

Bruk av GPS i vanskelige omgivelser

Tomas Vangen

Master i elektronikk
Oppgaven levert: Juni 2006
Hovedveileder: Børje Forssell, IET

Oppgavetekst

Det har etter hvert blitt et stort problem for nødsentralene at personer som ringer inn ikke vet hvor de er eller hvor ulykken befinner seg. En har også flere ganger lest i avisene om nødsentraler som sender ambulanser og brannbiler feil, på grunn av like stedsnavn. Det er dette som er grunnlaget da Federal Communications Commission (FCC) begynte å stille krav til nettverksleverandører for mobilkommunikasjon, om muligheter for posisjonering av mobilterminaler når disse ringer nødsentralene. Det er i denne sammenheng man har startet forskning på AssistertGPS-løsninger (AGPS). Det har derimot vist seg vanskelig å oppfylle FCCs krav om nøyaktighet og tilgjengelighet.

AGPS er en metode for å hjelpe posisjoneringen av mobilterminaler. I et slikt system vil alle mobilterminalene inneholde en GPS-mottaker. Når en mobilterminal setter opp et anrop mot en nødsentral, for eksempel 110, vil terminalen be GPS-mottakeren om en posisjonsangivelse. Det er viktig at denne posisjonsangivelsen kommer raskt, og er så nøyaktig som mulig. Ved AGPS vil GPS-mottakeren ved hjelp av tilførsel av data ifra en AGPS-server, posisjonere mobilterminalen raskere enn den ville ha gjort uten disse dataene. Et av de største problemene med GPS er at signalene er forholdsvis svake og vil dermed skape problemer med posisjonering innendørs, eller andre steder hvor det kan oppstå skyggevirksomhet for signalene. Ved å tilføre GPS-mottakeren AGPS-data vil mottakeren vite hvilke satellittsignaler den skal lete etter, samt ha et bilde av hvor stort dopplerskift den kan forvente på signalet. Denne kunnskapen gjør at GPS-mottakeren slipper å søke gjennom like stort frekvensområde, som den ville ha måttet uten AGPS, og denne oppsparte tiden kan den benytte til korrelasjonprosessen. Når GPS-mottakeren benytter lengre tid med korrelering vil mottakerens følsomhet øke, og mottakeren vil da kunne detektere signaler den vanligvis ikke kunne detektert.

Høsten 2004 startet Telenor R&D utviklingen av en AGPS-løsning, men denne har ikke blitt ferdigstilt. Oppgaven ligger dermed i å ferdigstille denne løsningen, samt videreutvikling av dataoverføring mellom server og AGPS-mottaker. Ferdigstillingen skal omfatte både server- og klientside. AGPS-dataene som overføres imellom klient og server skal konverteres u-Blox proprietære UBX-protokoll. Det skal i tillegg også gjennomføres avsluttende tester for å verifisere at systemet virker etter hensikten, samt at disse målingene skal diskuteres opp mot FCCs nøyaktighetskrav.

Oppgaven gitt: 16. januar 2006
Hovedveileder: Børje Forssell, IET

Sammendrag

Det har etter hvert blitt et stort problem for nødsentralene at personer som ringer inn ikke vet hvor de er eller hvor ulykken befinner seg. En har også flere ganger lest i avisene om nødsentraler som sender ambulanser og brannbiler feil, på grunn av like stedsnavn. Det er dette som er grunnlaget da Federal Communications Commission (FCC) begynte å stille krav til nettverksleverandører for mobilkommunikasjon, om mulighet for posisjonering av mobilterminaler når disse ringer nødsentralene. Det er i denne sammenheng man forsker på AssistertGPS-løsninger (AGPS). Kravene som FCC har stilt ovenfor nettverksleverandørene har vist seg å være vanskelig å oppfylle, noe som medfører at de fleste nettverksleverandører har fått utsettelse på fristen.

AGPS-løsningen som er diskutert i denne rapporten er et prosjekt, som tidligere ble startet av Telenor R&D. Høsten 2005 tok jeg over utviklingen av dette prosjektet igjennom først en prosjektoppgave, og våren 2006 også som masteroppgave.

Selve utviklingen av applikasjonene har vist seg å være vanskeligere enn først forventet. Spesielt problematisk har det vært å utvikle klientapplikasjonen. Klientapplikasjonen kjøres på en Nokia 12 M2M GSM-modul, og er utviklet i Java. I klientapplikasjonen kan man ikke bruke en fullstendig versjon av Java, men den mindre, og forenklete, versjonen Java MicroEdition. Det var også et problem med formattering av dataene som sendes ifra AGPS-serveren slik at disse skal passe inn i den proprietære UBX protokollen. Dette gjorde at noen snarveier måtte tas, for å ferdigstille løsningen.

For å verifisering av at løsningen virker etter hensikten er det utført en rekke tester i Trondheim sentrum, både utendørs og innendørs. Parameterne det er valgt å fokusere på er, foruten den selvsagte Time-To-First-Fix (TTFF), posisjonsnøyaktigheten til den første posisjonsmålingen etter 3D-fix, samt den samme nøyaktigheten etter 100 sekunder.

Alle testene viste en betydelig forbedring av TTFF ved bruk av AGPS, i forhold til målingene uten bruk av AGPS. Dette er et tegn på at løsningen fungerer etter hensikten.

Selv om leverandøren av GPS-mottakeren antyder at TTFF kan reduseres ned til omtrentlig 24 sekunder, har en ikke greid å oppnå målinger på dette lave nivået. Det har forekommet målinger av TTFF ned mot 24 sekunder, men gjennomsnittlig ligger målingene noe over.

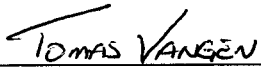
Posisjonen gitt av GPS-mottakeren ved 3D-fix er det også valgt å se nærmere på. Grunnen til dette er at det er denne posisjonen som må sees opp mot FCCs krav, om at posisjonen gitt av en AGPS-løsning må ha en nøyaktighet som må være bedre enn 50 meter for 67 % av tiden (σ), og 150 meter for 95% av tiden (2σ). Under testingen viser det seg at posisjonene som blir målt sjelden oppfyller disse kravene. Noen ganger kan dette forklares med egenskaper på målelokasjonen, som skyggevirking og refleksjoner, men ikke alltid. Det antas også at en antatt posisjon til AGPS-klienten, som sendes over i AGPS-meldingene har innvirkning på dette.

Forord

Denne oppgaven avslutter Masterutdanningen i elektronikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige universitet NTNU. Arbeidet har pågått i vårsemesteret 2006 over en periode på 20 uker.

Vi vil rette en takk til min veileder på NTNU, Professor Børje Forsell, for verdifull veiledning og innspill under prosjektperioden. En stor takk går også til Steinar Brede, Ingebrigt Fuglem og Sune Jacobsson hos Telenor R&D for veiledning og for all informasjon i forbindelse med programvareutviklingen.

Trondheim, 11. Juni 2006



Tomas Vangen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
2	Teori	5
	2.1 Nøyaktighet og kilder til feil i GPS	5
	2.1.1 Ephemerisdata	6
	2.1.2 Satellittklokke	7
	2.1.3 Ionosfærens påvirkning	7
	2.1.4 Troposfærens påvirkning	9
	2.1.5 Flerveistransmisjon	10
	2.1.6 Mottaker	11
	2.1.7 Geometri	11
	2.1.8 Samlet oversikt over feilenes størrelse	12
	2.2 GPRS	13
3	Programvareutviklingen	15
	3.1 AID-INI	16
	3.1.1 GPS-systemtid kontra Java-systemtid	16
	3.2 AID-ALM	16
	3.3 AID-EPH	17
	3.4 Den ferdigutviklede programvaren	18
4	Målinger	22
	4.1 "FCC Compliance test"	23
	4.2 Kongsberg Seatexs SuperSense™ test	24
	4.3 Hvilke parametere skal testes	24
	4.3.1 Time-To-First-Fix	25
	4.3.2 Nøyaktighet til første posisjonsangivelse	26
	4.3.3 Dekning innendørs	27
	4.4 Testingen	28
	4.4.1 Serverens plassering	28
	4.4.2 Måleoppstilling AGPS-klient	30
	4.4.3 Valg av testlokasjoner	31
	4.4.4 Telenorsenteret	32
	4.4.5 Konsul Lorcks gate 6	39
	4.4.6 Dronningensgate	46
	4.4.7 Gjelvangveita	53
	4.4.8 Solsiden kjøpesenter	55
	4.4.9 Henning – Steinkjer	57
5	Konklusjon	63

1 Innledning

Alle ser på det som en selvfølge at man får hjelp når man ringer nødsentralene. For nødsentralene sin del har det etter hvert blitt et stort problem at personer som ringer inn, ikke vet hvor de er eller hvor ulykken befinner seg. Spesielt nå, da ”alle” eier og benytter mobiltelefoner. Når man i dag ringer nødsentralene er den eneste informasjonen de har tilgang til, ditt telefonnummer og din registrerte adresse. Dersom du benytter en mobiltelefon, finnes det ingen informasjon som kan hjelpe med å finne ut hvor du befinner deg.

En har også flere ganger lest i avisene om nødsentraler som sender ambulanser og brannbiler feil, på grunn av like stedsnavn. Hjelpepersonell taper i disse tilfellene flere minutter, og noen ganger timer, som kan være kritisk i en nødssituasjon. Spesielt har problemet kommet etter at nødsentralene, på grunn av budsjettsparing, slås sammen og dekker større og større områder.

Det er dette som er grunnlaget da Federal Communications Commission (FCC) begynte å stille krav til nettverksleverandører for mobilkommunikasjon. Kravene går ut på mulighet for posisjonering av mobilterminaler, når disse ringer nødsentralene, samt nøyaktigheten til denne posisjonen. I denne sammenheng har man jobbet mye med forskning på området.

Det finnes flere mulige løsninger på posisjoneringsproblemet. En løsning kan være å benytte infrastrukturen som allerede er bygget ut, som for eksempel mobilnett. Siden mobilnett er delt inn i celler, kan disse brukes for å gi en viss posisjonering. Denne posisjonen er allikevel alt for grov i forhold til FCCs krav. Forbedring kan oppnås hvis det i tillegg benyttes triangulering mot flere basestasjoner, samt måling av ”Timing Advance”. Denne løsningen er derimot ofte uønsket av nettverksoperatørene, da den legger betydelig beslag på signaleringskapasitet til mobilnett.

En helt annen løsning vil være å implementere en GPS-mottaker i mobilterminalene. Da kan man benytte GPS-mottakeren til posisjonering av terminalen, og rapporterer posisjonen over en av de innebygde databærerne i systemet. Selv om dette høres ut som en ideell løsning er den ikke problemfri. Posisjonering ved hjelp av GPS har sine utfordringer. Et problem med GPS-posisjonering, er at det tar forholdsvis lang tid å posisjonere en GPS-mottaker, spesielt hvis en ikke har noe forhåndsinformasjon. De aller fleste GPS-mottakere vil inneholde buffere som lagrer en del informasjon om forrige posisjonering. Dette er informasjon som hvilke satellitter den benyttet ved forrige posisjonering, samt en del korreksjonsdata for disse satellittene. Har man ikke denne informasjonen vil posisjoneringen ta lengre tid, siden denne må lastes ned ifra satellitten.

Et annet problem med posisjoneringen med GPS er GPS-signalenes bæreølge-støyforhold (eng. "Carrier to noise ratio" (CNR)). GPS-signalene sendes ut ifra satellitter som befinner seg 20000 kilometer over jordoverflaten. Satellitter har begrenset effekt, og når man da i tillegg tar hensyn til den lange signalveien og atmosfærens påvirkning på signalene, er det ikke vanskelig å tenke seg at signalene på jordoverflaten er veldig svake. Når en designer GPS-mottakere er det viktig at disse er billige, slik at kunden vil kjøpe produktet. Det er også viktig at mottakerne er små, slik at de kan integreres inn i annet utstyr, som for eksempel en mobiltelefon. Disse kravene gjør at GPS-mottakeren vil ha begrenset følsomhet. GPS-mottakernes begrensede følsomhet i forhold til signalenes CNR, gjør at posisjonering ved hjelp av GPS-mottakere begrenses til utendørsbruk. GPS blir også påvirket av skyggevirkning og eventuelle refleksjoner fra bygninger, noe som vil påvirke ytelsen i blant annet et bymiljø.

Det er i denne sammenheng man forsker på AssistertGPS-løsninger (AGPS). I et AGPS-system kan en AGPS-klient hente data ifra en dedikert server, for deretter å benytte disse dataene som hjelp i posisjoneringsprosessen. Det finnes flere AGPS-løsninger, og alle løsningene bygger på de samme prinsippene. Den største forskjellen ligger i hva slags data som overføres, hva som brukes som databærer ut til AGPS-klienten, samt i hvilken grad selve infrastrukturen benyttes for å hjelpe til med posisjoneringen av mobilterminalen.

AGPS-løsningen som er diskutert i denne rapporten er et prosjekt, som ble startet av Telenor R&D høsten 2004. Selve prosjektet er bygget opp rundt en GPS-mottaker fra u-Blox som kan benyttes i AGPS-sammenheng. For å kunne benyttes som en AGPS-klient trenger denne GPS-mottaker tilførsel av en del data, formattert etter en proprietær kommunikasjonsprotokoll. Overføring av data imellom server og klient blir utført med ”General Packet Radio Service” (GPRS) som databærer. Det ble valgt at AGPS-klienten skulle bli bygget opp rundt den tidligere nevnte GPS-mottakeren, samt en Nokia 12 ”machine to machine”- (M2M) modul for kommunikasjon med serveren.

Serveren finner sine data i navigasjonsmeldingene den kan laste ned ifra GPS-satellittene. Disse dataene blir lagret på serveren, og blir overført AGPS-klienten når denne ber om dem. Når AGPS-klienten ber om AGPS-data blir det laget tre meldinger, som overføres ifra serveren:

- AID-INI. Denne meldingen inneholder i hovedsak tidsangivelse, samt en antatt posisjon av AGPS-klienten
- AID-ALM. Denne meldingen består av almanakkdataene ifra navigasjonsmeldingen.
- AID-EPH. Denne meldingen inneholder ephemeris for de respektive satellittene.

Disse meldingene hjelper AGPS-klienten med posisjonsmålingene. Den vil gjennom den tildelte informasjonen vite hvilke satellitter den kan vente å motta signaler ifra, og kan dermed søke spesifikt etter signalene fra disse satellittene. I hovedsak vil dette føre til redusert Time-To-First-Fix (TTFF), det vil si tiden før første posisjonsangivelse. Det er også lansert en teori som sier at tiden GPS-mottakeren sparer ved å få et mindre søkerom kan benyttes i korrelasjonsprosessen, og dermed kunne detektere signaler den ellers ikke hadde detektert, noe som gjør at en AGPS-løsning kan bedre posisjoneringsproblemet innendørs. Dette vil bli diskutert nærmere senere i rapporten.

Høsten 2005 tok jeg over utviklingen av dette prosjektet igjennom først en prosjektoppgave, og våren 2006 også som masteroppgave. Selv om min oppgave har vært å se på protokollaspektet ved en AGPS-løsning, har arbeidsoppgaven også vært å fullføre

utviklingen av programvaren. Allikevel har mye av utviklingen foregått med nettopp kommunikasjonsprotokoller. All kommunikasjon imot GPS-mottakeren i AGPS-klienten foregår på den proprietære UBX-protokollen. Dette gjør at mye av utviklingen har gått ut på å hente ut informasjon av, og bygge opp, meldinger som følger UBX-protokollen. Beskrivelse av denne protokollen vil ikke bli gjort i denne rapporten, men det henvises til prosjektrapporten for prosjektoppgaven.

I teorikapitlet diskuteres i hovedsak feilkildene i GPS. Kjennskap til feilkildene i GPS er viktig for analysen av de etterfølgende målingene. Selv om disse feilkildene bør antas kjent for en leser, vil det være nyttig med en oppfriskning. GPRS er også et emne i dette kapitlet for en kort innføring i hva denne databæreren er for noe. Denne rapporten vil også gi en beskrivelse av den ferdigutviklede programvaren. Det har blitt lagt vekt på programflyten, og ikke så mye programmets oppbygning. For nærmere gjennomgang av programmets oppbygning henvises det igjen til prosjektrapporten for prosjektoppgaven. I denne rapporten har en beskrevet programoppbygning, i både serveren og klienten, ved hjelp av UML klassediagrammer.

Hoveddelen i rapporten vil omfatte målinger utført med den ferdigutviklede AGPS-løsningen. Målingene ble utført for å verifisere eventuelle forbedringer en har oppnådd med AGPS. Man ser nærmere på eventuelle forbedringer i TTFF, samt posisjonering innendørs. Posisjonsnøyaktigheten vil også bli diskutert opp mot FCCs nøyaktighetskrav. Kravene som FCC har stilt ovenfor nettverksleverandørene har vist seg å være vanskelig å oppfylle, noe som medfører at de fleste nettverksleverandører har fått utsettelse på fristen for å oppfylle disse. Det er likevel viktig å se på denne løsningens nøyaktighet i forhold til disse kravene.

I denne rapporten vil jeg benytte noen engelske faguttrykk. Dette grunner i at jeg synes de engelske uttrykkene i disse tilfellene vil være mer dekkende, og det er vanskelig å finne tilsvarende norske ord som gir den samme meningen.

2 Teori

Dette kapitlet vil ta for seg noe av den grunnleggende teorien ved GPS. Dette gjøres for å støtte opp om konklusjoner i forbindelse med testing, men også som en beskrivelse av teknologien brukt i systemet. Først vil en beskrive nøyaktigheten og feilkildene i GPS-systemet. Deretter vil en ta for seg GPRS, som er informasjonsbæreren benyttet for overføring av data til AGPS-klienten.

2.1 Nøyaktighet og kilder til feil i GPS

I GPS-systemet er det mange faktorer som spiller inn på nøyaktigheten. Dette kan være faktorer som forstyrrer bølgeutbredelsen fra satellitten til mottakeren, unøyaktigheter/feil i dataene i navigasjonsmeldingen, dårlig geometri osv. Det er vanlig å dele avstandsfeilen inn i seks grupper:

- Ephemerisdata – Feil i den overførte posisjonen til satellitten
- Satellittklokke – Feil i den utsendte klokkeangivelsen fra satellitten
- Ionosfærens påvirkning – Feil i korreksjonen av pseudorangemålinger forårsaket av ionosfæren.
- Troposfærens påvirkning – Feil i korreksjonen av pseudorangemålinger forårsaket av troposfæren.
- Flerveistransmisjon – Feil skapt av reflekterte signaler mottatt av mottakerantennen
- Mottaker – Feil i mottakerens måling av avstand skapt av termisk støy, nøyaktighet i programvare og kanalstøy.

(Parkinson, B. W., Spilker Jr. J. J., Axelrad P., Enge P., 1996)

I tillegg til disse seks gruppene følger en diskusjon, om hvordan satellittenes geometri vil påvirke nøyaktigheten.

2.1.1 Ephemerisdata

Ephemerisfeil kommer av at navigasjonsmeldingen fra satellitten ikke oversender den korrekte satellittposisjonen. Det er GPS-systemets kontrollsegments hovedoppgave å oppdatere disse forutsigelsene i satellittens ephemeris. En mottaker på bakken vil bruke dataene til å estimere satellittenes koordinater i sanntid. På grunn av at ephemerisfeilene gjenspeiler seg i posisjonsforutsigelse, vil de øke med tiden fra sist oppdatering fra kontrollstasjonene (Parkinson, B. W. et. al., 1996). Det er typisk at den radielle komponenten av denne feilen er minst, og at den tangentielle, og kryssbane feilene, er lang større. Heldigvis vil ikke de største feilene påvirke avstandsnøyaktigheten på samme måte.

