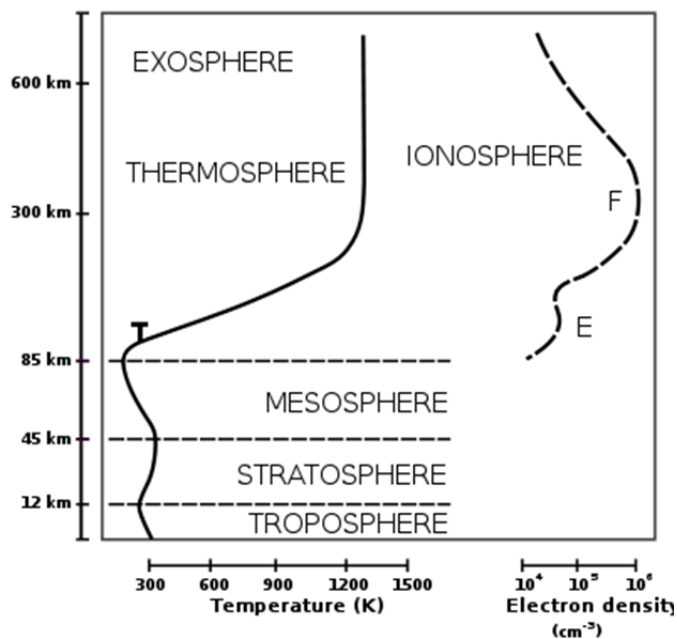
I motsetning til troposfæriske avvik vil ionosfæriske avvik reduseres betraktelig ved å bruke to frekvenser under målingene dette fordi L1 og L2 vil påvirkes forskjellig gjennom ionosfæren og en reduksjon i avviket fra 5-50 meter ned til 10 cm, dette gjøres ved at man regner ut ankomsttid på signalene og ser på differansen i en matematisk modell. For

ènfrekvente mottakere finnes det modellbaserte koeffisienter i navigasjonsmeldingen som kan redusere den ionosfæriske feilkilden med opptil ca 50 %, dette er beregninger som gjøres i mottakeren.

Elevasjonsvinkelen er også en viktig faktor og satellittene bør ligge på minimum 10-15 grader, da satellitter som ligger lavt over horisonten vil få en lengre vei gjennom ionosfæren før signalene når fram til antenna.

Aktiviteten i ionosfæren forandrer seg som sagt ofte og en rom- værmelding gir landmålere muligheten til å planlegge og unngå å måle i perioder med store forstyrrelser i rommet.

På <http://www.swpc.noaa.gov/> kan en sette seg på en mail liste som sender ut meldinger om geomagnetiske stormer, solvind stormer og radio blackouts. (12, 14, 15, 16)



Figur 1 - Atmosfæriske forhold Figur: Wikipedia

Multipath/ Flerveisinterferens

Multipath/ Flerveisinterferens kan være en stor feilkilde, da signalene fra satellittene får en mellomstasjon før de blir registrert i mottakeren og gir seg utslag i avstandsfeil, disse mellomstasjonene kan være bygninger, vann/snøflate, en bil, skog, fjell etc. som befinner seg i nærheten av antennen.

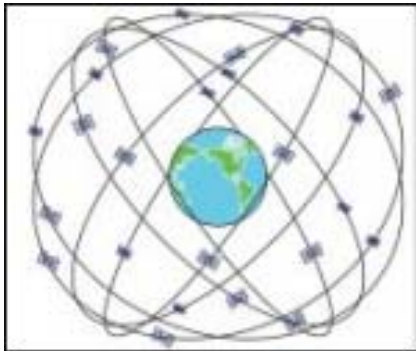
En landmåler bør derfor planlegge målingene sine godt og være oppmerksom på reflekterende flater i nærheten av der målingene skal foregå, en vil også kunne redusere denne feilkilden ved å ha en lengre målesesjon ved statiske målinger. (12, 16)

Cycleslip/ Brudd i fasemåling

Cycleslip / Brudd i fasemåling vil si at mottakeren mister kontakten med satellittsignalene og får et brudd/opphold i målingene, dette kan komme av svakheter og elektronisk støy i mottakerens registreringsenhet. (12)

Banefeil

GPS satellittene går i en banehøyde på ca 20 200 km og har en inklinasjonsvinkel på 55° . ved ekvatorplanet. De går i 6 svakt elliptiske baner med 4 satellitter i hvert plan med en hastighet på ca 4 km/s og bruker ca 12 timer rundt og er godt fordelt slik at hele jordkloden skal få best mulig satellittdekning til enhver tid. (17)



Figur 2 - GPS-satellitter og baner (Bilde: NASA)

Det er som nevnt tidligere 5 kontrollsegmenter rundt om i verden med hovedkontrollstasjonen i Colorado Springs, disse mottar forhåndsbergnede måledata fra satellittene og behandles i hovedkontrollstasjonen før de sendes tilbake til satellittene som korrigerer for banefeil og klokkefeil og returnerer ferdig korrigerede efemerider. Satellittbanene blir altså påvirket av solen, månen og jordas magnetfelt m.m. noe som gir unøyaktige banedata og må korrigeres. Det kan også hentes ut efemerider i form av SP3 filer, disse filene er etterberegnet og mer presise. (12, 18)



Klokkefeil

Satellittene beveger seg som sagt ca 4 km/ s, men mottakerne beveger seg også på grunn av jordrotasjonen og kan bevege seg med en fart opptil ca 464m/ s.(19)

Dette krever at en til enhver tid må kjenne satellittposisjonene så nøyaktig som mulig og satellittene må utstyres med nøyaktige klokker.

Klokkene som benyttes er atomklokker og er de mest nøyaktige på markedet, kontrollsegmentet på bakken sjekker klokkene 3 ganger om dagen og justerer dem, slik at de til enhver tid er så riktige som mulig og mottakerne sine klokker synkroniserer seg opp mot satellittklokkene.

Disse klokkene koster fra 300 000 – 600 000, dette er grunnen til at det kun er satellittene som er utstyrt med disse og ikke mottakerne.

Satellittgeometri

Satellittgeometrien er beskrevet i form av DOP- verdier ”Dilution Of Precision” (minking av nøyaktighet) og forteller om hvordan de synlige satellittene er fordelt rundt på himmelhvelvingen og hvordan geometrien påvirker nøyaktigheten av satellittbasert posisjonsbestemmelse. Med en god geometri vil eventuelle feil i observasjonene i mindre grad forplante seg som feil i posisjonsbestemmelsen.(20)

En høy DOP verdi tilsier at det er en dårlig satellittgeometri, mens en lav DOP verdi vil tilsi at satellittene har en god spredning over himmelen.

Det er fem forskjellige DOP- verdier, P-DOP(Tredimensjonal nøyaktighet), G-DOP(Koordinater pluss tid), H-DOP(Horisontal nøyaktighet), V-DOP(vertikal nøyaktighet) og T- DOP(Tidsbestemmelses nøyaktighet).(18, 21, 22)

PDOP <(mindre enn) 4,0: gir god nøyaktighet på posisjonene

PDOP (mellom) 4,0 – 8,0: gir akseptabel posisjonsnøyaktighet

PDOP >(høyere enn) 8,0: gir dårlig nøyaktighet på posisjonene(20)

De fleste GNSS- mottakere kan stilles inn med en øvre grense på DOP slik at alle målinger med en høyere DOP enn grensen ikke blir registrert.

Ved bruk av et høyere antall satellitter 10 eller flere vil de store talls lover gjøre seg gjeldene, det vil si at feilene tenderer til å redusere hverandre, en kan her også oppleve at DOP- verdier går ned til 1 og under det i visse situasjoner.(22)



Satellitdekning

Satellitdekning går på antall synlige satellitter og antallet varierer gjennom hele døgnet. Det er derfor viktig å planlegge tidspunkt for målingene godt slik at en til enhver tid har et godt utgangspunkt for gode resultater. Ved statiske målinger bør det være minst 4 satellitter synlige, men helst et minimum på 5-6, da en vil få en mer nøyaktig posisjonering jo flere synlige satellitter en har. For å planlegge beste mulige tidspunkt for målingene finnes det en del planleggingsprogrammer som en kan laste ned gratis på nett sammen med en almanakk for samme tidsrom. Her kan sette inn dato og klokkeslett for når man skal måle og få opp informasjon om hvilke satellitter som er synlige, hvor de står på himmelhvelvingen og DOP. Ut fra dette blir det da enklere å planlegge slik at en får brukt tiden bedre og kan jobbe med andre oppgaver dersom det skal være for dårlige forutsetninger for gode målinger en dag.(18, 20)

3 Metode

3.1 Metoder

Når det gjelder bruk av metoder deler man disse opp i to forskjellige retninger.

Den grenen som kalles kvalitative metoder baserer seg i hovedsak på hvordan hendelser og erfaring har blitt opplevd. Dette gjør at datainnsamlingen i stor grad foregår gjennom observasjon og intervjuer, noe som ikke gir veldig målbare data. Denne typen innsamling av data gjør derfor at kvalitative metoder i stor grad er knyttet opp mot samfunnsspørsmål og sosiale prosesser. Derfor er kvalitative metoder mest brukt innenfor forskning knyttet til mennesker, slik som psykologi og antropologi.(23)

Kvantitative metoder tar derimot for seg målbare elementer som f.eks. tall. Denne typen metode vil derfor ha en større vekt på nøyaktighet og et fastlagt opplegg enn kvalitative metoder, der datainnsamlingsprosessen vil være mindre strukturert. Med en kvantitativ metode vil man i større grad telle eller måle, noe som gjør at en klar og tydelig presentasjon av dataene gjøres mulig. (24)

3.2 Valg av metode

Med bakgrunn i de teoretiske definisjonene og en kartlegging av hva som ble ønsket oppnådd med denne oppgaven ble det valgt en kvantitativ metode som hovedmetode. Ved å lage en prosedyre hvor hver mottaker kan testes under tilnærmet like forhold legges det vekt på at tallmaterialet er representativt og nøyaktig, samtidig som dataene samles inn på likt grunnlag. En testprosedyre vil være planlagt og testet før selve datainnsamlingen begynner for å sikre at kvaliteten på dataene er best mulig. Den vil også returnere målbare størrelser, noe som også faller inne under kvantitativ metode.