GPS-satellittenes bane har tilnærmet sirkulær eksentrisitet (eksentrisitet $\ll 0,03$). I den virkelige verden vil satellittens bane avvike ifra de ønskede banene. Dette avviket blir også kalt perturbasjoner. Disse perturbasjonene skyldes i hovedsak:

- Uregelmessigheter i jordens gravitasjonsfelt.
- Månens gravitasjon.
- Solens gravitasjon.
- Solvind.
- Luftmotstand.
- Relativistiske effekter.
- Andre krefter.

Disse perturbasjonene er det vanskelig å utvikle matematiske modeller for, og dette er grunnen til at kontrollstasjonene hele tiden må oppdatere baneparametrene i satellittene (Fossen, T. I., 1998).

2.1.2 Satellittklokke

Et grunnleggende prinsipp for GPS er at man fortar en enveis avstandsmåling, som er direkte avhengig av satellittens klokke. GPS bruker atomklokker (cesium og rubidium oscillatorer), som har en stabilitet på 10^{-13} over en dag (Parkinson, B. W. et. al., 1996). Hvis en tid kan forutsees med denne nøyaktigheten, vil en feil etter en dag være rundt 10^{-8} sekunder, det vil si ca 3.5 m.

Gjennom målinger på kontrollstasjonene får satellitten informasjon om egen klokkefeil, som deretter sendes til brukerne gjennom navigasjonsmeldingen. Klokkefeilen modelleres som:

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 \quad (2.1)$$

Hvor δ^j er klokkefeilen for satellitt j , a_0 , a_1 og a_2 er korreksjonskoeffisientene gitt av navigasjonsmeldingen, t er klokkes verdi (tiden) og t_0 er en gitt referansetid. Ved bruk av dette polynomet kan feilen i satellittklokken kompenseres for, og man sitter igjen med en rest som tilsvarer 1-3 meter (Fossen, T. I., 1998).

2.1.3 Ionosfærens påvirkning

Ionosfæren er en del av atmosfæren, som inneholder nøytrale partikler, elektroner og ioner, og strekker seg fra ca 50 til 1000 km over jordoverflaten. På grunn av de frie elektronene i ionosfæren vil ikke GPS signalene bre seg med lysets hastighet (hastigheten i vakuum) gjennom dette laget. Den ElektroMagnetiske- (EM-) bølgen vil bli forsinket proporsjonalt med antallet frie elektroner den møter på, og er også invers proporsjonal med kvadratet av bæreølgefrekvensen:

$$\Delta t = \frac{40.3}{c \cdot f^2} \int Ndl = \frac{40.3}{c \cdot f^2} TEC \quad (2.2)$$

Hvor $\int Ndl$ er det totale antallet elektroner som signalet møter på veien fra satellitten til mottakeren (eng Total Electron Content (TEC)). Δt er forsinkelsen gjennom ionosfæren, c er lyshastigheten i vakuum og f er frekvensen til GPS-signalet (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

Ionosfærens påvirkning er vanligvis stabil i de forskjellige temperatursonene på jorden, men det kan oppstå betydelige fluktuasjoner nær ekvator og de magnetiske polene. Det finnes metoder for å kompensere for påvirkningen fra ionosfæren. Den enkleste metoden er å bruke en modell, med begrenset gyldighet, for disse påvirkningene. Disse modellene kan oppdateres i mottakeren gjennom parametere i navigasjonsmeldingen, som sendes fra GPS-satellittene. Den effektive nøyaktigheten til denne type modeller er rundt 2-5 meter ved avstandsmåling, for brukere i den aktuelle temperatursonen. En annen metode er å benytte to-frekvensmottakere. Dette er en mulighet for de mottakere, som kan motta P-koden i GPS systemet, og den er ikke åpnet for sivile brukere. Metoden går ut på å måle ankomsttiden for begge frekvensene (L1 og L2), og gjennom disse tidene kan forsinkelsen finnes algebraisk. Denne teknikken vil gi en nøyaktighet på 1-2 meter ved avstandsmåling med tofrekvens mottaker (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

Ionosfæren påvirker også signalet på andre måter. Disse påvirkningene er derimot regnet som så små, for GPS signalet, at de er neglisjerbare. Neglisjerbare påvirkninger er:

- Ionosfærisk dopplerskift.
- Faraday rotasjon.
- Avbøyning av radiobølgene.
- Forvrengning av pulsform.
- Amplitudescintillasjon.
- Fasescintillasjon.

(Parkinson, B. W. et. al., 1996).

2.1.4 Troposfærens påvirkning

Troposfæren er den delen av atmosfæren som strekker seg fra jordoverflaten og opp til ca 10 km, den består av mye gass og vanndamp. Det er disse bestanddelene som i hovedsak skaper dempning, og forsinkelse, av signalet fra satellitten. Troposfærens påvirkning er som følger:

- Atmosfærisk dempning.
- Dempning i regn.
- Troposfærisk scintillasjon.
- Troposfærisk forsinkelse.

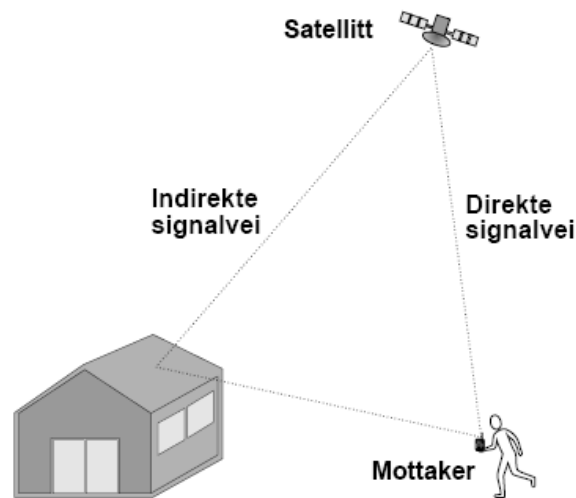
(Parkinson, B. W. et. al., 1996).

Atmosfærisk dempning i GPS båndet er dominert av dempningen i oksygen. Denne dempningen er relativt liten, men kan bli betydelig større ved lavere elevasjonsvinkler. Dempningen i vanndamp, regn og nitrogen i GPS-båndet er neglisjerbare. Selv dempningen i tungt regn er veldig liten, og kan derfor sees bort ifra. Troposfærisk scintillasjon kommer av uregelmessigheter og turbulens, i den atmosfæriske brytningsindeksen, hovedsaklig i de første få kilometerne over jordoverflaten. En radioforbindelse mellom satellitt og bruker vil bli påvirket av en kombinasjon av tilfeldig absorpsjon, samt spredning, fra en mengde signalveier. Disse vil dermed skape tilfeldige amplitude og fasescintillasjoner, i den mottatte bølgeformen. Scintillasjonseffektene vil variere over tid, og er avhengig av frekvens, elevasjonsvinkel og været. Ved GPS frekvensene er denne påvirkningen generelt relativt små (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

Signalet som blir mottatt fra en GPS satellitt blir bøyd av i atmosfæren, på vei mot en mottaker på bakkenivå. Den atmosfæriske avbøyningen skaper forsinkelse, som avhenger av den aktuelle signalveien og brytningseffekten, til gassene langs denne veien. Feil i estimeringen av troposfærisk forsinkelse vil ha en viss kansellerende effekt, da feilen fra de forskjellige satellittene er korrelert. Betydelig troposfærisk feil kommer mest sannsynlig fra satellitter med lav elevasjonsvinkel (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

2.1.5 Flerveistransmisjon

Flerveistransmisjon er feil som er forårsaket av at reflekterte signaler blir mottatt i GPS-mottakeren, og forstyrrer korrelatoren i mottakeren. Disse refleksjonene kommer av at GPS-signalene blir reflektert i høye bygninger, fjellvegger og andre større objekter (Fossen, T. I., 1998).



Figur 2.1 Flerveistransmisjon (Fossen, T. I., 1998).

Dersom man benytter det reflekterte signalet til å beregne avstanden til satellitten, vil dette gi feil i målingene. Siden flerveisinterferens er sterkt avhengig av geometriske forhold, finnes det ingen modeller som kan brukes til å hankses med dette problemet. Den mest effektive metoden for å minimere problemet, er å ta hensyn til mulige refleksjoner når man plasserer ut antennen, eller foretar målinger. Det finnes også spesielle antenner med innebygde mekanismer for å hankses med problemet. Dette er mekanismer som refleksjonsskjerm, polariserte antenner og digitale filtre. Forsøk har vist at flerveisinterferens kan antas som kvasi-tilfeldig, noe som igjen gjør at man kan se bort ifra eventuelle biaser. Det viser seg at kodemåling er mer utsatt for flerveisinterferens enn fasemåling. Ved kodemåling kan feilen komme opp mot 10-20 meter. I ekstreme tilfeller, som i større byer med mange høye bygninger, er det målt feil på hele 100 meter. (Fossen, T. I., 1998).

2.1.6 Mottaker

Målestøyen varierer fra mottaker til mottaker, og er blant annet avhengig av hvilke korrelasjonsteknikker, og faselåste sløyfer, som benyttes. En stor del av målestøyen skyldes også termisk støy i komponentene (Fossen, T. I., 1998).

Den begrensede presisjonen til programvaren i mottakeren, var et problem ved tidligere mottakere. Dette skyldes i hovedsak at man benyttet 8 bits mikrokontrollere. Nyere mottaker har mer moderne mikrokontrollere, noe som igjen fører til at de har bedre presisjon raskere databehandling. Et samlet krav er at mottakeren ikke bør bidra med mer en 0,5 millisekund feil i bias, og mer enn 0,2 meter i støy (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

2.1.7 Geometri

Nøyaktigheten til målingene vil i tillegg påvirkes av de synlige satellittenes geometri. Siden både satellittene og mottakeren beveger seg, vil geometrien endres over tid. Dette fører igjen til at nøyaktigheten til målingene er avhengig av både mottakerens posisjon og tid på døgnet. Et mål for forringelsen av nøyaktighetene til målingene, på grunn av geometriske forhold, er den såkalte geometrifaktoren (eng. Dilution of precision, DOP) (Fossen, T. I., 1998).

Konseptet med DOP er et kraftig hjelpemiddel for GPS. Alle mottakere bruker en algoritme basert på DOP, for å velge det beste settet satellittene, som er synlig på himmelen. Posisjonsnøyaktighet kan dermed bli estimert ved å multiplisere avstandsnøyaktigheten med DOP-faktor. Denne DOP-faktoren avhenger av geometrien. Variasjoner i geometrien er mye større enn variasjonene i avstandsnøyaktigheten for en gitt satellittkonstellasjon (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

2.1.8 Samlet oversikt over feilenes størrelse

For å få en viss oversikt over betydningene av de forskjellige feilene og deres innvirkning, settes her opp en tabell som viser deres størrelse.

Tabell 2.1 Oversikt over feilene og deres innvirkning i GPS (Parkinson, B. W. et. al., 1996).

Feilkilde	En sigma feil, meter		
	Bias	Støy	Total
Ephemerisdata	2,1	0,0	2,1
Satellittklokke	2,0	0,7	2,1
Ionosfære	4,0	0,5	4,0
Troposfære	0,5	0,5	0,7
Flerveistransmisjon	1,0	1,0	1,4
Mottaker måling	0,5	0,2	0,5
Rms ekvivalent bruker avstandsfeil (UERE)	5,1	1,4	5,3
Filtrert UERE	5,1	0,4	5,1
Vertikal en sigma feil – VDOP = 2.5			12,8
Horisontal en sigma feil – HDOP = 2.0			10,2

Ekvivalent-bruker-avstandsfeil (eng. User Equivalent Range Error, UERE), er den statistiske avstandsfeilen som representerer summen av alle feilkildene (Parkinson, B. W. et. al., 1996). Som forventet ser man at den dominante feilkilden er ionosfæren. Det er derfor viktig å få denne feilen så liten som mulig, men dette er vanskelig uten bruk av flere frekvenser. Dette er en av grunnene til at de militære tofrekvensmottakerne har bedre nøyaktighet. Av tabellen kan man også se DOP-faktorenes innvirkning på den totale feilen. Dette kommer av at den totale posisjonsvariansen er produktet av DOP-faktoren og avstandsvariansen. En horisontal feil på 10 meter er som forventet for en sivil mottaker ved tempererte breddegrader.

2.2 GPRS

GPRS, eller General Packet Radio Service, er informasjonsbæreren, som benyttes for overføring av AGPS-data, i løsningen valgt for dette prosjektet. Tjenesten kom som en ”oppgradering” av GSM standarden, og blir ofte kalt 2,5G, hvor 2G (2. generasjons mobiltelefoni) er betegnelsen GSM har, og 3G henspeiler på UMTS. Denne tjenesten benytter ubrukte TDMA kanaler i GSM-nettverket, og gir moderate hastigheter for overføring av data.

GPRS er forskjellig fra eldre linjesvitsjede (eng. Circuit Switched Data (CSD)) overføringer, slik som GSM-data. I CSD må man først sette opp en forbindelse, som igjen reserverer båndbredde til overføringen så lenge forbindelsen er holdt åpen. GPRS er pakkesvitsjet, noe betyr at flere brukere deler den samme overføringskanalen, og bare overfører data når de har data å sende. Dette betyr igjen at total tilgjengelig båndbredde, øyeblikkelig kan bli tilegnet de brukerne som sender på det aktuelle tidspunktet. Dette gir bedre utnyttelse av båndbredden, siden brukerne da kan sende og motta data periodisk.

Vanligvis blir GPRS-data fakturert per kilobytes, mens CSD blir fakturert per sekund forbindelsen er oppe. Dette betyr at for CSD blir kundene fakturert for tidspunkt hvor brukeren ikke overfører data, men forbindelsen er oppe, på grunn av at båndbredde ikke er tilgjengelig for andre brukere.

Som tidligere nevnt er pakkesvitsjet data under GPRS oppnådd ved, at man benytter ubrukt celle båndbredde for å overføre data. Da de dedikerte tale- eller datakanalene (CSD) gjøres beslag på av telefoner, vil båndbredde til pakkesvitsjet data krympe. En konsekvens av dette er, at pakkesvitsjet data har dårlig bitrate i travle celler. En teoretisk grense for pakkesvitsjet data er omtrent 160 kbit/s, ved å benytte alle 8 tidslukene. En realistisk bitrate er 30-80 kbit/s, på grunn av at det er bare mulig å benytte maksimalt 4 tidsluker i nedlinken, og maksimalt 4 i opplink. Disse begrensningene ligger i GPRS standarden.

I den senere tid har det også kommet en oppgradering av GPRS. Denne teknologien kalles "Enhanced Data rates for GSM Evolution" (EDGE), eller "Enhanced" GPRS (EGPRS), og gir høyere bitrater, opptil 236,8 kbit/s. Jeg vil ikke diskutere denne teknologien nærmere, da GSM modulene benyttet i løsningen ikke innehar mulighet for bruk av denne teknologien.

3 Programvareutviklingen

Utviklingen av programvaren har, som i prosjektoppgavene, vært hovedbeskjeftigelsen under prosjektet. Etter at prosjektoppgaven var ferdig, var det bare en liten del som gjenstod og man anbefalte derfor å fortsette utviklingen.

Den største utfordringen man stod ovenfor var at dataene en overførte mellom server og klienten ikke kom riktig frem. Det viste seg at alle ”bytes” i meldingen som hadde en verdi som $7f_h$ ble forandret til en sekvens med andre verdier. Etter nærmere undersøkelser fant en ut at dette problem kom av at meldingene ble bygget opp av tekststrenger (string) og bokstaver (character). Når en benytter disse ”Java typene” vil det bli problemer med verdier som befinner seg utenfor det benyttede tegnsettet. Ofte består disse tegnsettene av 127 tegn, noe som kan forklare problemet med verdier over $7f_h$. Det vil også skape problemer hvis det benyttes forskjellig tegnsett på klient og server.

Etter diskusjon med utviklere på Telenor fant en ut at den enkleste løsningen på dette problemet var å bygge opp meldingene av binærverdier og ikke konvertere frem og tilbake slik det gjort i programvaren. Det ble derfor jobbet med å finne en løsning på dette.

Da problemet ble løst og meldingene kom frem som de skulle, begynte uttestingen av løsningen. En oppdaget raskt at noe var galt siden klienten brukte betydelig lenger tid på å få 3D-fix med AGPS, enn uten. De ble tidlig klart at feilen måtte ligge i meldingene som ble overført fra serveren, da det er disse meldingene som er forskjellen om man benytter AGPS eller ikke. Dette gjorde at man på nytt måtte analysere meldingene.

Under analysen ble det oppdaget feil i alle meldingene som sendes ifra serveren og disse problemene måtte løses før en kunne starte målingene.

3.1 AID-INI

Under analyse av meldingene ble det oppdaget et betydelig avvik i AID-INI meldingen. Denne meldingen blant annet en antatt posisjon til klienten, samt en klokkeangivelse som må ha en nøyaktighet som er bedre en 3 sekunder. Det viste seg at klokkeangivelsen (Time-of-week (TOW)) som ble overført i meldingen var Java systemtid, og ikke GPS systemtid. Løsningen på dette problemet var å lage en metode i serverapplikasjonen som beregnet GPS-uke (WEEK) og GPS-klokke (TOW). I tillegg til dette ble det installert en applikasjon på serveren som jevnlig synkroniserte serverens klokke med UTC-tid

3.1.1 GPS-systemtid kontra Java-systemtid

Java-systemtid er som GPS TOW definert i millisekunder. Den største forskjellen på disse klokkeverdiene er definering av nullpunktet, det vil si hvilket tidspunkt klokken startet og telle ifra 0.

Java-systemtid har sitt nullpunkt 1. Januar 1970 kl 00:00:00 GMT. Alle tidspunkt blir regnet ut ifra en millisekundsverdi som startet på dette tidspunktet. For tidspunkt før 1. Januar 1970 vil bli angitt som en negativ verdi.

GPS-Systemtid er referert til UTC og har sitt nullpunkt midnatt mellom lørdag 5. og søndag 6. januar 1980. På dette tidspunktet ble GPS-klokken definert som WEEK 0 og TOW 0 millisekunder. Dette medfører at en ny uke vil starte alltid starte natt til søndag. Når en ny uke starter vil WEEK inkrementere og TOW vil resettes og dermed starte og telle i millisekunder fra 0.

3.2 AID-ALM

Også AID-ALM meldingen inneholdt feil. Måten man sjekket dette på, var å sammenligne innholdet av AID-ALM meldingen som blir satt sammen på serveren imot en som ble hentet ut ifra GPS-mottakeren. Ved å benytte GPS-mottakeren ifra U-blox til å gi referanse meldingen, kunne disse enkelt sammenlignes da referansemeldingen

allerede var formattert etter UBX standarden. Denne sammenligningen viste at det var feil i tre av ordene i meldingene. Nærmere analyse viste at disse var rene fortegnsfeil, som enkelt kunne rettes på.

3.3 AID-EPH

Feilen i AID-EPH meldingen hadde et betydelig større omfang en den i AID-ALM meldingen. I denne melding var det ikke bare fortegnsfeil, men også feil med rekkefølgen dataene var satt sammen i. Det ble startet en jobb for å bygge opp denne meldingen på nytt, men dette ble avsluttet etter en stund på grunn av tidsnød mot slutten av oppgaven.