Det har også blitt brukt kvalitativ metode for et intervju, men det er de kvantitative dataene som er oppgavens hovedkilde for beregning, analyse og konklusjon.



4 Prosess

4.1 Forberedelsesfasen

Å sammenfatte en problemstilling var et av de første målene. Her ble det vurdert andre typer oppgaver, blant annet å kartlegge bruksområder for et nytt radiobasert navigasjonssystem. Imidlertid falt vi ned på et av George Preiss sine forslag, en sammenligning mellom mottatte signaler i GNSS-utstyr.

I startfasen ble tiden brukt til å hente informasjon og planlegge hvordan oppgaven skulle utføres på best mulig måte. Det ble også brukt mye tid på det administrative, blant annet levering av problemstilling, prosjektplan og få satt opp en webside som beskrev hva oppgaven gikk ut på.

Det ble tidlig fastslått at det måtte hentes inn mer utstyr enn det som var tilgjengelig på Høgskolen i Gjøvik. Fem mottakere er ikke tilstrekkelig til å et skikkelig sammenligningsgrunnlag, og derfor ble det opprettet kontakt med flere forskjellige leverandører for å høre hva de kunne tilby.

Det ambisiøse målet om å få 10-15 mottakere av forskjellige typer viste seg raskt å være litt for ambisiøst. Flere av utstyrproduzentene vi var i kontakt med hadde ikke mulighet for å låne ut utstyr i det hele tatt, eller i svært begrensede kvanta. Til slutt endte det derfor opp med seks mottakere fra to forskjellige leverandører.

Disse ble utlånt fra Leica Norge og SiTech, og var av typen Leica ATX1230 og Trimble SPS882.

Allerede tidlig i oppgaven, før måleprosedyre ble laget og utstyret hentet, begynte arbeidet med teoridelen. Det ble valgt å starte med dette tidlig for å ha byggesteinene på plass før beregninger skulle gjøres. Med et godt faglig grunnlag var det også enklere å planlegge en testprosedyre i tråd med hvilke utfordringer man kunne møte på.

Forberedelsesfasen innebar også å lage en prosedyre for test av alt utstyret. Denne skulle være lik for alle mottakerne, for å bidra til jevne og like resultater.

4.2 Målefasen

Innhenting av data til videre analyse var et av de viktigste delmålene i denne oppgaven. Samtidig var dette også en av de større utfordringene man støtte på, og det var ingen umiddelbare fasitsvar på hvordan dette burde gjøres. Det betyr at det blir litt prøving og feiling før man får de resultatene man ønsker.

Når et instrument testes og kalibreres foregår dette i laboratoriemiljøer hvor forholdene er helt identiske for hver og en av mottakerne som testes. I denne oppgaven var det ikke tilgang på slike testsentre, derfor måtte testingen av mottakerne forenkles. Den eneste faste faktoren var at de tre søylene på toppen av Høgskolen i Gjøviks parkeringshus er fastmontert og stabile. Etersom målingene skulle foregå i friluft gjorde dette at det kommer inn en rekke faktorer det er vanskelig å ta stilling til, og ikke minst er det svært vanskelig å sikre identiske måleforhold for absolutt alle mottakerne med slike forutsetninger.

Et hovedpoeng for målingene var derfor at målingene måtte foregå under tilnærmet identiske forhold, med de hensyn som kunne tas til ukjente variabler.

Været er en av disse ukjente variablene. Man kan dele inn været i to grupper. Lokalt vær på jordkloden i form av snø, regn og vind. Dette skal ikke være i stand til å påvirke GPS i noen særlig grad. Den andre gruppen er været ute i rommet.

Her er solstormer det mest alvorlige, og dette kan i høy grad påvirke satellittsystemer. Av denne grunn er det laget værvarslingstjenester² som overvåker værforholdene i rommet og kan sende ut e-postvarsling dersom noe skjer. Selv om det lokale været ikke skal påvirke målingene i noen særlig grad har det allikevel blitt valgt å legge målingene til dager med klarvær slik at dette ikke skal være en medvirkende faktor.



*Figur 3 - Eksempel på benyttet søyle
Bilde: Jeanette Beinset Magnus*

² For eksempel spaceweather.com og swpc.noaa.gov



Værforholdene i rommet er vanskeligere å ta hensyn til, da de kan skifte raskt.

De første målingene våre ble utført 2. mars med en måling nummer to 5. mars. Den 8. mars traff en kraftig solstorm jorda og gjorde at vi valgte å utsette de siste målingene til aktiviteten hadde roet seg ned. (25)

Dette fordi det var fare for at satellittsystemer kunne bli påvirket.

Et annet moment er ionosfæriske forstyrrelser. I gjennomsnitt kan dette gi feil i størrelsesordenen 5-7 meter. Siden dette er et gjennomsnitt kan det derimot bety at feilene i praksis er mye større. Den beste måten å redusere denne forstyrrelsen på er å bruke mottakere med to frekvenser. Dette var medvirkende årsak til at det fortrinnsvis ble valgt utstyr med to frekvenser, både fra Leica og Trimble. Siden mottakerne i testen stod med 5 og 10 meters mellomrom fra "benchmark" kan man anta at denne typen påvirkning vil gjelde for alle tre mottakerne samtidig. Det vil derfor mulig å differensiere ut mye av den eventuelle målefeilen i etterkant.

Dette gjelder også for en annen faktor, multipath. Det betyr enkelt at signalene kan reflekteres fra større flater i nærheten av mottakeren og dermed gi et misforhold mellom den faktiske reisetiden til signalet og dermed gi målefeil. I den tiden målingene ble utført var det fortsatt en del snø rundt i distriktet. Dette ga særlig utslag i en relativt stor haug med snø foran måleområdet. Dette kan unngås ved å sette en høyere elevasjons/avkuttningvinkel for mottakeren. Kort forklart betyr dette at man snevrer inn vinduet mottakeren kan måle i. Dersom satellitter står lavt på horisonten kan man fjerne disse satellittene ved å si at mottakeren kun skal velge satellitter over en viss vinkel i forhold til jordoverflaten. I denne testen var denne vinkelen satt til 15 grader, og dette bør ha vært nok til at satellitter som ble valgt lå godt over snøhaugen.

Satellittdekningen kan også være vanskelig å ta hensyn til. Til tross for at man har planleggingsprogramvare som kan kalkulere hvor mange satellitter man har synlig ved en bestemt posisjon betyr ikke dette at det alltid er slik i praksis. Satellittbanene kalkuleres på forhånd i såkalte almanakker. Dette er en oversikt over hvor satellittene teoretisk sett til enhver tid skal befinne seg, men i praksis viste det seg at denne ikke var helt nøyaktig til enhver tid. Allikevel var ikke avviket sjeldent noe mer enn 1-2 satellitter, noe som må kunne sies å være akseptabelt.



Oppgaven baserer seg på hvordan mottakere mottar signaler og hva som skjer med dem etterpå. Derfor er det viktig at så mange mottakere som mulig mottar de samme signalene, så langt dette lar seg gjøre. Et moment var derfor at mottakerne burde stå i samme område, og til et slikt bruk passet de tre søylene på garasjetaket fint. Disse tre søylene har en godt bestemt posisjon og det kan nesten garanteres at mottakere vil motta de samme signalene siden avstanden mellom søylene er cirka 5 meter.

Det ble derfor valgt å bruke en av skolens mottakere som en referansemottaker. Denne skulle stå på samme søyle gjennom hele måleperioden, mens de to andre søylene ville få byttet ut mottakere med jevne mellomrom.

Under en vanlig statistisk målekampanje hvor man benytter etterprosessering er det vanligvis tilstrekkelig med 20-30 minutters sesjoner hvor man logger posisjon hvert 10. sekund. I denne oppgaven var ikke posisjon så viktig, siden det var selve målingene man ønsket å analysere. Derfor ble sesjonslengden satt til 1 time med måleintervall hvert sekund. Dette betyr at man for hver time har fått ca 3600 målinger pr mottaker, med andre ord et godt sammenligningsgrunnlag for hvilke signaler mottakerne hadde mottatt.

Ettersom hver mottaker skulle måle i én time innebar dette at satellittene ville flytte mye på seg før alle mottakerne hadde fått målt. Derfor var det viktig å notere hvor mange satellitter som var synlig ved start og slutt av målingene.

Dette var også en årsak til at man ønsket flest mulig satellitter synlig slik at man fikk et så bredt målegrunnlag som mulig.

En GPS- satellitt har en omløpstid på 11 timer og 58 minutter. Dette betyr at man har en “fullstendig” utskiftning av satellitter cirka hver 6. time.

Dette anses ikke som et problem fordi det hele tiden vil være tre mottakere som ser de samme satellittene. Allikevel har de forskjellige mottakere, så langt det har latt seg gjøre, målt på forskjellige tidspunkter slik at de fikk målt to omganger med relativt forskjellig konstellasjon.

Antennehøyden varierer også mellom antennene, og ikke minst det elektroniske fasesenteret. Når man måler inn antennehøyden er det viktig at man har et fast punkt for hver antenne hvor man måler høyden. Dette er fordi man er avhengig av å kunne beregne den sanne antennehøyden senere. Alle antenner har et ARP (Antenna Reference Point). I de aller fleste

tilfeller er dette nederste flate på instrumentet, men i Trimbles tilfelle var det faktisk et punkt på toppen av bolten så fremt antennen var skrudd helt ned på bolten. For Trimble fikk man dermed et ekstra referansepunkt for høyden, som ikke var nederst på instrumentet.

Leica ATX1230



Figur 4 - Måling av antennehøyde, referansepunkt er midtre gummiring (Bilde: Jeanette Beinset Magnus)

Trimble SPS882



Figur 5 - Måling av bolthøyde, antennen har internt referansepunkt (Bilde: Jeanette Beinset Magnus)

Leica GS15



Figur 6 - Måling av antennehøyde, referansepunkt er midtre gummiring (Bilde: Jeanette Beinset Magnus)

Her kommer også problemstillingen om hvorvidt antennene skal orienteres mot nord eller ikke. I følge leverandørene av utstyret var det tvilsomt om orienteringen ville ha noe å si, da dette med å orientere antennen mot nord i utgangspunktet var noe man hadde gitt seg med for lenge siden. Argumentasjonen for dette er den såkalte "antenne offset"-en, som sier noe om hvor fasesenteret for antennen ligger. Dette varierer i takt med satellittgeometrien, og det er derfor logisk å anta at dette fasesenteret kan ligge på svært forskjellige plasser om antennene peker i forskjellige retninger til tross for at antennene står ved siden av hverandre.

I følge utstyrsleverandørene skal imidlertid disse offsetene har blitt såpass små at dette ikke lenger er en relevant problemstilling i vanlig landmålingsarbeid. Men dersom man ville være helt sikker på at dette ikke skulle bli et tema, var det ikke noe i veien for å plassere alle antennene i samme retning.

Det er derimot interessant å se på hvilke utslag det egentlig vil ha. Selv om det har blitt målt inn antennehøyde både før og etter ved oppsett av antennene, betyr ikke dette at målingene er helt korrekte. Faktisk er det sannsynlig at de svært få millimeterne som utgjør antenneoffset allerede blir spist opp av mulighetene for millimeterfeil i målingen av antennehøyden. Dette foregår tross alt med vanlig tommestokk, med de ulemper det medfører.

Enda verre blir det i grunnriss, hvor antenneoffset i mange tilfeller er mikroskopisk og antagelig lite merkbart i denne oppgavens eksperimenter.



Det kan også tenkes at små variasjoner i trefotens vatrings kan ha påvirket instrumentet. Selv om vatrings ble sjekket mellom hvert utstyrsskift, er det ingen garanti for at vatrings faktisk var på eksakt samme sted hver eneste gang.

Selve målingen av antennehøyden er viktig, da dette kan dreie seg om mange centimeter i høyde og dermed påvirke resultatene både i høyde og grunnriss med ganske mange centimeter.

Men om det er kritisk at antennen peker mot nord finnes svært usannsynlig, spesielt i denne typen oppgave hvor det neppe blir viktig å jakte på de ørsmå millimeterne i forskjell.

Nøyaktigheten til mottakerne som er brukt i testingen vil i beste fall være på noen centimeter etter 1 times målinger, og dermed kan det i hvert fall virke meningsløst å jakte millimeterne.



4.3 Beregningsfasen

Den andre delen av denne oppgaven var beregning av de målte dataene fra mottakerne.

Vanligvis ville man brukt etterberegningsprogramvare til dette, noe som er en kjapp og enkel prosess. I denne oppgaven ønsker man derimot å ha en større kontroll på dataene, ikke minst på grunn av den simulerte «splittingen» som skal gjøres.

Når mottakeren lagrer måledataene skjer dette stort sett i et produsentspesifisert filformat. Nyere Leica-mottakere som f.eks. GS15 kan lagre direkte i RINEX-formatet. For de eldre Leica-mottakerne og Trimble-mottakerne var ikke dette en mulighet, slik at dataene måtte konverteres til RINEX-format i etterkant. For Leica-mottakere kan dette gjøres med Leica GeoOffice (LGO), da rådataene kan leses rett inn fra mottakerne. Trimble-mottakerne hadde et eget konverteringsprogram.

Poenget med RINEX er at dette skal være et standardisert utvekslingformat. Samtidig er ikke dette standardisert etter ISO-standarden. Dette innebærer at forskjellige produsenter har forskjellige måter å lage RINEX-filer på, selv om de følger grunnprinsippene beskrevet i RINEX-standarden. Siden dataene skal kjøres gjennom et lite program laget spesielt for denne oppgaven, er de små forskjellene mellom RINEX-filene så stor at det ble valgt å bruke LGO for å konvertere de ulike RINEX-filene til unisone filer med lik formatering.

Prosesen ved å kalkulere mottakerposisjon innledes vanligvis av at man kalkulerer posisjonen til hver enkelt synlig satellitt på måletidspunktet ved hjelp av data fra navigasjonsfilen. I denne oppgaven ble det imidlertid valgt å bruke SP3-filer som inneholder ferdig kalkulert satellittposisjon for hvert 15. minutt. Dersom man for eksempel velger å beregne mottakerposisjon klokken 12.15 vil man dermed ha presise satellittkoordinater tilgjengelig, uten å måtte beregne dem på forhånd.

Som verktøy for beregninger i denne oppgaven ble det valgt å bruke Microsoft Excel i tillegg til spesialisert programvare, siden dette er et verktøy som er godt egnet for de tallmengder som oppstår. En vanlig kalkulator vil for eksempel ikke takle mer enn 11 tall, og i denne typen beregninger kommer man raskt opp i 13 tall med mer. Excel kan derimot takle opptil 16 tall, mer enn nok for beregningene.

Det første steget i beregningene er å hente ut de påkrevde data. I denne oppgaven benyttes det



ferdig utregnede data fra International GNSS Service i USA, de tidligere nevnte SP3-filene. I RINEX-filene kan man også finne igjen navigasjonsmeldingen som er sendt fra satellitten til mottakeren. Denne inneholder teoretiske data for hvor satellitten skal befinne seg, men dette kan til tider ha svært høye avvik fra den faktisk og etterberegnete posisjonen man får fra SP3-filene.

Navigasjonsmeldingen inneholder også bare satellittposisjon for hver halvtime, i motsetning til SP3s 15. minutter. Dessuten inneholder også SP3-filene den endelige klokkekorreksjonen til satellittens atomklokker.

Før man starter beregningene er det viktig å kartlegge hvilke enheter dataene oppgis i.

SP3-filene leverer sine jordsentriske satellittkoordinater i kilometer, mens klokkefeil leveres i mikrosekunder. Mottakernes RINEX-filer inneholder derimot målinger i meter. Formlene som benyttes i beregningen tar også utgangspunkt i at dataene er i meter og at klokkefeilene oppgis i sekunder, slik at disse må konverteres før de kan brukes.

Blant annet må koordinatene fra SP3-filene multipliseres med 1000 for å få ut koordinatene i meter, mens mikrosekundene må divideres på 1 000 000 for å få sekunder.

Første trinn i en slik beregning vil være å finne forskjellen i meter mellom de provisoriske koordinatene i mottakeren og satellittenes koordinater. Disse provisoriske koordinatene er som regel den siste lagrede posisjonen til mottakeren, og fungerer som utgangspunkt når mottakeren skal finne ut hvor den er. Disse kan hentes ut fra RINEX-filens header.

Dermed kan differansen fåes ved å benytte formlene(26):

$$X_{sat} - X_{prov}$$

$$Y_{sat} - Y_{prov}$$

$$Z_{sat} - Z_{prov}$$

Så kan man benytte differansene mellom X, Y og Z-koordinater til å beregne avstanden mellom mottaker og satellitt ved hjelp av formelen:

$$\sqrt{X_{diff}^2 + Y_{diff}^2 + Z_{diff}^2}$$

Denne avstanden kan også utledes direkte gjennom formelen:

$$\sqrt{(X_{sat} - X_{prov})^2 + (Y_{sat} - Y_{prov})^2 + (Z_{sat} - Z_{prov})^2}$$

Når man har den teoretiske avstanden mellom mottaker og satellitt kan man beregne CO-verdien. Dette er differansen mellom beregnede og målte avstander. (Computed – Observed). De faktisk målte pseudoavstandene kan hentes inn fra mottakeres RINEX-fil og kalles i hovedsak C1 og C2, hvor det henvises til at avstandene er kodemålt både på L1- og L2-frekvensen.

Dette betyr avstanden som er målt mellom satellittens sendepunkt og antennens elektroniske fasesenter. Siden fasesenteret er elektronisk varierer dettes posisjon i forhold til satellittens elevasjon og posisjon.

For å beregne sin egen posisjon bruker mottakeren minste kvadraters metode.

Denne metoden går ut på å velge den løsningen med minst sprik mellom observasjoner og løsning, selv om dette bare er tilnærmet mulig. (27) I praksis betyr dette at vi beregner avstanden mellom mottaker og satellitt, og dette vil gi oss korreksjoner til de provisoriske koordinatene. Deretter kan disse korreksjonene adderes med de provisoriske koordinatene for å få endelig posisjon til mottakeren. For å få den beste løsningen beregner man korreksjoner på nytt gjennom flere iterasjoner.

Dette kan man se gjennom en normalfordeling med Gauss-kurven, hvor resultatene i de fleste tilfeller kan få større og større korreksjoner før de etter 5-6 iterasjoner vil bli så små at de i praksis ikke gir utslag på de endelige koordinatene lenger.

Normalfordeling baserer seg på at de fleste observasjoner ligger tett opptil et middelpunkt, med enkelte avvik på hver side av middelpunktet. (28)

For å beregne disse korreksjonene til koordinatene vil det først være nødvendig å se på hvilke ukjente størrelser man har. I dette tilfellet vil korreksjonene til X, Y og Z-koordinaten være ukjent, samt klokkefeilen i mottakeren.

Det vil derfor være nødvendig å sette opp observasjonslikninger. Disse tar utgangspunkt i hver observasjon som er tilgjengelig, i dette tilfellet hver satellitt. Tidligere forsøk har vist at det er mulig å løse observasjonslikningene direkte, så fremt man har 4 observasjoner eller mindre. Dette vil gi samme resultat som om man skulle omgjort dem til en normallikning først, noe som vil være nødvendig med mer enn 4 observasjoner.



Det er verdt å nevne seg at denne kalkulasjonen av mottakerposisjon ikke tar hensyn til ionosfæriske og troposfæriske forhold, samt multipath. Dette er en ren kalkulasjon av avstanden mellom satellitt og mottaker. Å vise differanser blir derfor viktig. Ved å vise forskjellene mellom mottakeren kan man fjerne disse feilkildene, så fremt man kan anta at de er tilstede på begge to.