Feilen i AID-EPH er som sagt ikke bare fortegnsfeil, men at ephemerisdataene fra serverens GPS-modul ikke blir riktig konvertert til UBX-formatet. Dette kommer av at det ble gjort feil i måten disse dataene ble satt sammen på. GPS-modulen som er tilknyttet serveren er produsert av et annet firma en GPS-modulen i klienten, og følger derfor ikke den proprietære UBX protokollen. Dette er grunnen til at man må foreta konvertering i utgangspunktet. Den enkleste løsningen på dette problemet hadde vært å erstatte denne GPS-modulen med en som er produsert av u-Blox og dermed følger UBX-protokollen. En ville da sluppet konvertering av meldingene som GPS-mottakeren trenger for å benyttes i AGPS-modus. AID-INI meldingen derimot, må alltid produseres på serveren da denne inneholder klokkeinformasjon som skal ha en nøyaktighet som er bedre enn 3 sekunder.

Det ble dermed bestemt at løsningen på dette problemet var å benytte AID-EPH meldinger som ble laget av GPS-mottakeren selv. Dette betyr at før man kan foreta måling med utstyret, må GPS-mottakeren laste ned ephemeris fra alle meldinger den kan se slik at disse kan lagres i GSM-modulen. Serveren vil derfor ikke oversende AID-EPH meldingen, men denne vil ligge lagret lokalt på klienten.

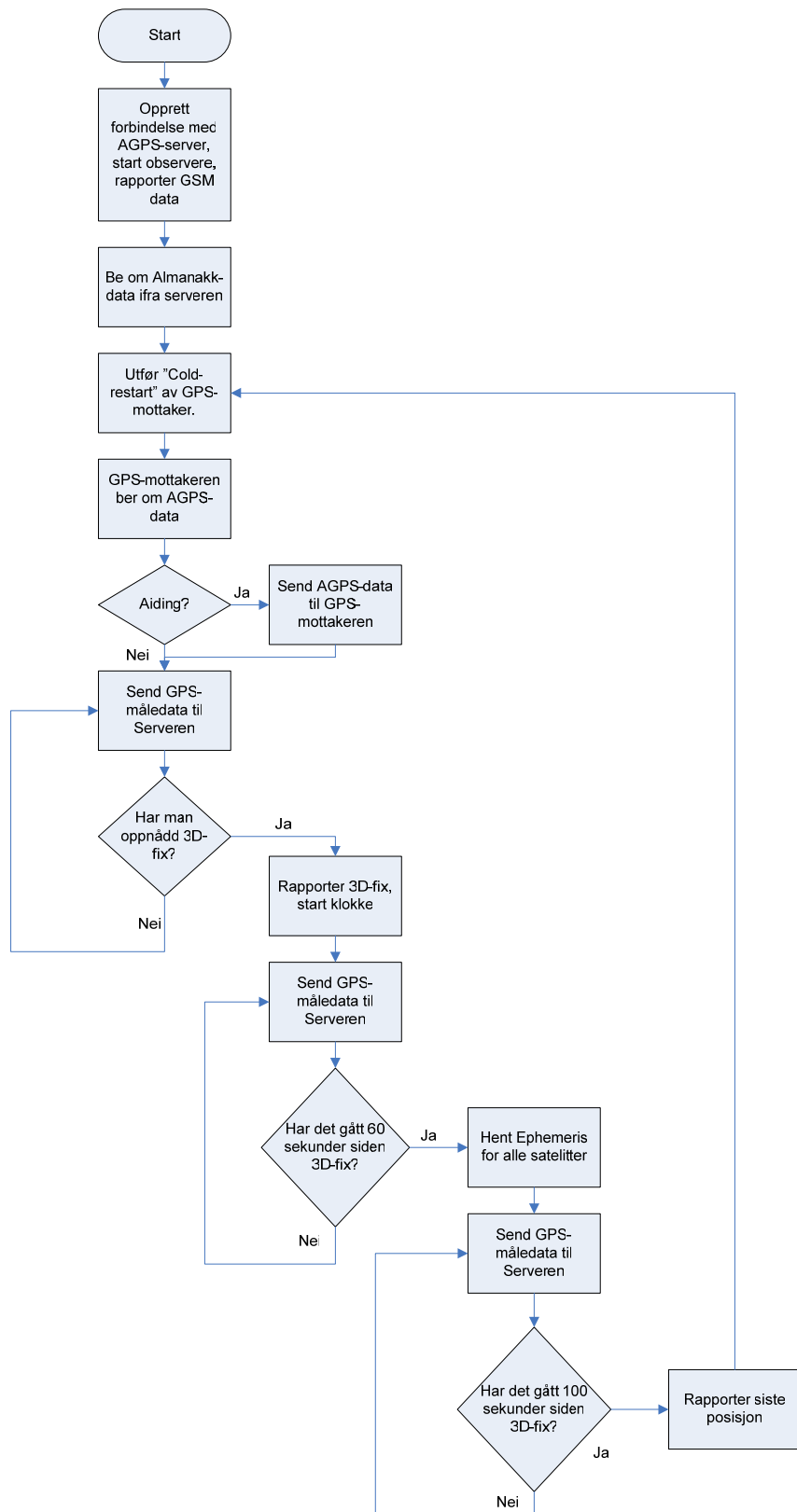
3.4 Den ferdigutviklede programvaren

På grunn av problemet med AID-EPH meldingen måtte man gjøre tildels store endringer i programmet. En begynte også å tenke på hvordan testingen skulle utføres. Ved testing er det viktig at man får utført så mange tester som mulig slik at man får best mulig datagrunnlag. Derimot er det nødvendig å ikke la målingen gå så fort at dette kan skape unødvendige problemer. Dette for at man skal være sikker på at blant annet målingene skal bli så nøyaktig som mulig.

Tanken bak den ferdigutviklede programvaren er at hele målesekvensen skal gå i sløyfe. Den må kunne settes i gang og alene foreta målinger uten noe form for interaksjon med testoperatør. Dette gjør at testoppsettet kan settes igjen uten oppsyn, etter at testen er startet. En stund så man på muligheten til å resette GSM-modulen ved hjelp av SMS, men dette ble droppet på grunn av resurskonflikt i programmet. Dette ville også skape behov forholdsvis mange SMSer, og vil ikke være hensiktsmessig i en testsituasjon.

Videre måtte det legges inn mulighet til å laste ned ephemeris ifra GPS-mottakeren og lagre disse på GSM-modulen. Dette må naturligvis gjøres etter at GPS-mottakeren har oppnådd 3D-fix. Etter å ha jobbet med GPS-modulen en stund er det en klar tendens til at GPS-modulen først finner og låser seg til det antallet satellitter den trenger til å oppnå en 3D-fix, før den prøver å finne flere satellitt signaler. Denne egenskapen ligger nok innebygget i GPS-mottakerens posisjoneringsalgoritme, og er ikke noe en kan styre utenifra. Dette medfører at en ønsker at GPS-mottakeren først skal oppnå en 3D-fix, for så å vente noen sekunder før man prøver å laste ned ephemeris ifra satellittene. Da vil GPS-mottakeren ha låst seg til flest mulig satellitter og dermed også ha ephemeris tilgjengelig fra disse.

En annen egenskap man måtte tenke på under utviklingen var muligheten til å måle posisjonen til GPS-mottakeren etter et vist tidspunkt. Dette for å kunne sammenligne nøyaktigheten ved første posisjonsangivelse, i forhold til posisjonen målt etter en viss tid etter 3D-fix.



Figur 3.1 Flytdiagram for måleapplikasjon i klient

Figuren 3.1 viser flytdiagram for applikasjonen som foretar målingene. Denne applikasjonen er implementert i AGPS-klienten og startes av måleoperatøren ved start av målingene. Alle målinger og andre meldinger blir lagret på serveren i en logfil som kan analyseres i etterkant av målingene. Måledataene kan derfor enkelt hentes ut og analyseres i programmer som Excel™ og MATLAB™.

Det første applikasjonen gjør er å opprette en forbindelse med serveren. Under denne opprettelsen rapporterer klienten noen egenskaper for GSM-nettet den er tilknyttet. Disse egenskapene er celleid, Location Area Code (LAC), IMEI til GSM-modulen, samt signalstyrkemålinger. Dette er egenskaper som en AGPS-server kan benytte for å finne frem riktig sett med AGPS-data som skal overføres til AGPS-klienten.

Deretter vil klienten be om almanakk data ifra serveren og lagre disse i GSM-modulen. Dette gjøres for at AGPS-dataene alltid skal være tilgjengelig når GPS-mottakeren ber om disse. Når almanakkdataene er hentet og lagret foretar GPS-modulen en "cold start" for å resette og starte første måling.

Ved første måling vil ikke GPS-mottakeren benytte AGPS, men foreta en måling uten bruk av disse dataene. Dette for at man i en etterfølgende analyse kan sammenligne egenskapene til systemet med og uten bruk av AGPS, og dermed også finne bevis på mulige forbedringer.

Under målingen vil GPS-mottakeren hele tiden rapportere til serveren. Dette er eventuell posisjonsmåling etter 2D-fix, antall satellitter den følger og eventuelle meldinger fra GPS-mottakeren. Når GPS-mottakeren har oppnådd 3D-fix vil klienten rapportere hvilken posisjon klienten er målt til ved 3D-fix, samt TTFF. Deretter vil den fortsette målingene av posisjon, samt finne og følge de satellittsignalene den har tilgang til.

60 sekunder etter 3D-fix vil GPS-modulen hente ned ephemerismeldingen fra alle satellitter den har tilgang til. Disse dataene blir lagret i AGPS-klient for at disse skal være enkelt tilgjengelig når GPS-modulen trenger disse. Klientapplikasjonen utfører målinger i

ytterligere 40 sekunder og rapportere tilbake til serveren, før den utfører en ”cold start”. Like før denne ”cold start” vil klientapplikasjonen rapportere klientens målte posisjon etter 100 sekunder til serveren.

Da applikasjonen har utført en ”cold start” vil den dermed starte målingene på nytt. Denne gangen vil GPS-modulen spørre etter AGPS-data og klienten vil da overføre disse. Almanakk og ephemeris er allerede lagret i AGPS-klienten, men AID-INI meldingen mangler. Denne blir hentet ifra serveren og overført sammen med de andre AGPS-dataene.

Resten av målingene foregår på samme måte som for målingene uten AGPS. Denne syklusen vil fortsette, med målinger uten bruk av AGPS og med AGPS annenhver gang, helt til målingene blir stoppet av testoperatøren. Alle målingene blir lagret i samme logfil og kan derfor analyseres etter endt måling.

4 Målinger

Dette kapitlet vil beskrive testingen av det ferdige produktet. Først blir det foretatt en diskusjon om hva andre gjør på dette området, før valgene i testprosedyren diskuteres og begrunnes. Deretter følger en presentasjon av målingene som er foretatt i dette prosjektet.

Det finnes flere løsninger for AGPS ute i markedet. Markedet er spesielt stort i USA, hvor Federal Communications Commission (FCC) har stilt krav til nettverksleverandører, om posisjonering av mobile terminaler. Disse kravene fører til at det har vært mye forskning på emnet. Det er så vidt meg bekjent ingen leverandører som har greid å oppnå full oppfylging av kravene til FCC. Spesielt vanskelig er det å posisjonere telefoner innendørs, og andre steder hvor GPS signalene er svake. Dette gjør igjen at FCC har gitt de fleste nettverkseierne utsettelse fra fristen for å oppfylle posisjoneringskravene.

Et firma som jobber med GPS-løsninger er Kongsberg Seatex i Trondheim. Som medlem av forskningsprosjektet "Halo", har Kongsberg Seatex gjennomført en rekke tester med en GPS med høy følsomhet. Denne GPSen er produsert av samme firmaet som har produsert GPS-mottakeren i klienten brukt til dette prosjektet. U-Blox SuperSense™-mottakeren er ikke en direkte AGPS-løsning, men mottakeren kan, som den mottakeren som er benyttet her, brukes i en AGPS-løsning ved å rett og slett erstatte denne GPS-mottakeren med en SuperSense™mottaker.

Testene Kongsberg Seatex har utført er ikke testing av en AGPS-løsning, men selve testingen har foregått på lokasjoner i Trondheim Sentrum. Det var et ønske fra oppdragsgiveren Telenor at noen av de samme lokasjonene som Kongsberg Seatex har benyttet, skulle brukes for uttesting av AGPS-løsningen.

4.1 "FCC compliance test"

"FCC compliance test" er, som navnet antyder en test for å sjekke om AGPS-løsningen oppfyller kravene til FCC. Det vil nå følge en kort beskrivelse av en slik test, for å gi begrunnelse for valgene foretatt i testprosedyren. Denne beskrivelsen er hentet ifra FCCs retningslinjer for uttesting av AGPS-løsninger (OET Bulletin No. 71).

For å sikre nøyaktigheten krever FCC en representativ samling testpunkt, valgt tilfeldig i dekningsområdet, og testet hvert halvår. Dette for å sikre at FCCs krav om 90 % suksessrate er oppfylt. Som en tommelfingerregel kreves det at testplasseringene representerer dekningsområdet, og valgt i en tilfeldig rekkefølge for å sikre statistisk nøyaktighet.

Det som er den store utfordringen å velge færrest mulig testpunkter for å spare kostnader, og samtidig å teste nettverket tilstrekkelig for å verifisering av ytelsen. For å klargjøre kravene har FCC gitt ut en tabell, som hjelper nettverksleverandørene i valg av tilstrekkelig antall testpunkter og feilmarginene avhengig av antall testpunkter. I tillegg vil testpunkter innendørs også gi utfordringer på grunn av mangel på GPS-signaler og andre referansepunkter. Tilslutt må plasseringene velges slik, at de har en høy sannsynlighet for at det skal bli foretatt en nødsamtale fra stedet. Dette gjøres for at målingene skal bli mer representable for dekningsområdet.

På grunn av at utbredelsen av RFsignaler vil være forskjellig i byområder, tettsteder og utkantstrøk (urban, sub-urban, rural), vil en mulig tilnærming være å dele inn målepunktene etter disse typer bebyggelser. Når man da har testet en type område vil etterfølgende målinger i samme område bare bekrefte målingene. Derimot kan konklusjoner for hele dekningsområdet som er trukket av målingene fra et enkelt bebyggelsesområde være unøyaktig.

4.2 Kongsberg Seatexs SuperSense™ test

Kongsberg Seatex gjennomførte august 2005 tester med u-Blox Antaris SuperSense™ GPS-mottaker. Denne mottakeren er en av de nyeste tilførselene i Antaris serien til u-Blox, og er dermed en videreutvikling av GPS-mottakeren som er benyttet i dette prosjektet. Denne mottakeren har bedre følsomhet enn den som er benyttet her, men er ellers helt lik. Den kan også benyttes i en AGPS-applikasjon, og bruker den samme kommunikasjonsprotokollen (UBX). Dette gjør at den enkelt kan erstatte mottakeren som er benyttet her, i en eventuell videreføring av prosjektet.

Kongsberg Seatex gjennomførte testingen i Trondheim sentrum, og la vekt på hvordan mottakerens forbedrede følsomhet kan være til hjelp i vanskelige omgivelser. Det ble gjennomført tester inne i bygninger, under kjøring i Trondheims gater og under åpen himmel. På hver testlokasjon så man på parametere som tilgjengelighet (signal og posisjonering) og nøyaktighet.

Testene som ble utført var både statiske, det vil si at GPS-mottakeren stod i ro under testen, og dynamiske, noe som vil si at GPS-mottakeren var i bevegelse. Selv om Kongsberg Seatexs test ikke er en test av en AGPS-løsning har jeg valgt å ta utgangspunkt i denne testen. Primært på grunn av at den er gjennomført i Trondheim Sentrum, men også etter ønske fra Telenor.

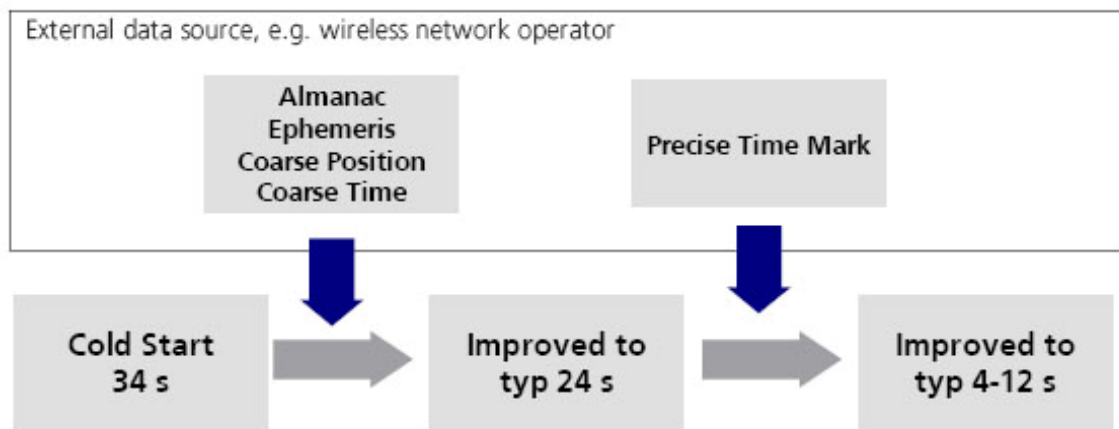
4.3 Hvilke parametere er viktige å teste?

I dette underkapitlet vil det følge en diskusjon om hvilke parametere, eller måleparametere, det er viktig å teste. Det er flere ting som er viktige å se på, blant disse er måleparameteren Time-To-First-Fix (TTFF). En annen viktig ting man også må undersøke er hvor nøyaktig den første posisjonen er og tilslutt vil en se om AGPS-løsningen vil gi bedre dekning innendørs.

4.3.1 TTFF

TTFF er et tall for hvor fort GPS-mottakeren finner sin posisjon ut ifra avstandsmåling til satellittene. Denne parameteren vil avhenge sterkt av signalstyrke, eller bæreølgeforhold (eng Carrier-to-Noise ratio (CNR)). Jo lavere CNR er, jo lavere sannsynlighet for signaldeteksjon, noe som igjen fører til forlenget TTFF. Grunnen til at TTFF er en viktig måleparameter, er at det er denne egenskapen en AGPS-løsning skal forbedre. Forbedringen i TTFF vil dermed være et kvalitetstall for løsningen.

For måling av TTFF er det viktig at GPS-mottakeren starter med samme utgangspunkt hver gang. En GPS-mottaker inneholder ofte, for å ikke si alltid, buffere eller lagre hvor de kan lagre informasjon om siste posisjonsangivelse. Dette er informasjon om siste posisjon, hvilke satellitter den brukte sist, samt almanakk, ephemeris og lignende. Den valgte GPS-mottakeren har forskjellige oppstartssenarioer hvor brukeren kan velge hvor mye av denne lagrede informasjonen den skal benytte. For en komplett test av løsningen er det viktig at mottakeren ikke benytter seg av noe lagret informasjon. Denne oppstartstypen kalles kald start (eng. Cold Start). Under kald start vil all lagret informasjon bli slettet, og derfor ikke bli tatt hensyn til under posisjonsberegningene.



Figur 4.1 Forbedring av TTFF

Som man kan se av figur 4.1 kan det forventes at ved bruk av AGPS-data, som almanakk, ephemeris, grov posisjonsangivelse og grov klokkeangivelse, skal forbedringen i TTFF

være ca 10 sekunder. Denne påstanden er noe som man må se nærmere på under testingen.