Multipath vil for eksempel være til stede på begge mottakerne, med tanke på at avstanden mellom dem er liten. Når denne feilen inntreffer begge steder, kan man enkelt differensiere dem ut.

For eksempel, mottakerberegningen viser at det i mange tilfeller skiller 13 meter i x-retning mellom bestemte koordinater og beregnet posisjon. Det er ikke en urimelig forskjell med tanke på hvordan det hele beregnes. For det første har mottakeren variabel nøyaktighet på posisjon. Dette kan variere opp mot 3-4 meter.

Etter å ha beregnet mottakerens posisjon, gikk det videre til neste steg. Dette innebar å kalkulere avstanden mellom de teoretiske fasesentrene. Her ble de gitte koordinatene til søylene brukt som utgangspunkt, men korrigert for antennehøyde. Antennehøyden ble hentet fra National Geodetic Survey³, som har kalibreringsdata for de fleste GNSS-antennene. Dette er en korreksjon til antennens antatte fasesenter. I målefasen ble antennens høyde målt fra en bolt på søylene og opp til et lett gjenkjennelig punkt på antennen. Deretter måtte høyden mellom antennens ARP (Antenna Reference Point), og dette gjenkjennelige punktet måles. ARP er spesifisert fra produsenten og befinner seg vanligvis i bunn av antennen. Deretter trekker man antennens høyde fra ARP til målt punkt fra målt punkt på antenne til målt punkt på søyle. Denne differansen adderes deretter sammen med høydekorreksjonen fra NGS. I antennefilene til NGS oppgis korreksjonen for øst, nord og høyde. Øst og nord-korreksjonen er minimal, og derfor ble kun høyde brukt i denne oppgaven. Disse var i størrelsesorden 11 til 20 cm.

Når sann antennehøyde for alle mottakerne var kalkulert ble de kjente koordinatene for søylene lagt inn i WSKTRANS, et transformasjonsprogram fra Statens Kartverk. Dette kan transformere koordinatene fra jordsentrisk XYZ til Euref89 med ellipsoidiske høyder. Deretter ble den sanne antennehøyden lagt til den ellipsoidiske høyden før koordinatene ble

³ <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>



transformert tilbake til XYZ. Korreksjonen ble dermed fordelt utover XYZ-koordinatene, slik at man fikk “løftet” hele punktet opp til antennens fasesenter.

Det første resultatet av George sine programmer kom tilbake i form av SP3-koordinater for hver enkelt satellitt, hvert sekund sortert på Sekund-i-Uke. Dette er en annen måte å angi tid på, som tar utgangspunkt i den Julianske kalenderen. Denne kalenderen deler ikke opp tiden i dager og år, men teller dager fra 1. januar 4713 f.Kr.

En annen del av denne oppgaven er å lure GPS-mottakeren til å tro at den i virkelig står i et annet punkt. Dette innebærer at en geometrisk utfordring må løses. Dette baserer seg på trekanten som oppstår mellom satellitt, mottaker i et punkt og benchmark-mottakeren i sitt faste punkt. Dette gir en trekant med tre kjente sider, siden vi har målinger fra satellitt til begge punktene og vi har kalkulert koordinatene slik at vi får en differanse mellom de to mottakerne.

Utfordringen ligger i å kunne beregne en korreksjon til den ene mottakeres pseudoavstand, slik at denne kan forlenges eller forkortes bort til benchmark-mottakeren.

Dette gir imidlertid en geometrisk utfordring fordi de to pseudoavstandene som måles vil være tilnærmet parallelle på grunn av den lange avstanden mellom mottakere og satellitter. Alternative måter å beregne korreksjonen kan derfor være å benytte retningsvinkler, siden koordinater på alle tre punkter er kjent.

Denne beregningsmetoden ble implementert i George Preiss' eget utviklede program. Her mates det inn antennekorrigerte koordinater, og deretter beregnes en korreksjon for hver satellitt i hver epoke. Dette dreier seg med andre ord om 300-400 000 linjer, og tar derfor en del tid å kjøre igjennom.

Dessverre ble ikke programmet som skulle beregne nye pseudoavstander basert på korreksjonene ferdig i tide. Det ble derfor valgt å fokusere på den teoretiske utregningen av posisjon, men i langt mindre skala.

Et program kalt RTKLib har mulighet for å beregne omtrent alle typer satellittmålinger. Dette baserer seg i hovedsak på fasemålinger, og følger en annen fremgangsmetode enn utregning av posisjon basert på kodemålinger. Mens kodemålinger som kjent baserer seg på generert kode i mottaker og satellitt, måles fase på bæreølgen i signalet mellom mottaker og satellitt.



Siden selve posisjonen ble det valgt og beregnet i RTKLib, da dette er et svært nyttig program for denne typen beregninger. Ikke minst går det også svært raskt å beregne mange posisjoner, spesielt sett opp i mot metoden med Excel-ark for hver mottaker.

Her snakkes det også om korreksjoner, men i dette tilfellet dreier det seg om korreksjoner på bærebølgen.

RINEX-filen oppgir C1C og C2W, dette vil si kodemålinger (pseudoavstander) på L1 og L2. Den inneholder også L1C og L2W, som vil si målinger på bærebølgen (fasemålinger), i tillegg til dopplereffekten for hver måling som kalles L1D og L2D. Bemerk at disse betegnelse kan endre seg mellom forskjellige produsenter.

Korreksjonene til avstanden er allerede beregnet gjennom Georges program. Dette betyr at det eksisterer korreksjoner i meter til pseudoavstanden. Det er dermed mulig å korrigere kodemålingene ved å bruke:

$$C1C = C1C_{\text{opprinnelig}} + \text{korreksjon}$$

$$C2W = C2W_{\text{opprinnelig}} + \text{korreksjon}$$

Deretter må frekvensen korrigeres. Med dette menes grunnfrekvensen korrigert for dopplereffekten som oppstår. Denne er som kjent oppgitt i RINEX-filer, men her kan et problem oppstå. Trimble's RINEX-konverteringsprogram krever at man oppgir at man ønsker doppler-korreksjoner i konverteringsprosessen. Dette i kontrast til Leica hvor doppler-effekten følger med automatisk. Man bør derfor undersøke konverteringsprogrammene godt, slik at man er sikker på å få med all nødvendig informasjon.

Grunnfrekvensen i GPS er for L1 = 1575,42 MHz, mens L2 = 1227,6 MHz. Doppler-effekten oppgis i Hz, slik at formelen for dopplerkorrigering blir følgende:

$$L1C = 1575,42 \text{ MHz} * 1\,000\,000 + L1D$$

$$L2W = 1227,6 \text{ MHz} * 1\,000\,000 + L2D$$

Dette gir grunnfrekvens korrigert for dopplereffekt.

Som nevnt måles fase på bølgelengden. Bølgelengden på frekvensen 1575,42 MHz tilsvarer ca. 0,19 meter. Dette kan kalkuleres ved hjelp av forskjellige frekvenskalkulatorer tilgjengelig på internett. De fungerer imidlertid etter samme prinsipp etter formelen:

$$\lambda = \frac{c}{f_{\text{kor}}}$$



Hvor λ tilsvarer bølgelengde som er lik lysets hastighet (c) dividert på korrigert frekvens. Dette gir bølgelengden for hver enkelt dopplerkorrigerede frekvens, men her dreier det seg om svært små størrelser. Om dette beregnes for hånd bør man ta hensyn til dette gjennom å benytte 7 eller 8 desimaler.

Med bølgelengdene for hver måling på plass kan man beregne avstandskorreksjonen mellom mottaker og benchmark i bølgelengder:

$$\frac{D_{s\ddot{y}le}}{\lambda} = \text{korreksjon i bølgelengder}$$

Dermed har man konvertert den opprinnelige korreksjonen på kodemålingene til korreksjoner i bølgelengder som kan adderes til opprinnelige fasemålinger gjennom:

$$L1C_{\text{opprinnelig}} + \text{korreksjon}_{\text{bølgelengder}}$$

$$L2W_{\text{opprinnelig}} + \text{korreksjon}_{\text{bølgelengder}}$$

Når begge disse korreksjonsprosessene er gjennomført, vil man sitte igjen med nye avstander for både kode- og fasemålinger. Dermed kan man redigere RINEX-filen for å gjenspeile de nye avstandene. Dette gjøres for hver epoke, hvilket forklarer hvorfor det vil være nødvendig med et program når datamengdene blir så store som i denne oppgaven.

Denne redigerte RINEX-filen kan deretter kjøres i RTKLib, som kan beregne nye posisjoner basert på korreksjonene. Dette kan også gjøres for hånd, gjennom å multiplisere den nye L1C/L2W med bølgelengden på det aktuelle signalet og få en avstand i meter som kan erstatte pseudoavstanden i tidligere beregninger.

I utgangspunktet tar ikke denne typen beregninger til ionosfærisk refraksjon. RTKLib har derimot mulighet for å gjennomføre posisjonsbestemmelse basert på både L1 og L2, noe som i stor grad vil utelukke denne typen påvirkning.

5 Resultater

5.1 RTKLib Precise Point Positioning – Gitte S1

S1 – Leica GS15	X	Y	Z
GITT	3067011,048	578195,294	5543962,501
MÅLT	3067010,838	578195,328	5543961,816
DIFF	0,210	-0,034	0,685

S2 – Trimble SPS882	X	Y	Z
GS15 MÅLT S1	3067010,838	578195,328	5543961,816
SPS882 SIMULERT S1	3067012,953	578197,788	5543961,609
DIFF	-2,115	-2,460	0,207

S3 – Leica ATX1230	X	Y	Z
GS15 MÅLT S1	3067010,838	578195,328	5543961,816
ATX1230 SIMULERT S1	3067013,095	578198,423	5543961,592
DIFF	-2,257	-3,095	0,224

Tabell 1 - RTKLib PPP - Gitt S1

I denne beregningen er de gitte koordinatene for S1 godt bestemt, og det viser differansen mellom gitte koordinater og målte koordinater med en Leica GS15-mottaker i punkt S1. Disse dataene er beregnet ved hjelp av RTKLib med en Precise Point Positioning-løsning.

Trimble SPS882 og Leica ATX1230 har målt i punkt S2 og S3 respektivt, men er i denne beregningen «flyttet» til S1 ved hjelp av simulering.

I denne prosessen er begge frekvenser brukt for å hindre ionosfærisk påvirkning, men det kan være andre feilkilder inne i bildet. Blant annet kan det ikke utelukkes multipath, dessuten er det viktig å huske at dette er én enkeltmåling. Posisjon bestemmes vanligvis av flere målinger over lengre tid og deretter bestemmes en middelvei basert på alle målingene.

5.2 RTKLib – Single Point Positioning – Gitte S1

S1 – Leica GS15	X	Y	Z
GITT	3067011,048	578195,294	5543962,501
MÅLT	3067010,842	578195,324	5543961,849
DIFF	0,206	-0,030	0,652

S2 – Trimble SPS882	X	Y	Z
GS15 MÅLT S1	3067010,842	578195,324	5543961,849
SPS882 SIMULERT S1	3067012,951	578197,780	5543961,594
DIFF	-2,109	-2,456	0,255

S3 – Leica ATX1230	X	Y	Z
GS15 MÅLT S1	3067010,842	578195,324	5543961,849
ATX1230 SIMULERT S1	3067013,117	578195,436	5543961,609
DIFF	-2,275	-0,112	0,240

Tabell 2 - RTKLib SPP - Gitt S1

I denne tabellen er dataene beregnet på samme måte som over, men med en Single Point Position-løsning. Det viser seg at disse to ikke utgjør noen særlig forskjell i praksis. Avvikene ligger allikevel på rundt 2 meter, bortsett fra 11 centimeter i Y-retning for Leica ATX1230-mottakeren.

Her er det også brukt begge frekvensene for å motvirke ionosfærisk påvirkning. Ellers gjelder det samme her som for PPP-løsningen. Det er snakk om én enkeltmåling hvor det i tillegg kan være andre feilkilder som spiller inn.

5.3 Manuell beregning – Gitte S1

S1 – LEICA GS15	X	Y	Z
GITT	3067011,048	578195,294	5543962,501
MÅLT	3066993,015	578205,382	5543974,051
DIFF	18,033	-10,088	-11,550

S2 – TRIMBLE SPS882	X	Y	Z
GS15 MÅLT S1	3066993,015	578205,382	5543974,051
SPS882 SIMULERT S1	3066994,571	578205,791	5543974,806
DIFF	-1,556	-0,409	-0,755

S3 – LEICA ATX1230	X	Y	Z
GS15 MÅLT S1	3066993,015	578205,382	5543974,051
ATX1230 SIMULERT S1	3066994,753	578205,543	5543973,989
DIFF	-1,738	-0,161	0,062

Tabell 3 - Manuell beregning, Gitt S1

I denne tabellen er det brukt Microsoft Excel for å beregne posisjon. Dette er altså utført etter prinsippene som er forklart under beregningsprosessen tidligere, med benyttede fasemålinger på L1-frekvensen.

Det store avviket mellom gitt og målt for Leica GS15-mottakeren kan forklares ved at denne prosessen ikke tar hensyn til blant annet ionosfærisk forstyrrelse. Som tidligere forklart kan dette fort utgjøre 5-7 meter, i tillegg til faren for multipath. En slik beregningsprosess tar heller ikke hensyn til eventuelt dårlige satellitter som etterbehandlingsprogramvare eliminerer. I tillegg til at det dreier seg om én enkeltmåling hvor det ikke er tatt hensyn til antennekorreksjoner, noe som særlig slår ut i høyden.

5.4 Drøfting av signalmottak

Etter en samtale med Christian Rost ble det påpekt viktigheten av å måle med alle mottakere samtidig. I denne oppgaven har det blitt valgt å måle med en fast mottaker som referansestasjon, mens de to øvrige mottakerne har blitt byttet ut for hver time. Dette er riktignok først og fremst vesentlig innenfor statiske målinger, mens det i denne oppgaven har blitt brukt en enkeltpunktsbestemmelse for hver søyle. Det anses derfor ikke som kritisk å måle med mottakerne på samme tid, da posisjonen bør være lik for hver søyle uavhengig av måletidspunkt. Det er heller ikke beregning av vektorer involvert, og derfor bør dette kravet kunne utelates.

Foran søylene lå det ved måletidspunktet en stor snøhaug. Denne ble det besluttet at kunne ligge der, fordi man kan anta at en eventuell multipath-påvirkning ville ha påvirket alle tre mottakerne samtidig. Derfor bør man kunne fjerne denne feilkilden ved å finne differanser mellom målingene. Dette gjelder også for den ionosfæriske forstyrrelsen, hvor man også kan anta at feilen bør være like stor på alle mottakerne. Spesielt siden de målte med 5 meters avstand. Det har imidlertid blitt forsøkt å unngå ionosfæriske forstyrrelser ved å legge målingene til perioder hvor romaktiviteten har vært lav.

Ettersom GPS skal være et allværssystem har det ikke blitt tatt spesielle hensyn til lokale værforhold, men det har allikevel blitt målt på dager med relativt pent vær for å være sikre på at slike forstyrrelser ikke skal oppstå.

Det er derfor mulig at signalmottaket ikke har vært optimalt, men samtidig mener man at dette gjenspeiler naturlige forhold på en god måte. Å gjengi laboratoriemålinger er umulig i praktisk bruk, og tester utført på denne måten vil derfor være en bedre indikasjon på faktisk GNSS-ytelse.



5.5 Drøfting av simulasjon

Denne delen av oppgaven tok for seg å finne en metode for å teste hvorvidt mottakerne har mottatt like signaler. Dette skulle være en erstatning for den gamle metoden med å bruke en fysisk splitter for å dele signalet fra antennen til flere mottakere.

For å få til dette ble det utviklet en simulering, slik at mottakerne kunne flyttes til et annet punkt i ettertid. Dette baserer seg på at man leser inn data fra begge antennene, og deretter beregner en korreksjon slik at signalet fra den ene mottakerne kan forlenges bort til den andre.

I denne oppgaven ble det valgt å kalkulere denne korreksjonen gjennom å benytte gitte koordinater som er godt bestemt, samt antennekalibreringsdata. Dette gjaldt spesielt for høyden, da korreksjonene i x- og y-retning er såpass små at de vil utgjøre en minimal forskjell.

Å lage korreksjoner på denne måten kan være uheldig fordi man lager korreksjoner etter en ideell situasjon. I praksis vil antennesenterne variere, og derfor kan korreksjonen i verste fall være for lang eller kort. Allikevel tror man at dette vil jevne seg ut dersom posisjonene midles.

Det er imidlertid en stor oppgave å gjøre for hånd, derfor vil det være mest hensiktsmessig å utvikle programvare som kan lese RINEX-filene, beregne korreksjonen og deretter legge disse korreksjonene til de opprinnelige målingene i RINEX-filen og beregne posisjoner på nytt basert på de nye, korrigerede målingene.

Man bør derimot ta hensyn til at geometrien kan være ugunstig, siden avstanden mellom mottakerne blir veldig liten i forhold til avstanden mellom mottaker og satellitt. Dette kan løses ved å plassere mottakerne med en større avstand, så fremt de fortsatt er i stand til å observere de samme satellittene. Ved å benytte en liten avstand mellom mottakerne er man derimot bedre sikret mot feilkilder ved at de vil påvirke mottakerne samtidig, og dessuten kan man være sikker på at de samme satellittene observeres av mottakerne.



5.5 Drøfting av resultater

Som det går klart frem av tabellene vil en beregning ved hjelp av RTKLib gi et bedre resultat enn håndberegning. Dette skyldes at RTKLib blant annet har mulighet for å bruke begge frekvensene, noe som ikke benyttes i noen særlig grad i håndberegning av koordinater. RTKLib er i tillegg langt bedre rustet for å prosessere store mengder data, noe som er vanskelig og svært tidkrevende ved håndberegning.

Svakheten ved håndberegning av koordinater er først og fremst tidsbruken. Det tar lang tid, og det er ikke utelukket at menneskelige feil kan oppstå underveis. Som man også ser er nøyaktigheten begrenset fordi man utelukker svært mange faktorer. Man tar ikke hensyn til feilkilder som multipath (2-3 meter), ionosfærisk refraksjon (5-7 meter) og eventuelle mottakerfeil (~2 meter). I verste fall kan dette altså utgjøre nærmere 12 meter, og forklarer et høyt avvik på opptil 18 meter mellom gitte koordinater og håndberegnete koordinater. Banefeil bør imidlertid ikke være en faktor, siden det er brukt presise efemerider. Ellers kan dette også være en årsak til avvik, da man ofte kan se et stort sprik mellom de presise efemeridene og satellittmeldingen som sendes til mottakeren.

Man kan derfor si at resultatene er omtrent som forventet, med tanke på hvilke feilkilder man ikke har tatt hensyn til. Det er også verdt å bemerke seg at dette er beregninger for én epoke, altså et vindu på ett sekund. Det er ikke snakk om noen midling av resultatene, hvilket vil si at akkurat den valgte målingen kan være en av de dårligere i måleserien.

Et poeng er dessuten at korreksjonene som legges til målingene er bestemt ut i fra en ideell antennesituasjon, som tidligere nevnt. Dette kan også bidra til en viss avstandsfeil, fordi antennefasesentrene i antennene ikke befinner seg på samme sted.



Konklusjon

Det har blitt utviklet en testprosedyre som etter vårt syn gir mottakerne like måleforhold og mulighet for like resultater.

- Vi mener at mottakerne har hatt gode forhold for å motta de samme signalene
- Vi mener at målinger har blitt lagt til tidspunkter hvor sjansen for ionosfærisk påvirkning har vært minst mulig.

Det har blitt utviklet en teoretisk prosedyre for simulert splitting av antennesignal.