Ytterligere reduksjon i TTFF, kan ifølge leverandøren bare skje ved hjelp av såkalte ”Precise Time Marks”. Dette er et pulset signal som kommer med fast pulsrepetisjonsfrekvens (PRF), og er nøyaktig synkronisert med GPS-systemtid. I løsningen utviklet ved prosjektet er dette umulig å oppnå, mest på grunn av at man bruker GSM med sin ”Time division multiple access” (TDMA) teknikk. Ved TDMA vil ikke et håndsett/klient ikke inneha en synkronisme som er bra nok for å gi dette signalet, med den nøyaktigheten som kreves. Den totale tidsfeilen kan ifølge produsentene ikke være større enn 0,4 millisekunder, hvor total tidsfeil er gitt av:

$$error_{Time} = \Delta pos \cdot c + \Delta t \quad (4.1)$$

Δpos er avviket i posisjon angitt i AGPS-dataene, c er lyshastigheten i vakuum, og Δt er den maksimale feilen i tid angitt i AGPS-dataene. For å oppnå en forbedring av TTFF til 24 sekunder kan total tidsfeil være på 3 sekunder.

4.3.2 Nøyaktighet til første posisjonsangivelse.

Ved første posisjonsberegning benytter mottakeren ”minste kvadraters metode”. Etter at første posisjon er funnet, vil GPS-mottakeren benytte Kalman-filter til å finne de andre posisjonene. Et Kalman-filter vil bli mer nøyaktig etter flere iterasjoner, det er dermed ventet at nøyaktigheten bedres over tid. En annen grunn til at det er viktig å se på nøyaktigheten til den første posisjonen, er at det er denne posisjonen som benyttes i posisjonering av AGPS-klienten, noe som igjen gjør at denne bør være så nøyaktig som mulig. I tillegg vil en også se på posisjonen etter 100 sekunder, for å se om denne er mer nøyaktig.

E911 kravene fra USA sier at en mobilterminal med en AGPS-løsning må kunne posisjoneres innenfor 50 meter for 67 % (σ) av nødsamtalene, og 150 meter for 95 % (2σ) av samtalene. Det er disse kravene som ligger til grunn ved analysen av måleresultatene.

Nøyaktigheten vil være avhengig av flere elementer, men er primært avhengig av satellittgeometrien. Det vil si hvor mange satellitter som er synlig på himmelen for GPS-mottakeren og deres posisjon, samt flerveistransmisjon. Det finnes flere feilkilder i posisjoneringen, og noen av disse feilkildene påvirker posisjoneringen av GPS mer enn flerveistransmisjon. Grunnen til at jeg mener at flerveistransmisjon er så viktig, er at denne feilkilden er direkte avhengig av valg av test lokasjon. I et bymiljø kan feilen på grunn av flerveistransmisjon være signifikant. I teorikapitlet finnes en diskusjon av de fleste feilkildene til GPS. Ved å velge testlokasjoner hvor man normalt har begrenset oversikt tilgang til satellittene, samt steder med høyere forekomst av flerveis transmisjon vil man sette GPS-mottakeren på prøve.

4.3.3 Dekning innendørs

I en artikkel i tidsskriftet GPS WORLD fra 2002 lanseres en teori om sammenheng mellom mottakerens følsomhet og TTFF. Ved bruk av AGPS, samt GPS mottakeren da vet hvilke satellittsignaler som er tilgjengelig, vil den enklere finne og deretter låse til de tilgjengelige signalene. Dette medfører også at mottakeren slipper å søke igjennom like mange frekvensområder (eng. Frequency bins), som den ville ha gjort dersom den ikke visste hvor satellittene befinner seg, og dermed heller ikke vet noe om dopplerskiftet den kan oppleve på bakken. Tiden den sparer på redusert TTFF kan den bruke på dveler i hvert frekvensområdet. Dersom mottakeren bruker lengre tid i hvert frekvensområde vil følsomheten til mottakeren øke, og dermed kan GPS-mottakeren oppdage signaler den ikke ville ha oppdaget om den ikke var i AGPS-modus (LaMance, J., DeSalas, J., Jarvinen, J., 2002).

Det er derfor ønskelig å teste en AGPS-løsning innendørs for å se om man har skapt noe forbedring i følsomheten. Man vil også teste om GPS-mottakerens følsomhet er god nok

for posisjonering innendørs. Innendørsdekning er også en forutsetning for at en slik løsning skal bli godkjent av FCC.

4.4 Testingen

Siden Telenors ønske var at testingen skulle foretas på lokasjoner brukt i Kongsberg Seatexs SuperSense™ test, ble dette grunnlaget for valg av testlokasjoner. Siden SuperSense™- testen er en blanding av dynamiske og statiske tester, har en valgt bort noen av lokasjonene. Det ble foretatt statiske tester da det er TTFP som er hovedparameteren en ønsket å måle. En annen grunn til at man har valgt å bare gjennomføre statiske tester, er klientapplikasjonens oppbygning, og applikasjonens sykliske form. En test vil benytte ca 2 minutter for hver gjennomkjøring, og en er interessert i så mange tester som mulig for å få størst mulig datagrunnlag.

Videre har en prøvd å spre testlokasjonen, slik at alle bebyggelsestypene, byområde, tettsted og utkantstrøk (urban, sub-urban, rural), i FCCs ”Compliance test” blir dekket. Tester innendørs har også blitt dekket ved å foreta testing innendørs, i et vanlig trehus i Trondheim og inne på et kjøpesenter.

Ved bruk av AGPS vil AGPS-klienten hente en del data ifra AGPS-serveren. Blant disse dataene befinner en antatt posisjon til AGPS-klienten seg. Under alle testene ble denne antatte posisjonen satt til samme posisjon som AGPS-serverantennen. Dette vil si det samme som at man antar at AGPS-klienten befinner seg på Telenorsenteret, selv om man vet at klienten befinner seg et annet sted. Produsenten av GPS-mottakeren sier at denne antatte posisjonen kun skal være en grov posisjonsangivelse. Dette gjør at det skal være uproblematisk med en slik løsning.

4.4.1 Serverens plassering

Serverens plassering er ved gjennomføring av testen plassert på Telenorsenteret ved Tyholt i Trondheim. Plasseringen kommer av at dette er oppdragsgivers lokaler, samt tilgang på tilstrekkelig infrastruktur, som blant annet Internet. Plassering av serverens

GPS-antenne er ikke helt optimal, da denne er montert på en stang ut av et vindu i tredje etasje. Denne monteringen gjør at antennen ikke har klar sikt til himmelen, og dermed ikke har kontakt med optimalt antall satellitter. Det var en stund problemer med denne plasseringen da man i perioder bare mottok signal fra tre satellitter, noe som ikke er nok til å oppnå en tredimensjonal posisjonering. I figur 4.2 kan man se plasseringen av antennen.



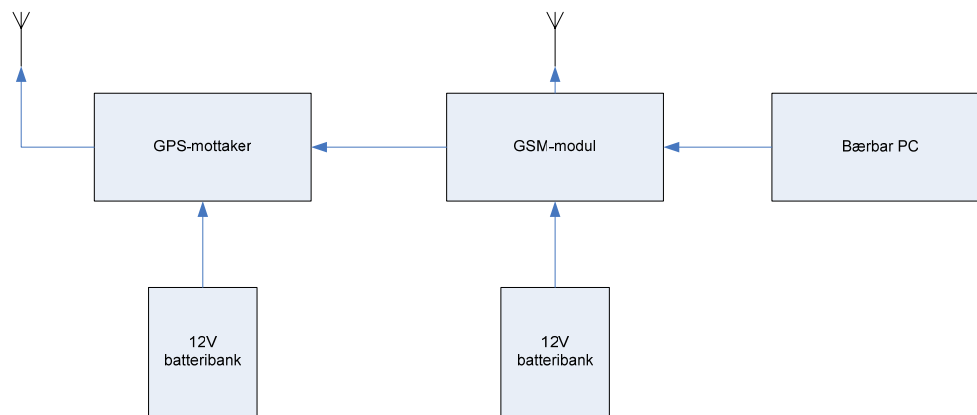
Figur 4.2 Plassering av serverantenne

Det ble under prosjektet prøvd å montere en GPS-repeater, men dette forsøket ble skrinlagt på grunn av delemangel. Planen var å montere GPS-repeaterens mottakerantenne på taket av Telenorsenteret og senderantennen i etasjen hvor serveren er plassert.

På serveren er det installert programvare som gjør at man kan styre serverapplikasjonen og hente ut logdata fra en eventuell testlokasjon over Internet. Dette gjør at man enkelt kan starte målingene fra testlokasjonene. Et problem med plasseringen av serveren er at man var avhengig av at vinduet på rommet som serveren er plassert må stå oppe. Siden flere andre benyttet samme rommet til prosjektarbeid, har dette medført at testingen kun kunne gjennomføres med værforbehold.

4.4.2 Måleoppstilling AGPS-klient

Under målingen med AGPS-klienten var det viktig at denne kunne tas med rundt til forskjellige målelokasjoner, også der hvor en ikke har tilgang på elektrisk strøm. Det var derfor viktig at komponentene kunne drives ved hjelp av batterier. En annen viktig egenskap til klienten var at den var liten, og krevde lite forarbeid før man kunne begynne testingen. Alle komponentene ble plassert i bærevesken til den bærbare PC-en under testingen.



Figur 4.3 Måleoppstilling AGPS-klient

Som batteribank ble det valgt en sammenkobling av 8 stykk 1,5 V LR6 batterier. Det ble valgt at GPS-mottakeren og GSM-modulen, skulle ha hver sin batteribank. Dette for å forsikre at hver av enhetene får nok strøm.

GSM-modulen og GPS-mottakeren er koblet sammen over RS-232 grensesnitt. RS-232 er også grensesnittet mellom den bærbare PC-en og GSM-modulen. PC-ens hovedoppgave er å starte Java-programmet på GSM-modulen, noe som igjen gjør at målingene starter. PC-en har også tilgang på internett gjennom 3G-mobiltelefoni, og kan dermed starte og stoppe serverapplikasjonen fra målelokasjonen.

4.4.3 Valg av testlokasjoner

Som tidligere nevnt er valg av testposisjoner nært knyttet opp mot Kongsberg Seatexs test av u-Blox SuperSense™ GPS-mottakeren. Dette er etter ønske fra oppdragsgiveren, Telenor, samt at denne testingen ble foretatt på offentlige steder i Trondheim sentrum. SuperSense™testen er ganske omfattende med sine 21 testlokasjoner/testruter. Den omfatter både statiske og dynamiske tester, samt at testene utføres både utendørs og innendørs.

Siden hovedparameteren som skal måles er TTFF, har en valgt å bare utføre statiske tester. Dette for at omgivelsene og forholdene skal være mest mulig like for hele måleserien. Man har lagt vekt på at testlokasjonene skal være enkelt tilgjengelig, men også falle inn under de forskjellige bebyggelsestypene nevnt i FCCs "Compliance test". En vil også prøve løsningen innendørs, dette for å se om AGPS vil gi noen forbedringer av posisjoneringsproblemet innendørs.

Tabell 4.1 Oversikt over testlokasjoner

Testlokasjon	Kategori	Beskrivelse	Bygningsmateriale
Telenorsenteret	Bygning med antenne utendørs	Initiell utendørs testing	Åpen himmel, med begrenset tilgjengelighet til satellittsignaler
Konsul Lorcks gate	Bygning	Innendørs	Trehus
Dronningensgate	Bygate	Utendørs, "bred" bygate	Omkringliggende bygninger
Gjelvangsveita	Bygate	Utendørs, "smal" bygate	Omkringliggende bygninger
Solsiden	Bygning	Kjøpesenter	Betong bygg, med glasstak
Henning - Steinkjer	Utendørs	Landlige omgivelser, ca 100km luftlinje fra serverlokasjon	Landlige omgivelser, ingen naturlige eller menneskeskapt hindringer

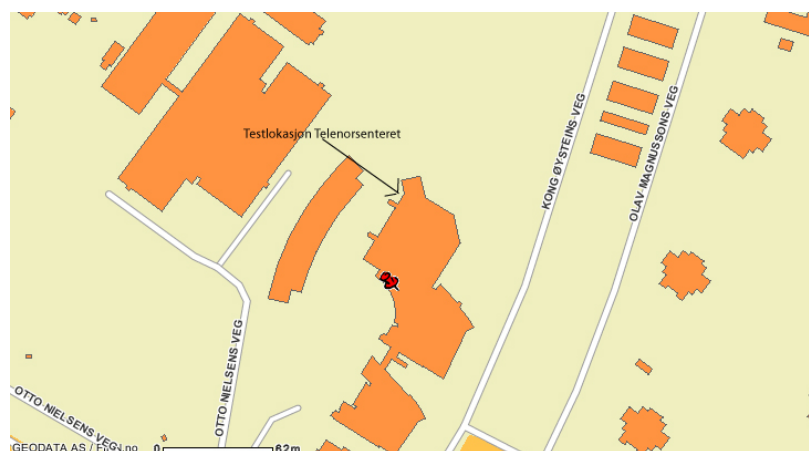
Det vil nå komme en beskrivelse av målelokasjonene, og testene utført på disse lokasjonene.

4.4.4 Telenorsenteret

Foruten å være lokasjonen hvor serveren er plassert, har også Telenorsenteret på Tyholt i Trondheim vært stedet hvor selve programutviklingen er foretatt. Dette er derfor et naturlig sted for de innledende testene av AGPS-løsningen. Siden antennen til AGPS-klienten ble plassert ved siden av serverantenne er det spesielt en utfordring som har gjort seg gjeldende. På grunn av at bygningen har fire etasjer, samt at antennen er plassert i vinduet i tredje etasje, vil bygningen i seg selv skape en skyggevirking, og dermed begrense kontakten med satellittene. Bygningen har også en ”utvendig” trappeoppgang som vil skape ytterligere skyggevirking, samt eventuelle refleksjoner.



Figur 4.3 Testlokasjon Telenorsenteret



Figur 4.4 Kart som viser plassering av testlokasjonen Telenorsenteret

Ved denne testlokasjonen ble det utført en 12 timers test. Varigheten på testen kommer primært av at da kan testen bli utført når ingen andre er tilstede i rommet, og at utetemperaturen dermed ikke har innvirkning. På kalde dager kan det bli kaldt på dette rommet. Det er også ønskelig med flest mulige testgjennomkjøringer, for best mulig datagrunnlag. Mengden data vil også påvirke nøyaktigheten til den statistiske analysen av måledataene.

I vedlegg A kan man se en ordnet versjon av måledataene. Disse dataene er hentet ut ifra logfilen, som lages på serveren. I denne logfilen kan man enkelt hente ut målingene for så å konvertere disse til et regneark. I prosjektet er det benyttet regnearket Microsoft Excel™ for finne de statistiske egenskapene til måledataene.

Tabell 4.2. Statistiske egenskaper for måling av TTFF og første posisjon etter 3D-fix

Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Time-to-first-fix	Gjennomsnitt	55,9 sekunder	36,7 sekunder
	Minimum	39,8 sekunder	23,8 sekunder
	Maksimum	124,7 sekunder	96,6 sekunder
	Standardavvik	16,4 sekunder	16,0 sekunder
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	10,4373005 grader	10,4370678 grader
	Standardavvik	49,8 meter	187,1 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,4228416 grader	63,4230802 grader
	Standardavvik	47,5 meter	98,7 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	220,5 meter	258,6 meter
	Standardavvik	85,0 meter	233,8 meter

Som en kan se av målingene vil det ved bruk av AGPS bli en betydelig reduksjon av TTFF. I gjennomsnitt blir denne forbedringen ca 19 sekunder. Dette er en betydelig reduksjon, selv om TTFF i gjennomsnitt ikke blir redusert til det nivået produsentene oppgir i figur 4.1. Noe av grunnen til dette er at bygningen som antennen står montert i skaper skyggevirksomhet, for signaler fra satellitter sørøst for målepunktet. Denne

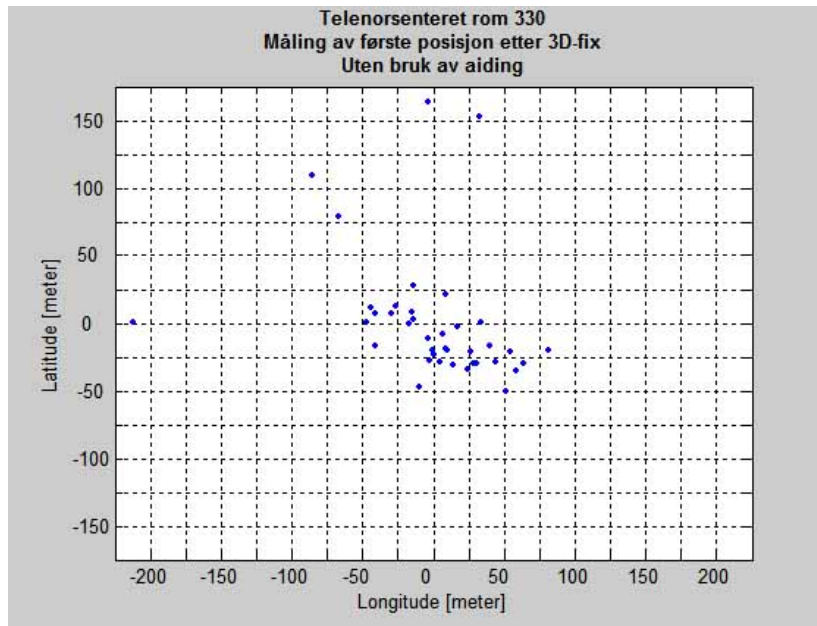
skyggeeffekten gjør at GPS-mottakeren ikke kan hente signaler med optimalt antall satellitter, noe som igjen kan føre til lengre TTFF.

Tabell 4.3 Statistiske egenskaper for posisjonsmåling etter 100 sekunder

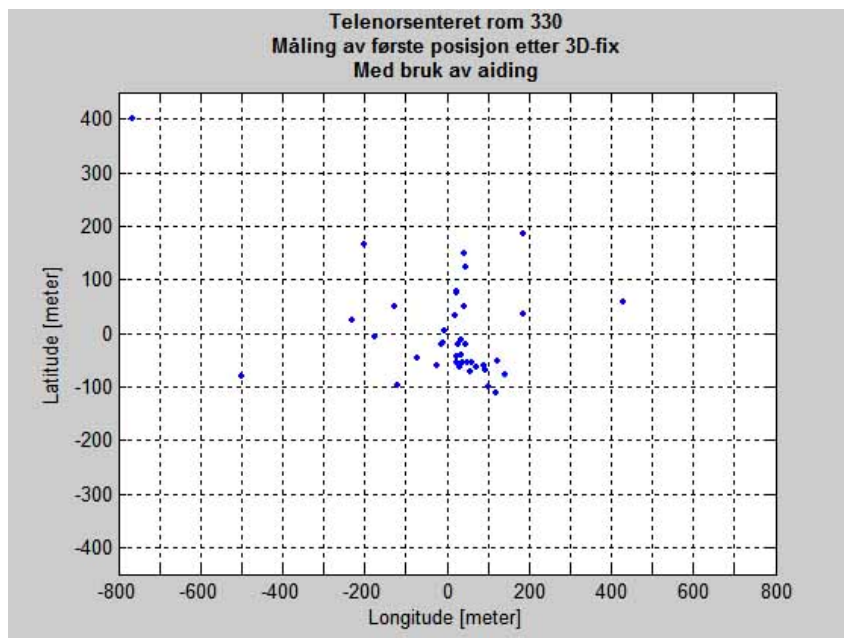
Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	10,4375625 grader	10,4374451 grader
	Standardavvik	17,2 meter	28,2 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,4226026 grader	63,4226701 grader
	Standardavvik	15,3 meter	16,9 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	162,6 meter	171,5 meter
	Standardavvik	24,2 meter	31,7 meter

Når en ser på posisjonsmålingene, og sammenligner disse med posisjonsmålingene etter 100 sekunder, ser man at nøyaktigheten til posisjonene ved første posisjonering er klart grovere enn posisjonen gitt etter 100 sekunder. Dette kommer av at GPS-mottakeren ved første posisjon benyttet minste kvadratersmetode, men deretter benytter Kalman-filter. Posisjonen gitt av Kalman-filter gir økende nøyaktighet etter hver iterasjon. Posisjonen gitt av minste kvadratersmetode blir derfor mer unøyaktig, enn en posisjon gitt av et Kalman-filter etter flere iterasjoner. En annen forklaring er at denne posisjonen forstyrres av refleksjoner og flerveistransmisjon. Ved refleksjoner vil ikke avstanden GPS-mottakeren beregner til satellitten bli riktig. Dette gjør at man kan oppnå feilposisjonering av klienten.