- Utvikling av et program for å gjennomføre denne splittingen i stor skala var mer komplisert enn først antatt.
- Programmet ble ikke ferdigstilt i tide, men foreløpige beregninger tyder på at man bør kunne forvente at GNSS-mottakere gir relativt like resultater.

Den teoretiske beregningsprosessen for fasemålinger er komplisert og krever høyere faglig kompetanseutvikling. Det er derfor vår anbefaling at dette emnet brukes mer aktivt i undervisning av geomatikkstudenter ved Høgskolen i Gjøvik for å bedre forståelsen av hvordan GNSS-signaler behandles og hvordan målinger kan sikres i fremtiden.

Kildeliste

1. Kaplan ED, Hegarty C. Understanding GPS : principles and applications. 2nd ed. Boston ; London: Artech House; 2006.
2. National Coordination Office for Space-Based Positioning N, and Timing, Committee CGSI. GPS.gov - Program Funding. U.S Government; 2012 [sist oppdatert 13 februar, 2012; sitert mars]; Tilgjengelig fra: <http://www.gps.gov/policy/funding/>.
3. STATEMENT BY THE PRESIDENT REGARDING THE UNITED STATES' DECISION TO STOP DEGRADING GLOBAL POSITIONING SYSTEM ACCURACY. In: Policy OoSAT, editor. http://clinton3.nara.gov/WH/EOP/OSTP/html/0053_2.html: The White House; 2000.
4. Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Wasle E. GNSS - global navigation satellite systems GPS, GLONASS, Galileo and more. Wien: Springer; 2008.
5. Wikipedia. Atomur. Atomur. Denne siden ble sist endret 9. apr 2012 kl. 07:49. ed. Wikipedia: Wikipedia; 2012.
6. Leick A. GPS satellite surveying. Second ed. New York etc.: Wiley; 1995.
7. Wikipedia. Bandwidth (signal processing). 2012 [sitert Mars]; Tilgjengelig fra: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bandwidth_\(signal_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Bandwidth_(signal_processing)).
8. Wikipedia. Dopplereffekt. 2012 [sitert 8. mai]; Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Dopplereffekt>.
9. Wikipedia. Bias. 2012 [sitert Mars]; Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Bias>.
10. Gurtner W. RINEX - Receiver Independent Exchange Format 3.01: Astronomisk Institutt - Universitetet i Bern; 2009.
11. Wikipedia. Troposfæren. Wikipedia; 2012 [sist oppdatert 2. mars 2012; sitert 19. april]; Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Troposf%C3%A6ren>.
12. Skogseth T. Grunnleggende landmåling. 2nd ed. Oslo: Universitetsforlaget; 1992.
13. Narom. Nordlysfysikk. ndla: Nasjonal digital læringsarena; Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/60569?fag=2600&meny=711>.
14. Wikipedia. Ionosfæren. Wikipedia; 2012 [sist oppdatert 1. februar 2012; sitert 19. mars]; Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Ionosf%C3%A6ren>.
15. Wikipedia. Ionospheric reflection. Ionospheric reflection: Wikipedia; 2011.
16. Forssell B. GPS. SNL: Store Norske leksikon; 2009 [sist oppdatert 11.10.2011]; 12:[Tilgjengelig fra: <http://snl.no/GPS>.
17. Stette G. Satellittkonstellasjoner. ndla: Nasjonal digital læringsarena; Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/28223?fag=2600&meny=140>.
18. Newton. Feilkilder PDF. Newton.no: Newton.no; 2012; Tilgjengelig fra: <http://www.newton.no/uploads/moduler/1266/GPS%20feilkilder.pdf>.
19. Fløttre NH. Satellitnavigasjon. nkiforlaget: NKIforlaget; 2012; Tilgjengelig fra: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7f36BlwphXkJ:www.nkiforlaget.no/forlaget/naturligvis/straaling/Satellitnavigasjon.doc+www.nkiforlaget.no/forlaget/naturligvis/.../Satellitnavigasjon.doc&cd=1&hl=no&ct=clnk&gl=no&client=firefox-a>.
20. Statkart. Satellittbasert posisjonbestemmelse. Statkart: Statens kartverk; 2009 [sist oppdatert 01.12.2009]; 2.1:[Tilgjengelig fra: <http://www.statkart.no/filestore/Standardisering/docs/satbasssystemer.pdf>.
21. Forssell B. Satellittgeometri. Snl: Store norske leksikon; 2009 [sist oppdatert sist endret 15.10.2009.]; Tilgjengelig fra: <http://snl.no/DOP/satellittgeometri>.
22. Statkart. Brukerveiledning D-POS PDF. Statkart: Statkart; 2010 [sist oppdatert 16.02.2010]; Tilgjengelig fra: http://www.statkart.no/filestore/ny/geodesi/SATREF/Posisjonstjenester/DPOS-BRUKERVEIL_160210.pdf.
23. Wikipedia. Kvalitativ metode. 2012 [sist oppdatert 15. mai 2012; sitert 15. mai]; Tilgjengelig fra: http://no.wikipedia.org/wiki/Kvalitativ_metode.
24. Wikipedia. Kvantitativ metode. 2012 [sist oppdatert 11. mai 2012; sitert 15. mai]; Tilgjengelig fra: http://no.wikipedia.org/wiki/Kvantitativ_metode.
25. Undervold LK. Massiv solstorm kan påvirke GPS-systemer, satellitter og flygninger. Dagbladet. 2012 8. mars 2012.
26. Preiss G. Notes on Computing Receiver Position from Satellites. Gjøvik2011.
27. Leksikon SN. Minste kvadraters metode. 2011; Tilgjengelig fra: http://snl.no/minste_kvadraters_metode.
28. Wikipedia. Normalfordeling. 2011; Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Normalfordeling>.



Figurliste

Figur 2 - Atmosfæriske forhold Figur: Wikipedia	30
Figur 3 - GPS-satellitter og baner (Bilde: NASA)	31
Figur 4 - Eksempel på benyttet søyle Bilde: Jeanette Beinset Magnus	36
Figur 5 - Måling av antennehøyde, referansepunkt er midtre gummiring (Bilde: Jeanette Beinset Magnus).....	39
Figur 6 - Måling av bolthøyde, antennen har internt referansepunkt (Bilde: Jeanette Beinset Magnus).....	39
Figur 7 - Måling av antennehøyde, referansepunkt er midtre gummiring (Bilde: Jeanette Beinset Magnus).....	40

Tabelliste

Tabell 1 - RTKLib PPP - Gitt S1	49
Tabell 2 - RTKLib SPP - Gitt S1	50
Tabell 3 - Manuell beregning, Gitt S1	51



Vedlegg 1 - Prosjektavtale



HØGSKOLEN I GJØVIK

PROSJEKTAVTALE

mellom Høgskolen i Gjøvik (HiG) (utdanningsinstitusjon),

Høgskolen i Gjøvik

(oppdragsgiver), og

Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen

(student(er))

Avtalen angir avtalepartenes plikter vedrørende gjennomføring av prosjektet og rettigheter til anvendelse av de resultater som prosjektet frembringer:

1. Studenten(e) skal gjennomføre prosjektet i perioden fra 27/01-12 til 7/6-12.

Studentene skal i denne perioden følge en oppsatt fremdriftsplan der HiG yter veiledning. Oppdragsgiver yter avtalt prosjektbistand til fastsatte tider. Oppdragsgiver stiller til rådighet kunnskap og materiale som er nødvendig for å få gjennomført prosjektet. Det forutsettes at de gitte problemstillinger det arbeides med er aktuelle og på et nivå tilpasset studentenes faglige kunnskaper. Oppdragsgiver plikter på forespørsel fra HiG å gi en vurdering av prosjektet vederlagsfritt.

2. Kostnadene ved gjennomføringen av prosjektet dekkes på følgende måte:
 - Oppdragsgiver dekker selv gjennomføring av prosjektet når det gjelder f.eks. materiell, telefon/fax, reiser og nødvendig overnatting på steder langt fra HiG. Studentene dekker utgifter for trykking og ferdigstillelse av den skriftlige besvarelsen vedrørende prosjektet.
 - Eiendomsretten til eventuell prototyp tilfaller den som har betalt komponenter og materiell mv. som er brukt til prototypen. Dersom det er nødvendig med større og/eller spesielle investeringer for å få gjennomført prosjektet, må det gjøres en egen avtale mellom partene om eventuell kostnadsfordeling og eiendomsrett.
3. HiG står ikke som garantist for at det oppdragsgiver har bestilt fungerer etter hensikten, ei heller at prosjektet blir fullført. Prosjektet må anses som en eksamensrelatert oppgave som blir bedømt av faglærer/veileder og sensor. Likevel er det en forpliktelse for utøverne av prosjektet å fullføre dette til avtalte spesifikasjoner, funksjonsnivå og tider.
4. Den totale besvarelsen med tegninger, modeller og apparatur så vel som programlisting, kildekode, disketter, taper mv. som inngår som del av eller vedlegg til besvarelsen, gis det en kopi av til HiG, som vederlagsfritt kan benyttes til undervisnings- og forskningsformål. Besvarelsen, eller vedlegg til den, må ikke nyttes av HiG til andre formål, og ikke overlates til utenforstående uten etter avtale med de øvrige parter i denne avtalen. Dette gjelder også firmaer hvor ansatte ved HiG og/eller studenter har interesser.

Besvarelser med karakter C eller bedre registreres og plasseres i skolens bibliotek. Det legges også ut en elektronisk prosjektbesvarelse uten vedlegg på bibliotekets del av skolens Internett-sider. Dette avhenger av at studentene skriver under på en egen avtale hvor de gir biblioteket tillatelse til at deres hovedprosjekt blir gjort tilgjengelig i papir og nettutgave (jfr. Lov om opphavsrett). Oppdragsgiver og veileder godtar slik



Sammenligning av GNSS mottakere

offentliggjøring når de signerer denne prosjektavtalen, og må evt. gi skriftlig melding til studenter og dekan om de i løpet av prosjektet endrer syn på slik offentliggjøring.

5. Besvarelsens spesifikasjoner og resultat kan anvendes i oppdragsgivers egen virksomhet. Gjør student(en) i sin besvarelse, eller under arbeidet med den, en patentbar oppfinnelse, gjelder i forholdet mellom oppdragsgiver og student(er) bestemmelsene i Lov om retten til oppfinnelser av 17. april 1970, §§ 4-10.
6. Ut over den offentliggjøring som er nevnt i punkt 4 har studenten(c) ikke rett til å publisere sin besvarelse, det være seg helt eller delvis eller som del i annet arbeide, uten samtykke fra oppdragsgiver. Tilsvarende samtykke må foreligge i forholdet mellom student(er) og faglærer/veileder for det materialet som faglærer/veileder stiller til disposisjon.
7. Studenten(e) leverer 3 - tre - eksemplarer av oppgavebesvarelsen med vedlegg til Studenttorget. I tillegg leveres et eksemplar til oppdragsgiver. HiG kan stille til disposisjon ytterligere eksemplar(er) for oppdragsgiver mot at denne godtgjør produksjonskostnadene.
8. Denne avtalen utferdiges med et eksemplar til hver av partene. På vegne av HiG er det dekan som godkjenner avtalen.
9. I det enkelte tilfelle kan det inngås egen avtale mellom oppdragsgiver, student(er) og HiG som nærmere regulerer forhold vedrørende bl.a. eiendomsrett, videre bruk, konfidensialitet, kostnadsdekning og økonomisk utnyttelse av resultatene.

Dersom oppdragsgiver og student(er) ønsker en videre eller ny avtale, skjer dette uten HiG som partner.
10. Når HiG også opptrer som oppdragsgiver trer HiG inn i kontrakten både som utdanningsinstitusjon og som oppdragsgiver.
11. Eventuell uenighet vedrørende forståelse av denne avtale løses ved forhandlinger avtalepartene i mellom. Dersom det ikke oppnås enighet, er partene enige om at tvisten løses av voldgift, etter bestemmelsene i tvistemålsloven av 13.8.1915 nr. 6, kapittel 32.
12. Deltakende personer ved prosjektgjennomføringen:

HiGs veileder (navn): George Preiss

Oppdragsgivers kontaktperson (navn): _____

Student(er) (signatur): Pål Ellingsen Wang dato 19/1-12

Jeanette Barsset Magnus dato 19/01-12

_____ dato _____

_____ dato _____

Oppdragsgiver (signatur): Gjerdhvi dato 20.01.2012

Dekan (signatur): Gjerdhvi dato 30.01.2012

Revidert 11.10.07, Ivar Moe



Vedlegg 2 – Bildeavtale fra NASA

Fra: [HQ-Web-Comments](#) [Ny kontakt](#)

Til: ["jeanette.magnus@hig.no"](mailto:jeanette.magnus@hig.no)

Tittel: [RE: Other | Question to use picture from your website](#)

Dato: 2012-05-15 14:31

Visit http://www.nasa.gov/audience/formedia/features/MP_Photo_Guidelines.html for terms and conditions for using NASA imagery.

Regards,

The NASA Web Team

-----Original Message-----

From: jeanette.magnus@hig.no [[mailto:](mailto:jeanette.magnus@hig.no)]

Sent: Tuesday, May 15, 2012 8:41 AM

To: webcomments@hq.nasa.gov

Subject: Other | Question to use picture from your website

Sender: Jeanette Beinset Magnus

other_subject: Question to use picture from your website

subjectdropdown: Other

Comments: Hello!

I'm a bachelor student from Norway, and I'm writing my final task in geomatics. In that case I wonder how I can get a permission to use one of your pictures that I found at your website in my task? The picture is showing the GPS satellite orbits. The reason why I need the permission is because we have to show to a permission and write the source in the task.

Hoping for a quick answer, because the task have to be delivered very soon in a few days.

Best regards Jeanette Beinset Magnus



Vedlegg 3 – Måleskjemaer (4 dager)

Måleprosedyre "Benchmark" G5

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_0503
Filmappe	Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\0503\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501063
Mottakernr	G5
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 1
PunktID	S1

Målesesjon

Sesjon nr	Dag 1
Antennehøyde før måling	0,245
Antennehøyde etter måling	0,245
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Bunn
Antenne rettet mot nord	Knapper rettet mor nord

Måleprosedyre AT 3

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	Leica og Rinex
Filnavn	S3_AT3_0203.12 (RINEX) AT3S3_1572_0302_105428 (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\ATX1230\AT3 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Leica\ATX1230\0203

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	ATX 1230
Mottakker serienr	187793
Mottakernr	AT 3
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3 Garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0,152
Antennehøyde etter måling	0,152
Referansepunkt for antennehøyde	Nedre midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Måleprosedyre G 3

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	1088062j32 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\0203\G-3 (RINEX)

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501088
Mottakernr	G 3
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0,248
Antennehøyde etter måling	0,248
Referansepunkt for antennehøyde	Midt på midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Bunn, antenne
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

Starttid	10.58
Stopptid	12.03
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Sol

Antall satellitter start	7
Antall satellitter stopp	8
Antall epoker	

Måleprosedyre AT 2

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	Leica og Rinex
Filnavn	S3_AT2_0203.12 (RINEX) AT2S3_1572_0302_120503 (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\ATX1230\AT2 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Leica\ATX1230\0203

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	ATX 1230
Mottakker serienr	180336
Mottakernr	AT 2
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3 Garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0,152
Antennehøyde etter måling	0,152
Referansepunkt for antennehøyde	Nederst på midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Måleprosedyre TR 2

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.43
Filformat	Trimble DAT og Rinex
Filnavn	S2_TR2_0203.12 (RINEX) 03490620.DAT (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Trimble\SPS882\TR2 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Trimble\SPS882\0203

Mottaker

Leverandør	Trimble
Mottakertype	SPS 882
Mottakker serienr	5133470349
Mottakernr	TR 2
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0,103
Antennehøyde etter måling	0,103
Referansepunkt for antennehøyde	Topp bolt oppå mellomstykke
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Punkt inni mottaker, på toppen av mellomstykkeskruer
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Starttid	12.08
Stopptid	13.10
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Sol

Antall satellitter start	8 ifølge AT 2
Antall satellitter stopp	7 ifølge AT 2
Antall epoker	
Antall fasebrudd L1	
Antall fasebrudd L2	
DOP start	G- DOP 2,5 ifølge AT 2
DOP stopp	G- DOP 3,3 ifølge AT 2

Vedlegg	
Merknader / Skisse	
Bilde filnavn	
Bilde filmappe	

Annet/Kommentar	
Finner ikke ut hvor i Trimble en kan se Antall synlige satellitter og DOP når målebok ikke brukes	

Måleprosedyre G2

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	1068062m22 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\0203\G-2 (RINEX)

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501068
Mottakernr	G2
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	3
Antennehøyde før måling	0,246
Antennehøyde etter måling	0,247
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

Starttid	13.21
Stopptid	14.21
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Sol

Antall satellitter start	8
Antall satellitter stopp	10
Antall epoker	

Måleprosedyre TR 3

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.19
Filformat	Trimble DAT og Rinex
Filnavn	S3_TR3_0203.12 (RINEX) 27900620.DAT (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Trimble\SPS882\TR3 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Trimble\SPS882\0203

Mottaker

Leverandør	Trimble
Mottakertype	SPS 882
Mottakker serienr	5013422790
Mottakernr	TR 3
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3 Garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	3
Antennehøyde før måling	0,103
Antennehøyde etter måling	0,103
Referansepunkt for antennehøyde	Topp bolt oppå mellomstykket
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Punkt inni mottaker, på toppen av mellomstykkeskruer
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Starttid	13.21
Stopptid	14.21
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Sol

Antall satellitter start	8 ifølge G2
Antall satellitter stopp	10 ifølge G2
Antall epoker	
Antall fasebrudd L1	
Antall fasebrudd L2	
DOP start	
DOP stopp	

Vedlegg	
Merknader / Skisse	
Bilde filnavn	
Bilde filmappe	

Annet/Kommentar	
Finner ikke ut hvor i Trimble en kan se Antall synlige satellitter og DOP når målebok ikke brukes	

Måleprosedyre AT 1

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	02.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	Leica og Rinex
Filnavn	S2_AT1_0203.12 (RINEX) AT1S2_1572_0302_142725 (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\ATX1230\AT1 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Leica\ATX1230\0203

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	ATX 1230
Mottakker serienr	157046
Mottakernr	AT 1
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2 Garasjetak
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	4
Antennehøyde før måling	0,151
Antennehøyde etter måling	0,151
Referansepunkt for antennehøyde	Nederst på midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Måleprosedyre TR 1

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.43
Filformat	Trimble DAT og Rinex
Filnavn	S3_TR1_0203.12 (RINEX) 02990620.DAT (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Trimble\SPS882\TR1 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Trimble\SPS882\0203

Mottaker

Leverandør	Trimble
Mottakertype	SPS 882
Mottakker serienr	5104460299
Mottakernr	TR 1
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	4
Antennehøyde før måling	0,103
Antennehøyde etter måling	0,103
Referansepunkt for antennehøyde	Topp bolt oppå mellomstykket
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Starttid	14.29
Stopptid	15.29
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Sol

Antall satellitter start	10 ifølge AT 1
Antall satellitter stopp	8 ifølge AT 1
Antall epoker	
Antall fasebrudd L1	
Antall fasebrudd L2	
DOP start	G- DOP 1,8 ifølge AT 1
DOP stopp	G- DOP 2,5 ifølge AT 1

Vedlegg	
Merknader / Skisse	
Bilde filnavn	
Bilde filmappe	

Annet/Kommentar	
Finner ikke ut hvor i Trimble en kan se Antall synlige satellitter og DOP når målebok ikke brukes	

Måleprosedyre G5 - BENCHMARK

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.00/6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_0503 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\0503\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	GS15
Mottaker serienr	1501063
Mottakernr	G5
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 1 Garasjetak
PunktID	S1