Grunnen til at det er så stor forskjell på posisjonen gitt av første posisjonering, med og uten AGPS er dog uviss. Det er vanskelig å komme med noen fornuftig forklaring på dette fenomenet. En mulig forklaring er at man med AGPS-dataene overfører en melding som blant annet inneholder en antatt posisjon av GPS-mottakeren. Denne posisjonen blir brukt i posisjonsbestemmelsen. Hvis denne posisjonen er feil, eller for grov vil denne skape unøyaktighet i posisjonen.

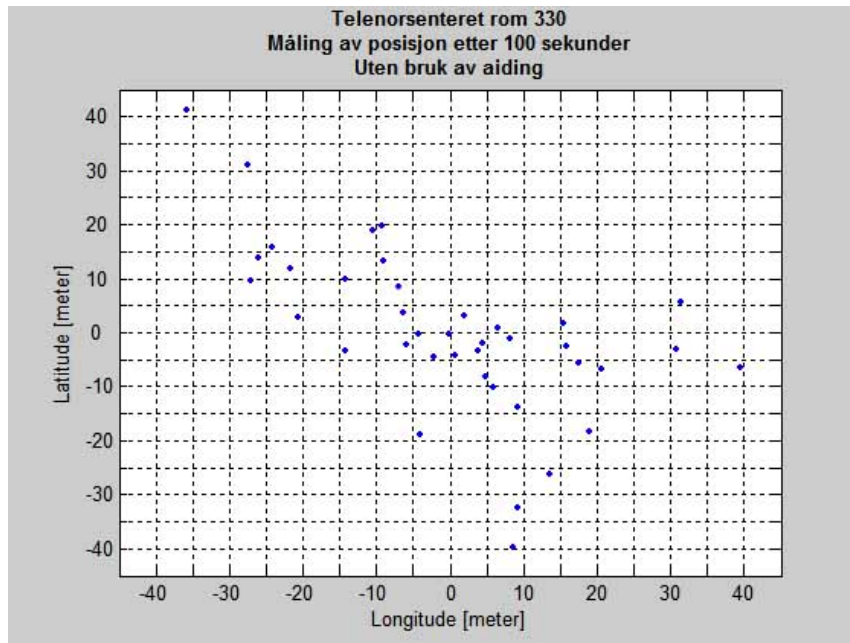


Figur 4.5 Spredning på målinger av første posisjonering uten AGPS

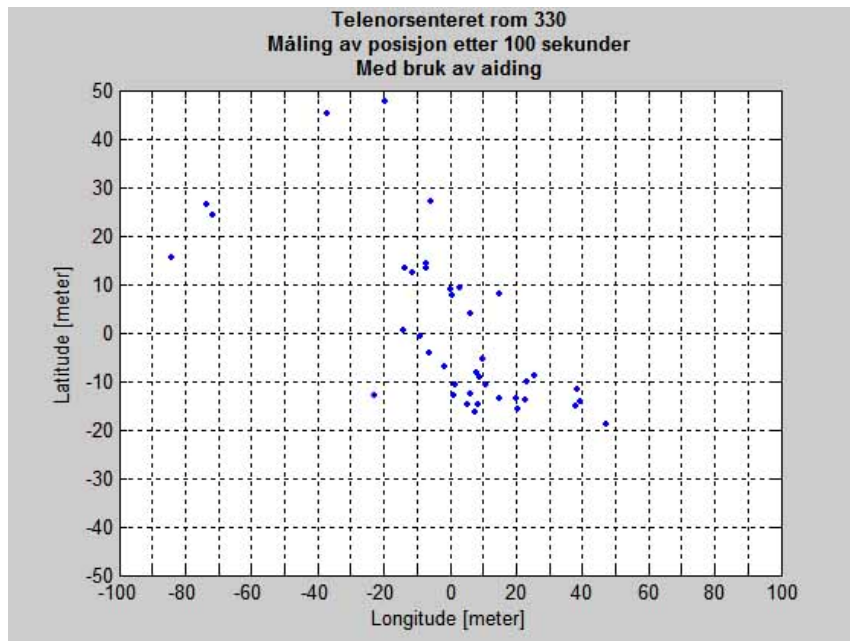


Figur 4.6 Spredning på målinger av første posisjonering med AGPS

Som man kan se av figurene 4.5 og 4.6 er det betydelig spredning på posisjonsmålingene foretatt på Telenorsenteret. Spredningen er, som man kan se av figur 4.6, størst ved bruk av AGPS.



Figur 4.7 Spredning på målinger etter 100 sekunder uten AGPS



Figur 4.8 Spredning på målinger etter 100 sekunder med AGPS

Figur 4.7 og 4.8 viser målingene utført etter 100 sekunder. Som forventet er spredningen betydelig redusert, da posisjonsberegningen ved hjelp av Kalman-filteret blir mer nøyaktig etter hver iterasjon.

Delkonklusjon

Testlokasjonen ble valgt ut på grunn av muligheten til å teste ut løsningen i omgivelser med mulige skyggevirkninger og refleksjoner. Bygningen antennen var montert på skapte en skyggevirkning mot sørøst. Dette gjorde at GPS-mottakeren ikke kunne motta signaler fra et optimalt antall satellitter. En utvendig trappeoppgang i bygningen skapte også ekstra skyggevirkning, og eventuelle refleksjoner.

Av målingene kan man se at parameteren TTFF blir betydelig forbedret ved bruk av AGPS. En greide allikevel ikke å redusere TTFF ned til produsentens oppgitte tall, men dette kommer mest sannsynlig av den begrensede tilgangen til signaler fra satellitter. En reduksjon på 19 sekunder må derfor sees som en indikasjon at AGPS løsningen virker etter hensikten.

En annen måling som er interessant å analysere i AGPS-sammenheng, er nøyaktigheten til den første posisjonen man får ut av systemet. Det er denne posisjonen som rapporteres når man har fått en såkalt 3D-fix, og er derfor den posisjonen som må diskuteres opp mot kravene fra FCC. FCCs krav er, som tidligere nevnt, at posisjonering skal forkomme innenfor 50 meter for 67 % (σ) av nødsamtalene, og 150 meter for 95 % (2σ) av nødsamtalene. Når man analyserer denne posisjonen ser man at posisjonene har et standardavvik på 187,1 meter i lengdegrad og 98,7 meter i breddegrad, når man benytter AGPS. Standardavviket viser at disse målingene er for grove til å tilfredsstillere FCCs krav om posisjonsnøyaktighet.

Det er vanskelig å komme med en god forklaring på at denne posisjonen er så grov, spesielt hvis man ser disse målingene i forhold til målingene uten AGPS. En mulig forklaring er at man med AGPS-dataene overfører en melding, som blant annet inneholder en antatt posisjon av GPS-mottakeren. Denne posisjonen blir brukt i posisjonsbestemmelsen. Dersom denne posisjonen er feil, eller for grov, vil det skapes unøyaktighet i posisjonen. For å få et ordentlig svar på denne unøyaktigheten, må man se nærmere oppbygningen av GPS-mottakere, og spesielt Kalman-filteralgoritmen, som er

benyttet i mottakeren. Dette er data som produsenten ikke har gitt ut, og det er derfor ikke diskutert i denne rapporten.

Posisjonen etter 100 sekunder er tatt med for å vise nøyaktighetene man kan oppnå i GPS-mottakeren med måling over en viss tid. Denne posisjonen er som ventet langt mer nøyaktig enn den første posisjonen man får etter en 3D-fix. Årsaken til dette er at når GPS-mottakeren får tid, vil en posisjon gitt av et Kalman-filteret etter mange iterasjoner bli mer nøyaktig en posisjon gitt av minste kvadraters metode, eller et Kalman-filter med få iterasjoner.

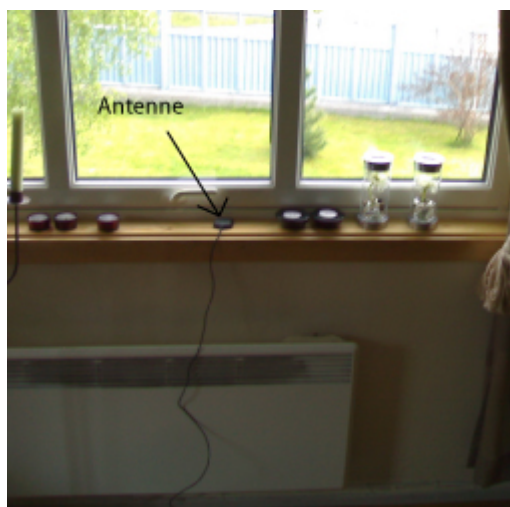
4.4.5 Konsul Lorcks gate 6

Testlokasjonen i Konsul Lorcks gate 6 ble primært valgt for å undersøke muligheten til å benytte AGPS-løsningen innendørs. GPS vil vanligvis ikke virke innendørs, på grunn av at signalenes CNR er for lav til at GPS-mottakeren kan følge, eller finne, satellittsignalene. Grunnen til at løsningen allikevel testes innendørs, er teorien om at den tiden man sparer på kortere TTFF, kan benyttes i korrelasjonsprosessen for å detektere signaler, som er vanligvis for svake til å bli detektert. En annen grunn er også at Kongsberg Seatex brukte et tilsvarende hus som testlokasjon i sin SuperSense™ test.

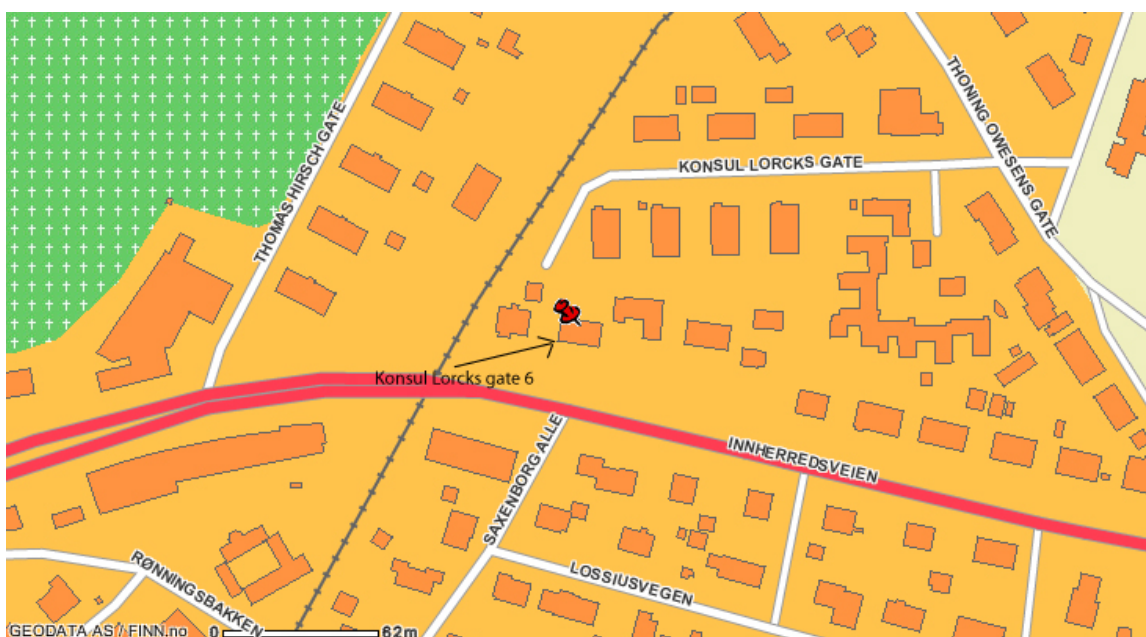
Antennen til GPS-mottakeren ble plassert i vinduskarmen inne i huset. Grunnen til at antennen ble plassert på dette stedet, var at det var vanskelig for GPS-mottakeren å finne satellittsignaler lengre inne i huset. Bortsett fra dempningen på grunn av vegger og vinduer, er det lite i nærområdet som kan skape refleksjoner og skyggevirking.



Figur 4.9 Plassering av antenne



Figur 4.10 Plassering av antenne



Figur 4.11 Kart som viser målelokasjon.

På målelokasjonen ble det utført en 12 timers test. Dette for at en skulle få så mange målinger som mulig, slik at man får best mulig datagrunnlag for statistiske analyser. Resultatet av målingene finnes i vedlegg B.

Tabell 4.4. Statistiske egenskaper for måling av TTFF og første posisjon etter 3D-fix

Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Time-to-first-fix	Gjennomsnitt	211,2 sekunder	176,1 sekunder
	Minimum	53,6 sekunder	43,0 sekunder
	Maksimum	634,8 sekunder	414,2 sekunder
	Standardavvik	167,6 sekunder	100,9 sekunder
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	10,4432596 grader	10,4439330 grader
	Standardavvik	218,9 meter	226,8 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,4378148 grader	63,4376534 grader
	Standardavvik	121,4 meter	141,3 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	192,8 meter	248,9 meter
	Standardavvik	171,4 meter	188,1 meter

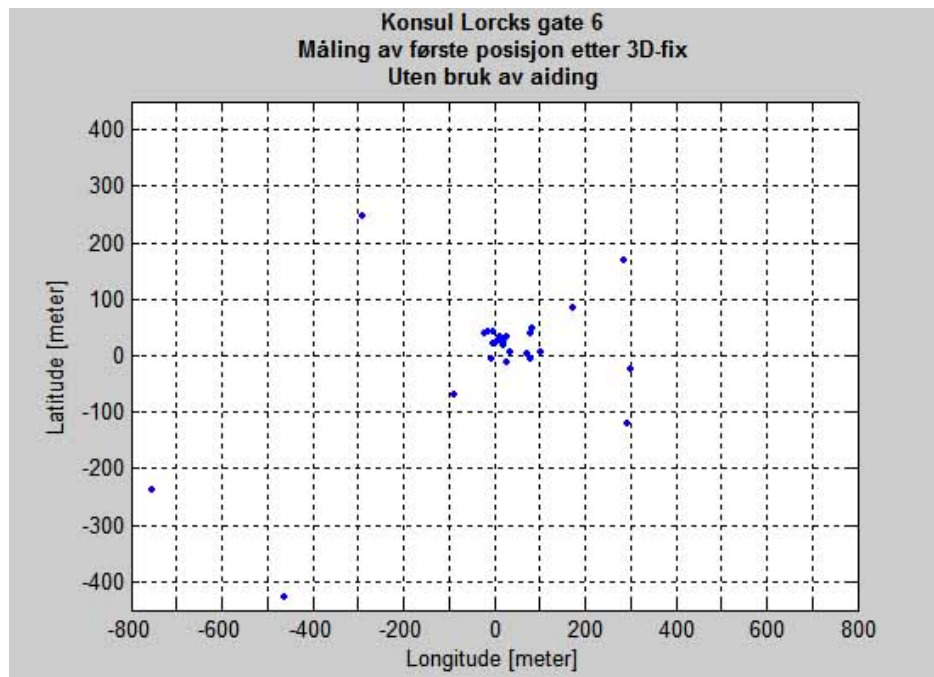
Som en kan se av tabell 4.4, har man også her en reduksjon i TTFF ved bruk av AGPS. Allikevel er den gjennomsnittlige TTFF svært høy. Etter analyse av logfilene ser en at GPS-mottakeren sliter med å følge satellittsignalene, og må hele tiden foreta ny søking etter nye satellitter. Dette er i hovedsak forårsaket av GPS-mottakerens ”dårlige” følsomhet. Når den ikke greier å følge satellittene, vil dette medføre høyere TTFF.

Tabell 4.5 Statistiske egenskaper for posisjonsmåling etter 100 sekunder

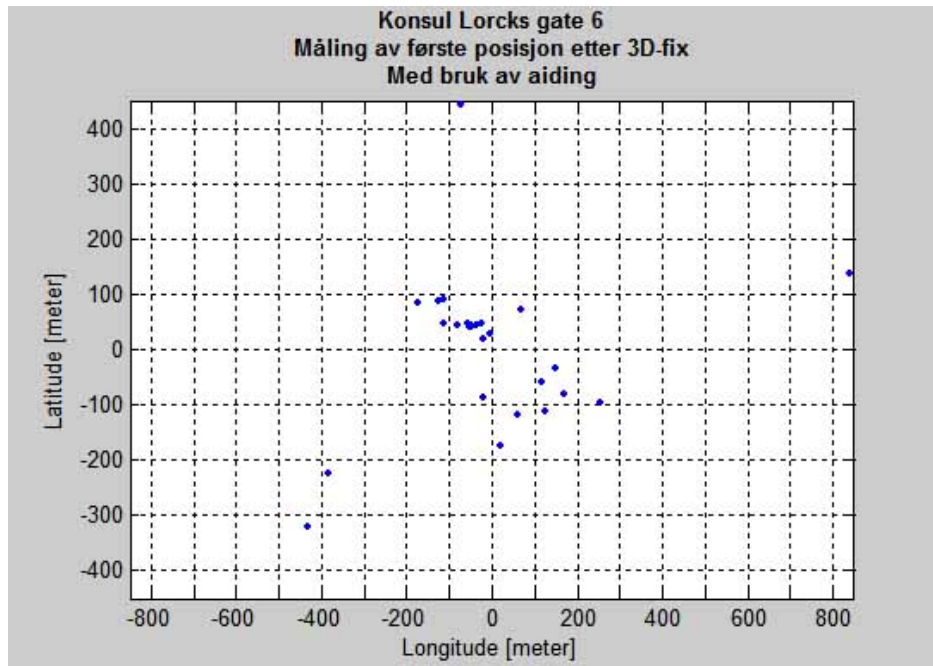
Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	10,4426519 grader	10,4434454 grader
	Standardavvik	300,1 meter	27,3 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,4387424 grader	63,4226701 grader
	Standardavvik	306,7 meter	15,3 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	116,6 meter	85,3 meter
	Standardavvik	129,0 meter	68,8 meter

Når man ser på posisjonsmålingene foretatt ved 3D-fix, er disse posisjonene veldig grove. Som en kan se av tabell 4.4, er det ikke så stor forskjell i nøyaktigheten ved bruk av AGPS eller ikke. Det er en antydning til at posisjonen ved bruk av AGPS er grovere enn uten bruk av AGPS, men dette er bare en indikasjon. Det statistiske grunnlaget i målingene er for lite til at man kan si dette med sikkerhet.

En interessant observasjon får man, når man ser på posisjonsnøyaktigheten etter 100 sekunder. Tabell 4.5 viser at 100 sekunder etter 3D-fix er posisjonen gitt når GPS-mottakeren er i AGPS-modus betraktelig mer nøyaktig enn uten bruk av AGPS. Dette kommer av at når GPS-mottakeren først har greid å oppnå 3D-fix ved å benytte AGPS, har den enklere for å følge satellittsignalene. Dette kommer av at GPS-mottakeren da allerede har mottatt parameterne den trenger fra navigasjonsmeldingen, og derfor ikke trenger å laste disse ned fra satellittene. Hvis man ikke benytter AGPS, vil mottakeren måtte hente ned navigasjonsmeldingen for få de samme parameterne som blir oversendt i AGPS-dataene. Nedlasting av hele navigasjonsmeldingen tar 12,5 minutter, noe som ikke vil være mulig før AGPS-klienten resetter seg.

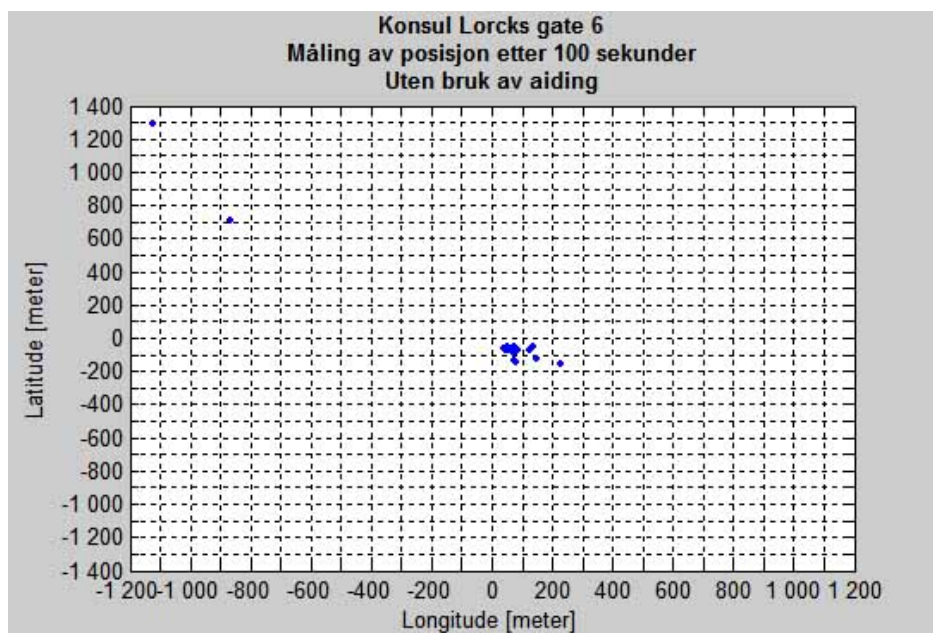


Figur 4.12. Spredning på målinger av første posisjonering uten AGPS

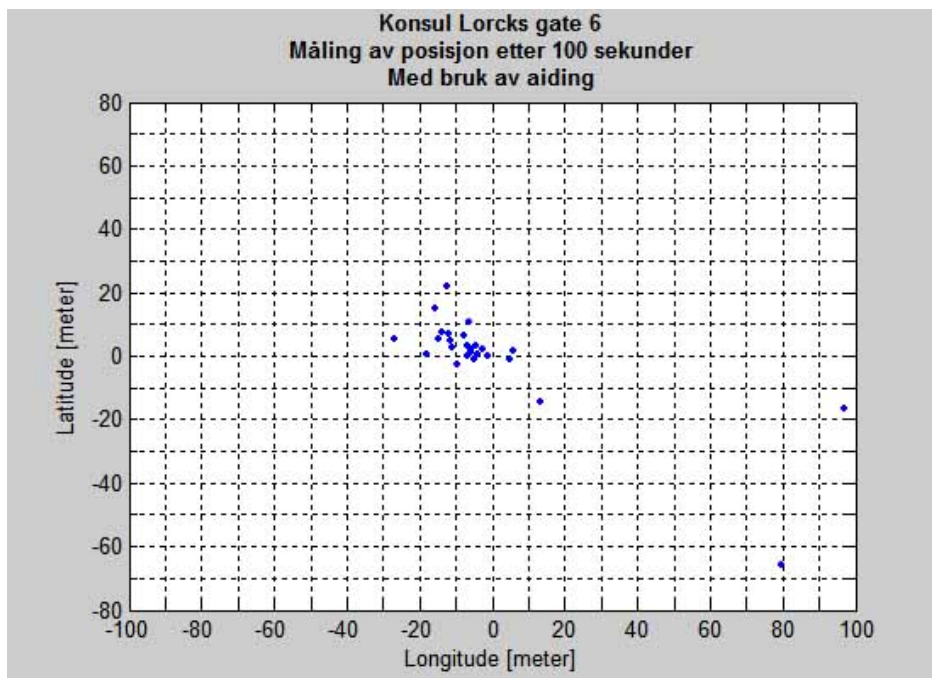


Figur 4.13 Spredning på målinger av første posisjonering med AGPS

Figurene 4.12 og 4.13 viser spredningen på målingene av første posisjon etter 3D-fix. Som en kan se av disse figuren er det betydelig spredning på målingene. Denne spredningen kommer også frem på den statistiske analysen av målingene i tabell 4.4



Figur 4.14 Spredning på målinger etter 100 sekunder uten AGPS



Figur 4.15 Spredning på målinger etter 100 sekunder med AGPS

Spredningen i posisjonsmålingene etter 100 sekunder kan ses av figur 4.14 og 4.15. Grunnen til at denne posisjonsmålingen faller uheldig ut for målingen uten AGPS, kan man se av figur 4.14. To av målingene man kan se i figuren er betydelig mer unøyaktig enn de resterende. Dette gjør at den statistiske analysen vil tegne et mørkere bilde av målingen enn det som er sannheten. Hadde det statistiske grunnlaget vært større, ville disse to målingene hatt mindre betydning i den etterfølgende analysen.

Delkonklusjon

Testlokasjonen ble valgt for primært å teste AGPS-løsningen inne i et vanlig norsk trehus. En fullverdig AGPS-løsning må også kunne posisjonere en eventuell bruker innendørs. Dette har vist seg å være et av de største problemene med AGPS-løsningene.

I starten var det problemer med å få GPS-mottakeren til å finne og låse seg til GPS-signalene inne i huset. Dette kommer av at dempningen i vegger og vinduer er så stor, at signalenes CNR faller under følsomhetsgrensen til GPS-mottakeren. Tilslutt falt valget på å plassere antennen i vinduskarmen inne i huset.

Etter testing viser det seg at også her er en reduksjon i TTFF. Allikevel er en gjennomsnittlig TTFF på 176,1 sekunder meget høyt. Grunnen til at TTFF er så høy, kommer av GPS-mottakerens lave følsomhet i forhold til signalenes CNR. Under analyse av logfilene viste det seg at GPS-mottakeren flere ganger mistet sin forbindelse til satellitter før det ble oppnådd en 3D-fix. Dette gjordet igjen at TTFF økte betraktelig, og at posisjonen fikk dårligere nøyaktighet. Det er derfor grunn til å tro, at hvis man erstatter GPS-mottakeren brukt i dette prosjektet med en Antaris SuperSense™mottaker, identisk med den som ble brukt i Kongsberg Seatex SuperSense™ test, ville man kunne oppnå betydelig reduksjon i TTFF.

Nøyaktigheten til posisjonen som ble målt ved 3D-fix er forholdsvis grov. Med et standardavvik på 226,8 meter i lengdegrad og 141,3 meter breddegrad, ved bruk av AGPS, er ikke denne nøyaktigheten stort grovere enn i testen på Telenorsenteret. Den ytterligere unøyaktigheten i målingene antas å komme fra signalenes CNR i forhold til mottakerens følsomhet.

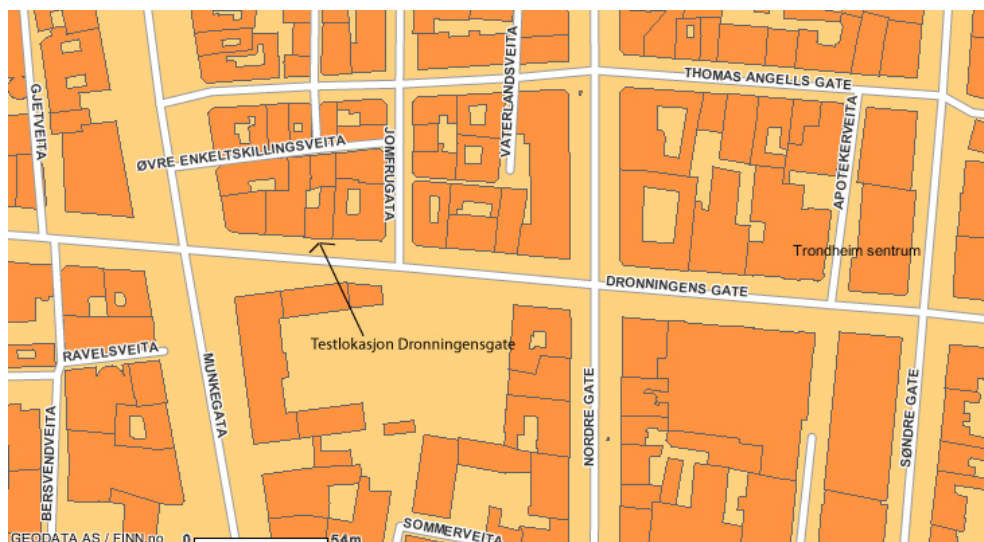
En interessant oppdagelse fremkommer når man ser på nøyaktigheten til posisjonen målt etter 100 sekunder. Her er nøyaktigheten til posisjonene med AGPS, økt til et standardavvik på 27,3 meter i lengdegrad og 15,3 meter i breddegrad. Posisjonens standardavvik for målingene, hvor man ikke benytter AGPS, er større enn 300 meter for både lengde- og breddegrad. Figur 4.14 viser grunnen til denne store forskjellen. Av figuren kan man se at to målinger i denne måleserien er veldig unøyaktig, og derfor drar ned den samlede nøyaktigheten for hele måleserien. Ved analyse av logfilene viste det seg at, ved bruk av AGPS, mistet ikke GPS-mottakeren kontakten med satellittene etter den hadde greid å få en 3D-fix. Dette gjør at Kalman-filteret kan gi en mer nøyaktig posisjon, da den får optimalt antall måleoppdateringer inn i algoritmen. Når man ikke benyttet AGPS, viste det seg at GPS-mottakeren mistet sin kontakt med satellittene flere ganger i løpet av disse 100 sekundene, noe som igjen medfører at Kalman-filteret får færre målepunkter, og dermed dårligere nøyaktighet.

4.4.6 Dronningensgate

Testlokasjonen i Dronningensgate ble benyttet av Kongsberg Seatex i deres SuperSense™test august 2005. Siden oppdragsgiveren Telenor ønsket at noen av de samme testlokalasjonene ble benyttet for testingen av AGPS-løsningen, som for SuperSense™testen, var Dronningensgate et selvsagt valg. Dronningensgate er en ”normal” bygate som finnes i de fleste byer. Bebyggelsen i gaten består av forholdsvis lave tre- og murhus. Gaten er enveiskjørt, i området testen ble foretatt, med parkeringsplasser på begge sider av veien. Som i SuperSense™testen ble trappen til Apollo reisebyrå brukt som testlokasjon.



Figur 4.16 Testlokasjon Dronningensgate



Figur 4.17 Kart over testlokasjon Dronningensgate

På testlokasjonen ble det utført en times testing. Grunnen til dette var at testen ble utført utendørs på offentlig sted, og at man derfor måtte sitte og passe på måleoppsettet. For best mulig statistisk analyse er det ønskelig med flest mulig målepunkter. En times test vil derfor være for kort for å oppnå en målesamling som innehar nok målepunkter til en grundig statistisk analyse. Den etterfølgende statistiske analysen må derfor sees på som en indikasjon, og ikke en fullstendig analyse. Resultatet av målingene finnes i vedlegg C.

Tabell 4.6. Statistiske egenskaper for måling av TTFF og første posisjon etter 3D-fix

Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Time-to-first-fix	Gjennomsnitt	51,7 sekunder	33,9 sekunder
	Minimum	47,0 sekunder	25,4 sekunder
	Maksimum	94,6 sekunder	47,5 sekunder
	Standardavvik	12,3 sekunder	6,2 sekunder
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	10,3949052 grader	10,3924210 grader
	Standardavvik	104,9 meter	36,9 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,4319686 grader	63,4319341 grader
	Standardavvik	46,5 meter	32,2 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	86,2 meter	54,4 meter
	Standardavvik	127,9 meter	26,4 meter

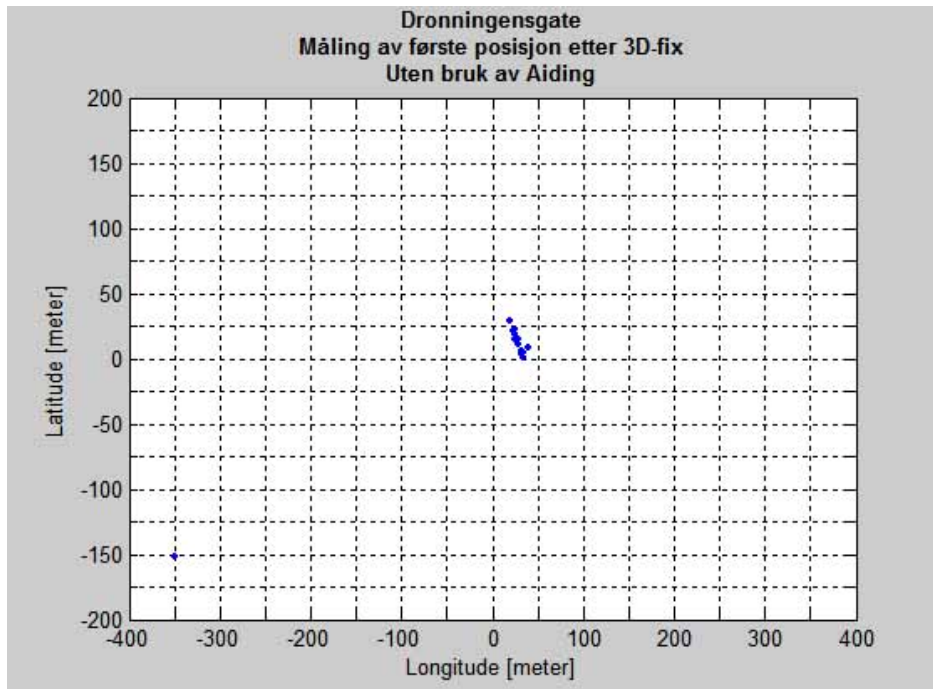
Også i denne målingen ble TTFF betydelig redusert. En kan se at minimum TTFF er 25,4 sekunder, noe som er veldig nær produsentens tall på 24 sekunder. Med et standardavvik på 6,2 sekunder viser også denne målingen, at alle målingene av TTFF i denne testen holdt seg stabilt lavt. Det var nok målelokasjonens tilgang til satellitter på store deler av sør-himmelen som var en viktig årsak til denne lave TTFF-målingene.

Tabell 4.7 Statistiske egenskaper for posisjonsmåling etter 100 sekunder

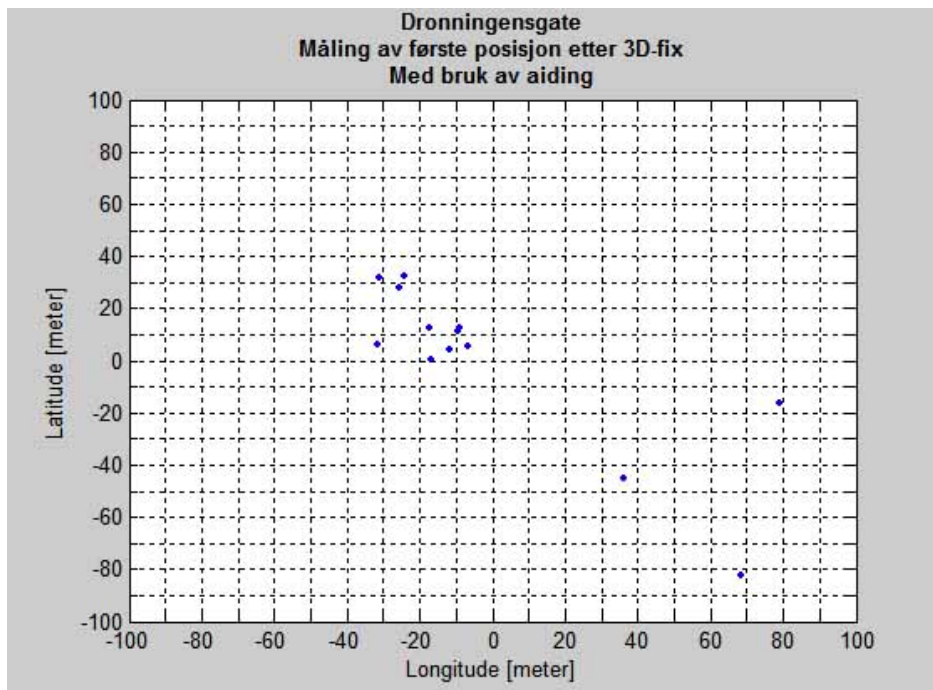
Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	10,2952324 grader	10,3952450 grader
	Standardavvik	4,8 meter	4,4 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,4320448 grader	63,4320516 grader
	Standardavvik	7,9 meter	4,4 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	45,4 meter	46,6 meter
	Standardavvik	5,0 meter	4,9 meter

Når en ser på posisjonsmålingene med AGPS, er nøyaktigheten til disse målingene innenfor FCCs nøyaktighetskrav. En viktig årsak til dette er den gode tilgangen på satellittsignaler på målelokasjonen. GPS-mottakeren vil da enkelt kunne låse til, og følge, flere satellitter enn det den trenger for å foreta en 3D-fix. GPS mottakeren kan da velge de mest hensiktsmessige satellittsignalene – de som fører til at DOP faktoren minimaliseres.

Posisjonen etter 100 sekunder må sies å være svært nøyaktig. Dette er godt innenfor det man kan forvente av en en-frekvensmottaker i et bymiljø. Analyse av logfilen viser at etter 3D-fix greide GPS-mottakeren å låse og følge ytterligere to satellitter, noe som igjen bidrar til den gode nøyaktigheten.