Målesesjon

Sesjon nr	Benchmark
Antennehøyde før måling	0.244
Antennehøyde etter måling	0.244
Referansepunkt for antennehøyde	Skrue i bunn, mottaker
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Midt på midtre antennering, mottaker
Antenne rettet mot nord	Betjeningspanel rettet mot nord

Måleprosedyre AT 3

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.00
Filformat	Leica og RINEX
Filnavn	S3_AT3_0503 (RINEX) AT3S3_1572_0302_105428 (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\ATX1230\AT3 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Leica\ATX1230\0503

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	ATX 1230
Mottaker serienr	187793
Mottakernr	AT3
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3 Garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0.151
Antennehøyde etter måling	0.151
Referansepunkt for antennehøyde	Utstikkende del, midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	JA

Måleprosedyre TR 3

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.19
Filformat	Trimble DAT og RINEX
Filnavn	S2_TR3_0503 (RINEX) 27900650 (DAT)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Trimble\SPS882\0503 (DAT) Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX- data\Trimble\SPS882\TR3 (RINEX)

Mottaker

Leverandør	Trimble
Mottakertype	SPS 882
Mottaker serienr	5013422790
Mottakernr	TR 3
Antall mottakere	3

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2 Garasjetak
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0.102
Antennehøyde etter måling	
Referansepunkt for antennehøyde	Skruer på mellomstykke
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle, til skruer på mellomstykke
Referansepunkt for antenne offset	Punkt inni mottaker, på toppen av mellomstykkeskruer
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Starttid	14:00
Stopptid	15:00
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Sol, litt skyet

Antall satellitter start	9 i følge AT3
Antall satellitter stopp	8 i følge AT3
Antall epoker	
Antall fasebrudd L1	
Antall fasebrudd L2	
DOP start	2.3 i følge AT3
DOP stopp	2.4 i følge AT3

Vedlegg	
Merknader / Skisse	
Bilde filnavn	
Bilde filmappe	

Annet/Kommentar
Finner ikke ut hvor i Trimble en kan se antall synlige satellitter og DOP når målebok ikke brukes

Måleprosedyre AT 2

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.00
Filformat	Leica og RINEX
Filnavn	S2_AT2_0503 (RINEX) AT2S2_1572_0305_150049 (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\ATX1230\AT2 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Leica\ATX1230\0503

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	ATX 1230
Mottaker serienr	180336
Mottakernr	AT2
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2 Garasjetak
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0.149
Antennehøyde etter måling	0.149
Referansepunkt for antennehøyde	Utstikkende del, midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Måleprosedyre TR 2

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.43
Filformat	Trimble DAT og RINEX
Filnavn	S3_TR2_0503 (RINEX) 03490651 (DAT)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX- data\Trimble\SPS882\TR2 (RINEX) Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Trimble\SPS882\0503 (DAT)

Mottaker

Leverandør	Trimble
Mottakertype	SPS882
Mottaker serienr	5133470349
Mottakernr	TR2
Antall mottakere	3

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3 Grasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0.102
Antennehøyde etter måling	
Referansepunkt for antennehøyde	Skruer på mellomstykke
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle, til skruer på mellomstykke
Referansepunkt for antenne offset	Punkt inni mottaker, på toppen av mellomstykket
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Starttid	15:05
Stopptid	16:06
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Skyet

Antall satellitter start	8 i følge AT2
Antall satellitter stopp	6 i følge AT2
Antall epoker	
Antall fasebrudd L1	
Antall fasebrudd L2	
DOP start	2.4 i følge AT2
DOP stopp	2.9 i følge AT2

Vedlegg	
Merknader / Skisse	
Bilde filnavn	
Bilde filmappe	

Annet/Kommentar	
Finner ikke ut hvor i Trimble en kan se Antall synlige satellitter og DOP når målebok ikke brukes	

Måleprosedyre AT 1

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.00
Filformat	Leica og RINEX
Filnavn	S3_AT1_0503 (RINEX) AT1S2_1572_0302_142725 (Rådata)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\ATX1230\AT1 Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Leica\ATX1230\0503

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	ATX 1230
Mottakker serienr	157046
Mottakernr	AT 1
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3 Garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	3
Antennehøyde før måling	0,151
Antennehøyde etter måling	0,151
Referansepunkt for antennehøyde	Utstikkende del – midtre ring
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	ARP – nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Måleprosedyre TR 1

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	05.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.43
Filformat	Trimble DAT og RINEX
Filnavn	02990650 (DAT) S2_TR1_0503 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\Rådata\Trimble\SPS882\0503 (DAT) Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Trimble\SPS882\TR1 (RINEX)

Mottaker

Leverandør	Trimble
Mottakertype	SPS 882
Mottaker serienr	5104460299
Mottakernr	TR 1
Antall mottakere	3 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2 Garasjetak
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	3
Antennehøyde før måling	0.102
Antennehøyde etter måling	
Referansepunkt for antennehøyde	Skruer på mellomstykke
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle, til skruer på mellomstykke
Referansepunkt for antenne offset	Punkt inni mottaker, på toppen av mellomstykket
Antenne rettet mot nord	Lapp med mottakernummer mot nord

Starttid	16:10
Stopptid	17:10
Måleintervall	1 sekund
Elevasjonsvinkel	15 grader
Værforhold	Overskyet

Antall satellitter start	6 i følge AT1
Antall satellitter stopp	8 i følge AT1
Antall epoker	
Antall fasebrudd L1	
Antall fasebrudd L2	
DOP start	2.9 i følge AT1
DOP stopp	2.3 i følge AT1

Vedlegg	
Merknader / Skisse	
Bilde filnavn	
Bilde filmappe	

Annet/Kommentar
Finner ikke ut hvor i Trimble en kan se Antall synlige satellitter og DOP når målebok ikke brukes

Måleprosedyre G5 - BENCHMARK

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	19.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.00/6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_1903 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\1903\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	GS15
Mottaker serienr	1501063
Mottakernr	G5
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 1 Garasjetak
PunktID	S1

Målesesjon

Sesjon nr	Benchmark
Antennehøyde før måling	0.249
Antennehøyde etter måling	0.249
Referansepunkt for antennehøyde	Skrue i bunn, mottaker
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Midt på midtre antennering, mottaker
Antenne rettet mot nord	Betjeningspanel rettet mot nord

Måleprosedyre G5 - BENCHMARK

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	19.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.00/6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_1903 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\1903\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	GS15
Mottaker serienr	1501081
Mottakernr	G1
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle, garasjetak
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0.248
Antennehøyde etter måling	0.248
Referansepunkt for antennehøyde	Skrue i bunn, mottaker
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Midt på midtre antennering, mottaker
Antenne rettet mot nord	Betjeningspanel rettet mot nord

Måleprosedyre G5 - BENCHMARK

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	19.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.00/6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_1903 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\1903\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	GS15
Mottaker serienr	1501088
Mottakernr	G3
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle, garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0.244
Antennehøyde etter måling	0.244
Referansepunkt for antennehøyde	Skrue i bunn, mottaker
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Midt på midtre antennering, mottaker
Antenne rettet mot nord	Betjeningspanel rettet mot nord

Måleprosedyre G5 - BENCHMARK

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	19.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.00/6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_1903 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\1903\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	GS15
Mottaker serienr	1501068
Mottakernr	G2
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle, garasjetak
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0.248
Antennehøyde etter måling	0.248
Referansepunkt for antennehøyde	Skrue i bunn, mottaker
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Midt på midtre antennering, mottaker
Antenne rettet mot nord	Betjeningspanel rettet mot nord

Måleprosedyre G5 - BENCHMARK

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	19.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	4.00/6.110
Filformat	RINEX
Filnavn	BenchmarkS1_G5_1903 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\1903\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	GS15
Mottaker serienr	1501083
Mottakernr	G4
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle, garasjetak
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0.245
Antennehøyde etter måling	0.244
Referansepunkt for antennehøyde	Skrue i bunn, mottaker
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Midt på midtre antennering, mottaker
Antenne rettet mot nord	Betjeningspanel rettet mot nord

Måleprosedyre Benchmark G5

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	20.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	RINEX
Filnavn	1063080m00 og 1063080k41 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\2003\G5

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501063
Mottakernr	G5
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 1
PunktID	S1

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0,250
Antennehøyde etter måling	0,249
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på antenne
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

Måleprosedyre G2

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	20.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	RINEX
Filnavn	1068080k53 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\2003\G2

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501068
Mottakernr	G2
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0,247
Antennehøyde etter måling	0,247
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på antenne
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

Måleprosedyre G4

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	20.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	RINEX
Filnavn	1083080k53 (RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\2003\G4

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501083
Mottakernr	G4
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	1
Antennehøyde før måling	0,245
Antennehøyde etter måling	0,245
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på antenne
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

Måleprosedyre G1

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	20.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	RINEX
Filnavn	1081080m00(RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\2003\G1

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501081
Mottakernr	G1
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 3
PunktID	S3

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0,247
Antennehøyde etter måling	0,248
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på antenne
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

Måleprosedyre G3

Prosjekt

Prosjektnavn	Sammenligning av GNSS mottakere
Observatør	Jeanette Beinset Magnus og Pål Ellingsen Wangen
Dato	20.03.2012

Programvare og filer

Programvare	
Versjon	8.0
Filformat	RINEX
Filnavn	1088080m00(RINEX)
Filmappe	Dropbox\Bachelor 2012\Måledata\RINEX-data\Leica\GS15\2003\G3

Mottaker

Leverandør	Leica
Mottakertype	Viva GS 15
Mottakker serienr	1501088
Mottakernr	G3
Antall mottakere	5 stk

Stasjon

Stasjonsnavn	Søyle 2
PunktID	S2

Målesesjon

Sesjon nr	2
Antennehøyde før måling	0,245
Antennehøyde etter måling	0,245
Referansepunkt for antennehøyde	Midtre ring midt på antenne
Referansepunkt for søyle målt høyde fra	Boltpunkt på søyle
Referansepunkt for antenne offset	Nederst på antenne
Antenne rettet mot nord	Knapper mot nord