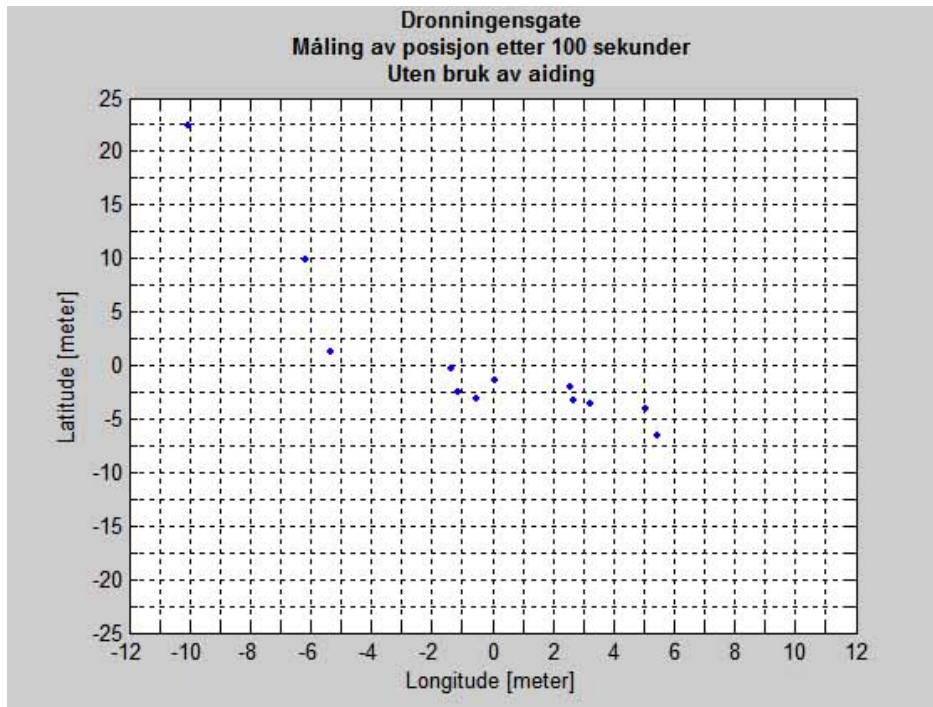
Figur 4.18. Spredning på måling av første posisjon etter 3D-fix, uten AGPS



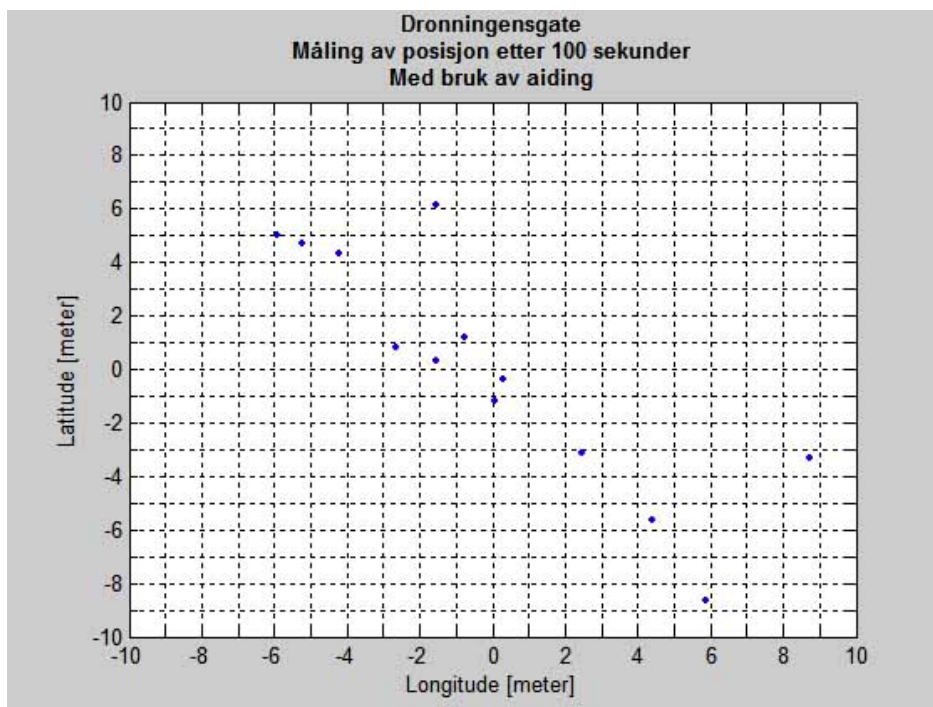
Figur 4.19 Spredning på måling av første posisjon etter 3D-fix, med AGPS

Figur 4.18 og 4.19 viser spredningen av måleseriene for første posisjonsmåling etter 3D-fix. Av figur 4.18 ser man også grunnen til at måleserien uten bruk av AGPS er en tanke

mer unøyaktig enn ved bruk av AGPS. Den ene målingen i denne måleserien er betydelig mer unøyaktig enn de andre målingene i måleserien. Hva som forårsaker dette er vanskelig å gi noe godt svar på, men refleksjoner i for eksempel en passerende buss kan ha skapt dette avviket.



Figur 4.20 Spredning på måling av posisjon etter 100 sekunder, uten AGPS



Figur 4.21 Spredning på måling av posisjon etter 100 sekunder, med AGPS

Av figur 4.21 kan man se at nøyaktigheten til målingene er blitt vesentlig forbedret etter 100 sekunder. Dette er som forventet da posisjoneringen ved hjelp av Kalman-filte blir mer nøyaktig over tid.

Delkonklusjon

Selve testlokasjonen ble valgt, primært på grunn av at den ble brukt under Kongsberg Seatexs SuperSense™test, samt at man får testet løsningen i en vanlig norsk bygate. Dronningensgate er også en testlokasjon som gir god tilgang på satellittene på sørhimmelen, noe som er optimalt da det er her satellittene befinner seg ved disse breddegrader. En ulempe med denne lokasjonen er at man må sitte å passe på utstyret, da dette var plassert i en veske for bærbar datamaskin på et offentlig sted. Dette førte igjen til at testen ble utført over en time, og dette gjør at man får få målepunkter. Få målepunkter medfører at den statistiske analysen av målingene ikke blir nøyaktig, men kan sees på som en indikasjon på de virkelige egenskapene. Allikevel benytter en disse analysene for å diskutere AGPS-løsningens oppførsel i disse omgivelsene.

TTFF blir ved bruk av AGPS nok en gang betydelig redusert. Dette er en god indikasjon på at løsningen virker etter hensikten. En kan også observere at minimum TTFF, begynner å nærme seg nivået som produsenten har oppgitt og er vist i figur 4.1.

Posisjonsnøyaktigheten til første posisjon etter 3D-fix, har under denne målingen kommet innenfor FCCs krav, 50 meter 67 % av alle målingene og 150 meter for 95 % av målingene. Dette kan en se ut ifra standardavviket på disse målingene. Hovedgrunnen til at målingene, ved bruk av AGPS, synes å være mer nøyaktig enn målingene uten AGPS, er at en av målingene i måleserien uten AGPS viser seg å være mer grov enn de andre målingene. Dette kan enkelt oppstå på grunn av refleksjoner av satellittsignaler, i for eksempel en passerende buss, under akkurat denne målingen.

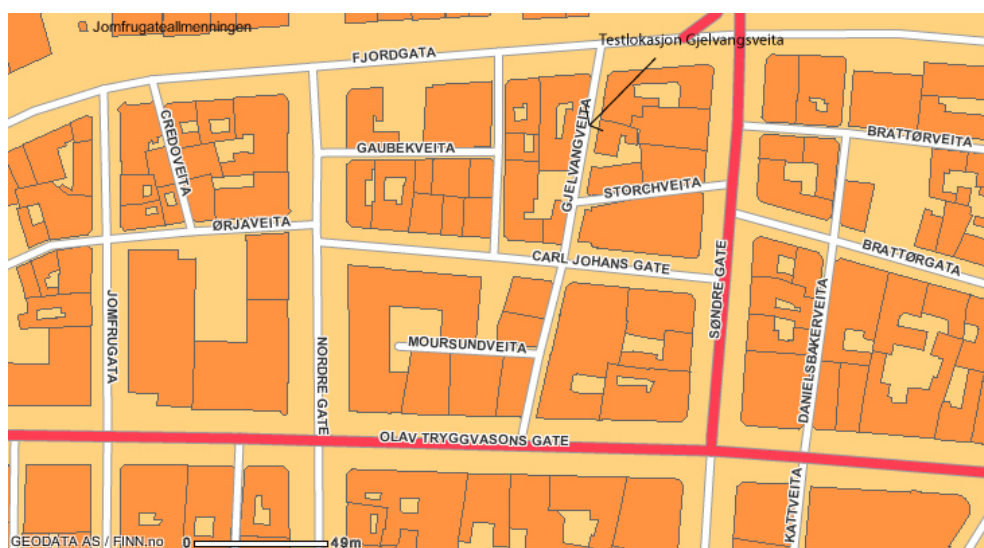
Etter 100 sekunder har målefeilen blitt redusert til et forventet minimum. Målefeilen, i dette tilfellet, er godt innenfor de feilene man kan forvente av målinger med en en-frekvensmottaker. Grunnen til denne gode nøyaktigheten er i hovedsak målelokasjonenes tilgang på satellittsignaler på sør-himmelen. GPS-mottakeren kan da enkelt velge hvilke satellittsignaler den skal benytte, slik at den kan minimalisere DOP faktoren. Som tidligere nevnt i teorikapitlet, er DOP-faktoren en viktig faktor som er med på å bestemme målingenes nøyaktighet.

4.4.7 Gjelvangveita

Gjelvangveita er en testlokasjon som også ble benyttet av Kongsberg Seatex i deres SuperSense™test i august 2005. Selv om Kongsberg Seatex benyttet lokasjonen til dynamiske tester, er dette også et sted som egner seg til statiske tester. Gaten er en trang sidegate med bygninger på begge sidene. Bygningene består av betong og tre, og har i hovedsak to etasjer.



Figur 4.22 Testlokasjon Gjelvangveita



Figur 4.23 Kart over testlokasjon Gjelvangveita

På testlokasjonen ble det utført en times test. Grunnen til dette var at testen ble utført utendørs, og at man måtte sitte å passe på måleoppsettet. For best mulig statistisk analyse er det ønskelig med flest mulig målepunkter. En times test vil derfor være for kort til å oppnå en målesamling som innehar nok målepunkter til en grundig statistisk analyse.

Etter testingen viste det seg at GPS-mottakeren ikke hadde greid å finne, og dermed låse seg til, noen satellittsignaler. Den mest sannsynlige grunnen til at man ikke greide å motta satellittsignaler på målelokasjonen, må sies å være skyggevirking på grunn av bygninger. Den trange gaten, og valget av testlokasjon på østsiden av gaten, har nok hovedskylden. Når man i ettertid ser i kartverk, viser det seg at gaten ikke ligger rett nord-sør som tidligere antatt, men er orientert i nordøstlig retning. Valget av testlokasjon på østsiden av gate var derfor uheldig. Uheldig ble det da også at bygningenes fasade ikke følger en rett linje, men også skaper ytterligere skyggevirking.

Selv om det ikke ble gjennomført noe ny test på en annen lokasjon i samme gate, vil testresultatet vise noe av problemet med bruk av GPS i byomgivelser. I trange gater og ved høye bygninger vil skyggevirking inntreffe, og derfor forringe resultatet fra en slik løsning.

4.4.8 Solsiden kjøpesenter

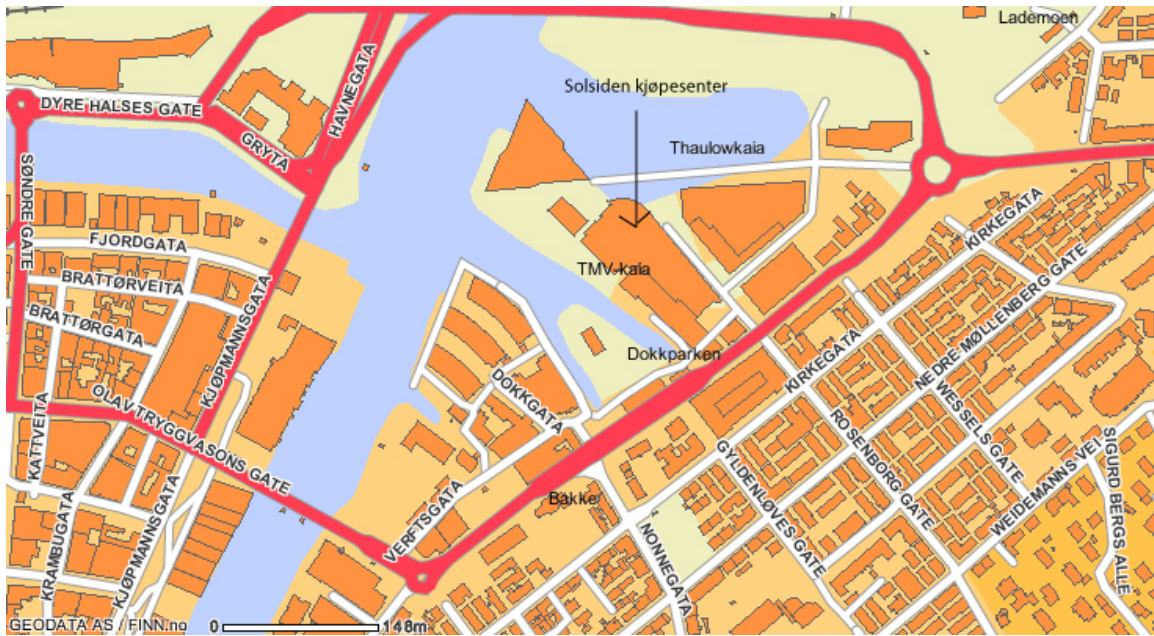
Også Solsiden kjøpesenter ble benyttet av Kongsberg Seatex i deres SuperSense™test august 2005. Et kjøpesenter er et typisk sted hvor en fremtidig bruker vil benytte AGPS. Kongsberg Seatex hadde også gode resultater ifra testen i august 2005. Ved utplassering av mottakeren falt valget på en benk i 2 etasje. Dette for å finne et sted som hadde som var lett tilgjengelig, og hadde best mulig signalforhold. Taket over målestedet var laget av glass og det fantes ingen høye bygninger som kunne skape skyggevirking.



Figur 4.24 Målelokasjon Solsiden



Figur 4.25 Plassering Solsiden



Figur 4.26 Kart over målelokasjon Solsiden

Siden denne testen også forgikk på offentlig sted, ble det bare satt av en time til testingen. En time er ikke nok til å få en stor nok målesamling til å foreta en nøyaktig statistisk analyse. Målingene må derfor bare sees på som en indikasjon.

Etter fullført test viste det seg at heller ikke her hadde GPS-mottakeren satellittsignaler med høy nok CNR, til at mottakeren kunne finne og låse til disse. Den mest sannsynlige grunnen er dempingen i glasstaket på kjøpesenteret. Ofte er disse belagt med solfilm, for å dempe noe av lyset inn i bygget. Denne solfilmen er ofte et metallisk materiale, noe som kan innvirke på satellittsignalene.

Resultatene fra Kongsberg Seatexs test tyder på at, hvis GPS-mottakeren i AGPS-klienten ble byttet ut med en Antaris SuperSense™mottaker, ville man også på denne målelokasjonen fått en fungerende AGPS-løsning.

4.4.9 Henning – Steinkjer

I en av meldingene som oversendes GPS-mottakeren fra AGPS-serveren finnes en ”grov” posisjonsangivelse. Produsenten nevner ikke hvor grov denne posisjonsangivelsen kan være før den eventuelt skaper degradering av TTFF. Det er derfor ønskelig å utføre tester som prøver å tallfeste hvor grov en slik posisjonsangivelse kan være. Målelokasjonen i Steinkjer ble derfor valgt som en testlokasjon, for å se om det var noe innvirkning på de målte parameterne.

Steinkjer er en by i Nord-Trøndelag, og ligger 100-120 km i luftlinje fra Trondheim. AGPS mottakeren ble plassert innendørs, men antennen til GPS-mottakeren ble plassert utendørs på sørsiden av huset. Målelokasjonen befinner seg i landlige omgivelser, med få naturlige eller menneskeskapte hindringer. På sørsiden av huset finnes det noe skog, men denne er forholdsvis tynn.



Figur 4.27 Målelokasjon Henning – Steinkjer.



Figur 4.28 Kart over målelokasjon Henning – Steinkjer

Det ble også her gjennomført en 12 timers test, for å få størst mulig datagrunnlag for en videre statistisk analyse. Da testen var ferdig viste det seg at noe hadde skjedd slik at testen stoppet opp etter to timer. Dette medfører at datagrunnlaget er litt tynt, og den statistiske analysen må sees på som en indikasjon, og ikke som den fulle sannhet. Måleresultatene er vedlagt i vedlegg D.

Tabell 4.8. Statistiske egenskaper for måling av TTFF og første posisjon etter 3D-fix

Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Time-to-first-fix	Gjennomsnitt	52,7 sekunder	28,9 sekunder
	Minimum	40,3 sekunder	23,4 sekunder
	Maksimum	118,5 sekunder	66,5 sekunder
	Standardavvik	19,2 sekunder	9,4 sekunder
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	11,6177984 grader	11,6181998 grader
	Standardavvik	9,6 meter	72,2 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,9556104 grader	63,9559437 grader
	Standardavvik	20,6 meter	103,7 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	154,9 meter	263,9 meter
	Standardavvik	14,2 meter	150,6 meter

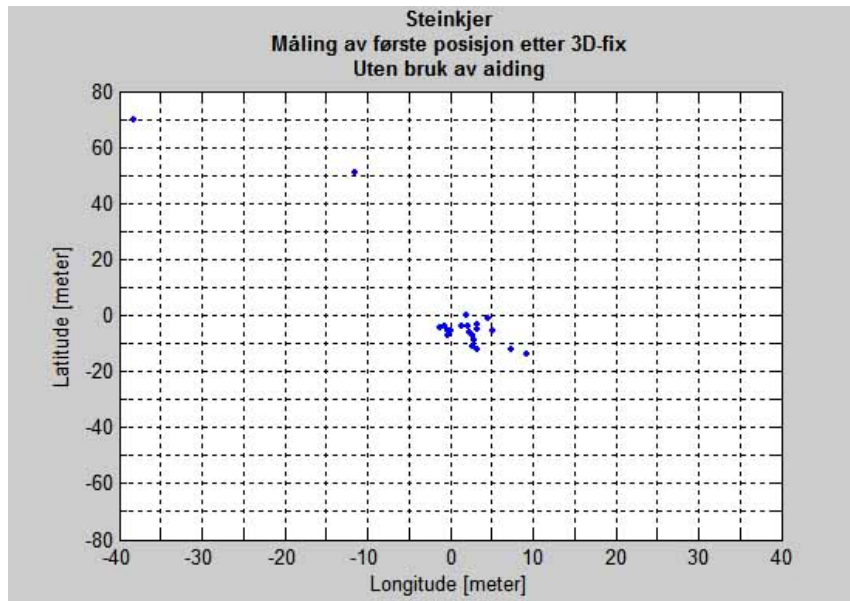
Av tabell 4.8 kan man se at selv om koordinatene som oversendes fra AGPS-serveren har en feil på over 100 km i luftlinje, vil ikke dette skape noe forringelse av TTFF. TTFF er stabilt lavt ved disse målingene, noe som antakeligvis kommer av de gode signalforholdene på målelokasjonen. Det er lite i nærområdet som kan skape refleksjoner, og eventuell skyggevirkning, noe som medfører lav TTFF.

Tabell 4.8 viser også posisjonen som AGPS-klienten måler ved 3D-fix. Det er derfor denne posisjonen som må diskuteres opp mot FCCs krav, om at en posisjon fra en slik løsning skal ha en nøyaktighet som er bedre enn 50 meter for 67 % (σ) av nødsamtalene, og 150 meter for 95 % (2σ) av nødsamtalene. Som en kan se av tabell 4.8 er den oppnåede nøyaktigheten på disse målingene for dårlig til å oppfylle FCCs krav. Dette er mest sannsynlig en konsekvens av unøyaktigheten til den antatte posisjonen, som overføres i meldingen sendt fra AGPS-serveren.

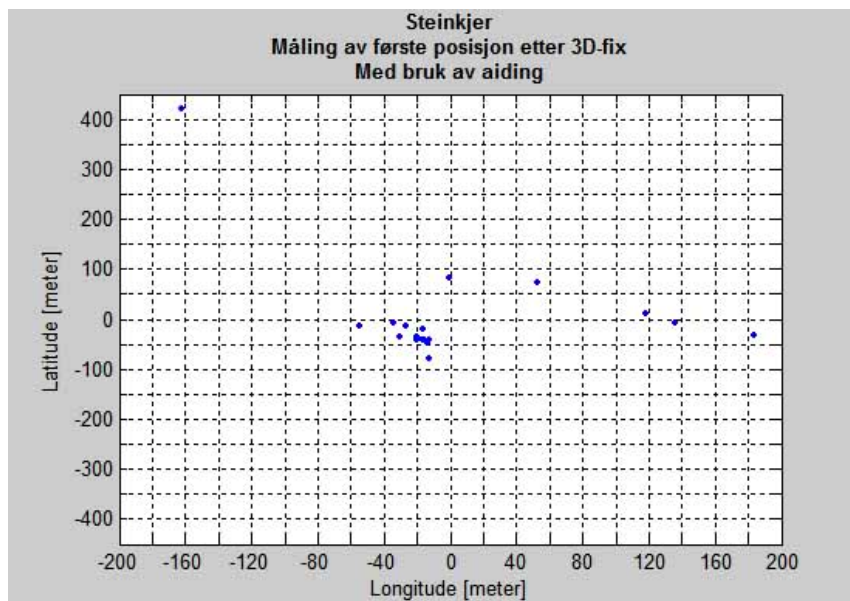
Tabell 4.7 Statistiske egenskaper for posisjonsmåling etter 100 sekunder

Parameter	Statistisk egenskap	Verdi uten bruk av AGPS	Verdi ved AGPS
Posisjon lengdegrad	Gjennomsnitt	11,6178064 grader	11,6178336 grader
	Standardavvik	1,4 meter	1,9 meter
Posisjon breddegrad	Gjennomsnitt	63,9555749 grader	63,9555611 grader
	Standardavvik	4,3 meter	2,1 meter
Høyde over havet	Gjennomsnitt	151,7 meter	149,8 meter
	Standardavvik	6,1 meter	5,2 meter

Etter 100 sekunder ser man at målingenes nøyaktighet har steget betraktelig, og befinner seg godt innen for det som man kan forvente av en slik GPS-mottaker. De gode signalforholdene må også få ta sin del av æren for at disse målingene ble så nøyaktige.

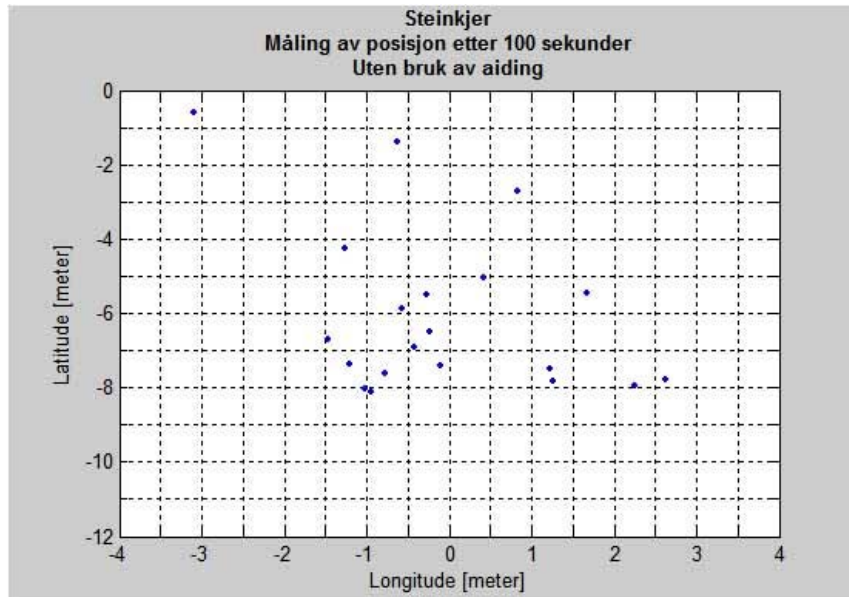


Figur 4.29 Spredning på målinger av første posisjon etter 3D-fix uten bruk av AGPS

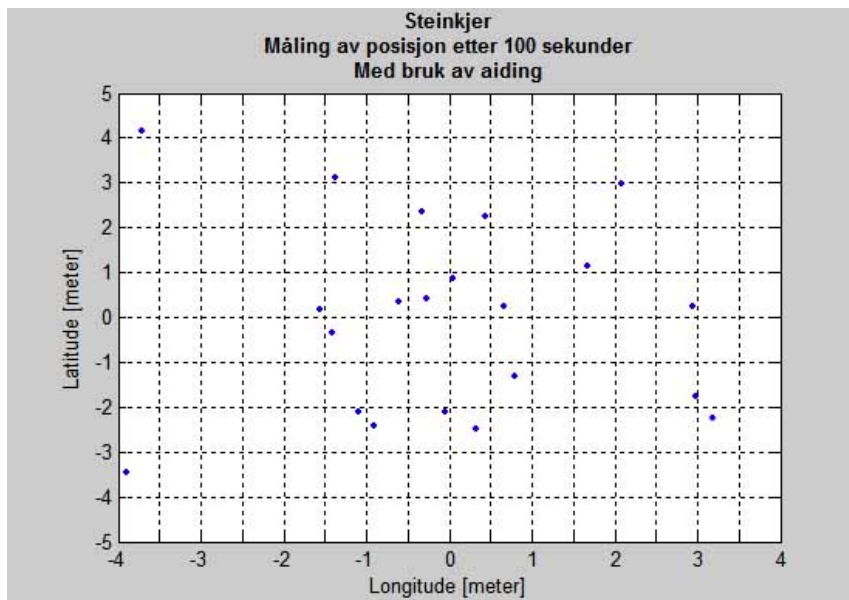


Figur 4.30 Spredning på målinger av første posisjon etter 3D-fix uten bruk av AGPS

Som tidligere diskutert er posisjonsmålingen ved bruk av AGPS mer unøyaktig enn når man ikke benytter dette. Dette er noe som også kommer frem i figur 4.30.



4.31 Spredning på posisjonsmåling etter 100 sekunder, uten bruk av AGPS



4.32 Spredning på posisjonsmåling etter 100 sekunder, ved bruk av AGPS.

Figur 4.31 og 4.32 viser målingene tatt 100 sekunder etter 3D-fix. Disse er som forventet, og tidligere diskutert, langt mer nøyaktig enn posisjonen ved 3D-fix. Dette kommer av at posisjonen gitt av Kalman-filteret i GPS-mottakeren blir mer nøyaktig etter flere iterasjoner.

Delkonklusjon

I GPS-mottakerens dokumentasjon beskriver produsenten, u-Blox, hvordan en kan benytte mottakeren i en AGPS-løsning, ved å mate den med noen data. Blant disse dataene som må overføres finnes det en antatt posisjon til GPS-mottakeren. Produsenten angir at dette skal være en grov posisjonsangivelse, men hvor grov denne kan være er ikke beskrevet. Det er derfor ønskelig å tallfeste hvor grov denne posisjoneringen kan være før den forringer måleresultatene.

Målelokasjonen Henning – Steinkjer er et sted som befinner seg i ca 100-120 km i luftlinje fra Trondheim. Det er landlige omgivelser med få eller ingen naturlige eller menneskeskapte objekter, som kan skape refleksjoner eller skyggevirkning. Antennen ble plassert utendørs, mens resten av måleoppstillingen befant seg innendørs.

Det ble oppnådd en betydelig reduksjon av TTFF i målingene ved å benytte AGPS. Reduksjonen i TTFF tyder på at den antatte posisjonen som oversendes fra AGPS-serveren ikke har stor innvirkning på TTFF, men det er derimot signalforholdene på målelokasjonen som har mest å si. Målelokasjonen har gode signalforhold, noe som også en analyse av logfilen bekrefter. GPS-mottakeren kan enkelt finne og låse seg til GPS-signalene på lokasjonen.

Ved posisjonsmålingen finner en derimot et tegn på at den antatte posisjonen påvirker målingene. Når man benytter AGPS viser det seg at posisjonen gitt av GPS-mottakeren ved 3D-fix, er for grov til å oppfylle kravene satt av FCC for AGPS-løsninger, i en E911 sammenheng. Det antas at denne posisjonsnøyaktigheten bunner i nøyaktigheten til den antatte posisjonen til GPS-mottakeren. Det antas at denne posisjonen blir brukt av Kalman-filteralgoritmen, og siden algoritmen har gjennomgått få iterasjoner ved 3D-fix, vil derfor posisjonen gitt av Kalman-filteret bli unøyaktig.

5 Konklusjon

Etter endt prosjektoppgave var det noen problemer som måtte løses, for å få en fungerende AGPS-løsning. Den største oppgaven lå i AGPS-dataene og overføringen av disse til klienten. Det viste seg at alle verdier i disse dataene som var større enn $7f_h$ ble under overføringen erstattet med en annen sekvens verdier, som ikke hadde noen sammenheng med de opprinnelige. Problemet lå i meldingen ble overført som tekststrenger (string) og bokstaver (characters), noe som kan skape problemer med tegnsettet benyttet for disse Java-typene. Løsningen på dette ble at man benyttet binæredata i overføring, og dermed slapp å gå via tekststrenger og bokstaver.

Etter at dette problemet var løst, og de mottatte meldingen var identisk med de som sendt ifra AGPS-serveren, viste det seg at det fantes et annet problem med dataene. GPS-mottakeren brukte lenger tid hvis den fikk overført AGPS-data, enn den brukte da den ikke fikk overført disse dataene. Nærmere analyse viste at det var feil i alle meldingene som ble overført ifra serveren. AID-INI meldingen skal blant annet gi klienten en grov klokkeangivelse. Det viste seg at denne klokkeangivelsen inneholdt feil, og det ble funnet en løsning på dette problemet. Problemet med AID-ALM meldingen viste seg også å være enkel å rette opp, siden det i denne meldingen hadde det sneket seg inn tre fortegnsfeil.

Når man analyserte AID-EPH meldingen opp mot meldinger lastet ned av GPS-mottakeren, oppdaget man at denne inneholdt flere feil. Feilene var av et slik omfang, og på grunn av tidsnød, bestemte man seg derfor å ta noen snarveier for å ferdigstille prosjektet. Det ble bestemt at istedenfor å la serveren laste ned ephemeris, og bygge opp AID-EPH meldingen før den ble overført til klienten, kunne man laste denne ned direkte på AGPS-klienten. Dette gjorde at melding ikke behøvde konvertering til UBX-protokollen, da GPS-mottakeren i AGPS-klienten allerede benyttet denne. En annen løsning hadde vært å erstatte GPS-mottakeren på serveren med en som er produsert av u-Blox og dermed følger UBX-protokollen. Denne løsningen ble ikke valgt da en ønsket å

benytte det allerede innkjøpte utstyret. Dette er et problem man må se nærmere på, ved et eventuelt videre arbeid med løsningen.

Det ble utført en rekke målinger med den ferdigutviklede AGPS-løsningen. Telenor, som oppdragsgiver, ønsket at det meste av målingene skulle utføres på noen av de samme målelokasjonene som firmaet Kongsberg Seatex, benyttet under målinger med en av u-Blox' GPS-mottakere sommeren 2005. Målingene de utførte var på en u-Blox Antaris SuperSense™ mottaker, en GPS-mottaker med høy følsomhet. Denne testen innebar både statiske og dynamiske tester i Trondheim sentrum.

På grunn av oppbygningen, og de valgene man hadde tatt i utviklingen av klientapplikasjonen i AGPS-løsningen, var det bare mulig å utføre statiske tester. Det ble lagt vekt på å måle TTFF, samt posisjonsnøyaktighet ved 3D-fix i forhold til posisjonsnøyaktigheten etter 100 sekunder. Disse testene ble utført på 5 steder i Trondheim sentrum, samt en måling i Steinkjer 100-120 km i luftlinje fra Trondheim. Målelokasjonen i Steinkjer ble valgt for å se hvilken innvirkning plassering av måleoppsettet, så lang ifra en antatt posisjon, vil ha for målingene. Den antatte posisjonen er for alle målinger satt til å være serverens plassering. Felles for alle målinger er at serveren er plassert i oppdragsgivers lokaler ved Telenorsenteret på Tyholt i Trondheim. Plasseringen av serveren har lite å si for målingene, med unntak av dens tilgang på satellittsignaler. For å få så mange og nøyaktige data som overhode mulig, er det nødvendig at antennen til serverens GPS-mottaker er plassert slik at den får best mulig mottaksforhold fra flest mulige satellitter. Under målingen utført av dette prosjektet ble antenne plassert på en stang ut av et vindu i tredje etasje i bygget. Denne monteringen medførte at bygningen opptrådte som en naturlig hindring og skapte skyggevirking, samt eventuelle refleksjoner.

Målingene viser at man med AGPS får en betydelig reduksjon av TTFF. På tross av dette greide man ikke å redusere TTFF ned til produsentens antydning på 24 sekunder, selv om noen målinger var svært nære. Selv under testing innendørs viste det seg at TTFF blir betydelig redusert, men målt TTFF på over 200 sekunder, er betydelig høyere enn

utendørsmålingene. Det antas at dette kommer av at mottakeren har lav følsomhet i forhold til signalnivået innendørs. Dette er et kjent problem med innendørsbruk av GPS-mottakere, og kan bedres ved å benytte en mottaker med større følsomhet. Ved innendørsmålingen ved Solsiden kjøpesenter greide ikke GPS-mottakeren å finne, og deretter låse til noen satellittsignaler. Dette kommer igjen av GPS-mottakerens begrensede følsomhet. Testen som Kongsberg Seatex gjennomførte viser at hadde man byttet ut GPS-mottakeren med en GPS-mottaker med høy følsomhet, ville en fått en AGPS-løsning som fungerer bedre innendørs.

Videre reduksjon av TTFF kan, etter produsentens utsagn bare finne sted hvis en benytter såkalt "Precise Timemark". "Precise Timemark" er et taktsignal som tilføres GPS-mottakeren. Signalet har fast PRF og er nøyaktig synkronisert med UTC. I løsningen utviklet ved prosjektet er dette umulig å oppnå, mest på grunn av at man bruker GSM med sin "Time division multiple access" (TDMA) teknikk. Ved TDMA vil ikke et håndsett/klient ikke inneha en synkronisme som er bra nok for å gi dette signalet, med den nøyaktigheten som kreves. Hvis GSM modulen hadde vært byttet ut med en UMTS-modul kunne man implementer et slikt signal. Dette kommer av at UMTS med sin "Code Division Multiple Access" (CDMA) teknikk innehar en nøyaktig synkronisme med UTC.

Posisjonsmålingen viser at det er vanskelig å oppfylle FCCs krav om nøyaktighet. Det var faktisk bare målingen som ble foretatt i Dronningensgate som oppfylte FCCs krav. Det er vanskelig å komme med en god begrunnelse for dette. I noen tilfeller kan skyggevirksomhet og refleksjoner forklare målefeilen. I Steinkjer kan en anta at posisjonsfeilen kommer av at den AGPS-klientens antatte posisjonen er lang unna den virkelige posisjonen. Disse konklusjonene må sees på som en kvalifisert gjetning, da det er vanskelig å konkludere uten at man analyserer GPS-mottakerens oppbygning og algoritmer.

For å oppsummere har en i denne konklusjonen kommet frem til følgende. På grunn av feil i AID-EPH meldingen, og etterfølgende tidsnød ble det foretatt noen snarveier for å få gjennomført målingene. Dette gjør at AID-EPH meldingen ikke blir generert på

serveren, men lastet ned av GPS-modulen i AGPS-klienten under målingene. Dette er et problem man må løse ved eventuelt videre arbeid med løsningen. Målingene viser at det er vanskelig å oppfylle FCCs krav om posisjonsnøyaktighet. Det er også problemer med posisjonering innendørs, noe som kommer av mottakerens lave følsomhet i forhold signalenes CNR. Posisjoneringen innendørs kan bedres ved å skifte ut GPS-mottakeren med en av u-Blox' SuperSense™mottakere. Om dette i tillegg vil bedre posisjonsnøyaktigheten utendørs er umulig å si. Målingene viser også en betydelig reduksjon i TTFF. Videre reduksjon av TTFF er ikke mulig med det utstyret man har kjøpt inn, da man trenger å tilføre et nøyaktig klokkesignal. GSM-modulen som benyttes innehar ikke en slik nøyaktig synkronisme med UTC som kreves for å lage dette klokkesignalet.

Litteraturliste

Fossen, T. I., (1998), Navigasjonssystemer, Matematisk modellering og estimering, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim.

LaMance, J., DeSalas, J., Jarvinen, J. (2002), Assisted GPS: A low-infrastructure approach, GPS World, May 2002.

Love, J., (2003), *Methodologies of OET71 Compliance Testing*, Wireless Week, Lokalisert 26.mars 2006 på Internet: <http://www.wirelessweek.com/article/CA314166.html?text=oet71>

Parkinson, B. W., Spilker Jr. J. J., Axelrad P., Enge P., (1996), Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington D.C.

Vedlegg A

Telenorsenteret rom 330

Uten Aiding				
Måling nr	TTF	Longitude	Latitude	HOS
0	96,444	10,4373498	63,4225805	159,488
2	50,628	10,4377345	63,4226873	189,566
4	50,328	10,4372585	63,4243189	493,054
6	45,624	10,4374005	63,4230321	257,938
8	44,824	10,4376220	63,4225740	169,073
10	49,428	10,4363722	63,4238304	387,950
12	51,716	10,4381859	63,4226584	138,863
14	50,816	10,4369795	63,4229036	235,082
16	46,832	10,4372997	63,4226607	186,367
18	39,832	10,4378519	63,4223824	141,041
20	57,020	10,4371939	63,4224169	168,704
22	57,820	10,4375848	63,4226466	175,140
24	58,636	10,4373048	63,4226309	160,348
26	52,536	10,4376100	63,4225739	161,681
28	52,632	10,4372778	63,4225933	161,340
30	51,632	10,4368592	63,4226872	183,125
32	51,732	10,4376362	63,4225732	146,514
34	47,440	10,4368507	63,4229078	214,720
36	69,728	10,4371139	63,4228405	211,721
38	47,529	10,4371526	63,4228658	205,454
40	51,532	10,4376691	63,4228423	254,621
42	47,532	10,4372656	63,4227391	192,104
44	124,728	10,4368234	63,4229448	257,037
46	90,724	10,4370166	63,4229535	260,072
48	52,620	10,4373785	63,4227714	201,840
50	44,528	10,4371346	63,4229164	233,879
52	52,220	10,4365796	63,4235551	374,908
54	47,216	10,4374879	63,4228213	211,778
56	51,321	10,4371505	63,4230899	287,713
58	86,316	10,4376585	63,4242136	499,987
60	52,612	10,4373921	63,4226704	179,188
62	48,320	10,4375691	63,4225380	151,033
64	52,308	10,4378906	63,4226490	217,005
66	65,220	10,4374539	63,4225601	160,225
68	53,304	10,4379410	63,4225204	148,023
70	46,308	10,4367925	63,4228495	205,077
72	47,708	10,4379894	63,4225686	212,617
74	47,700	10,4374084	63,4226643	197,527
76	46,600	10,4377746	63,4225819	162,786
78	52,696	10,4350051	63,4228509	267,308

Med Aiding				
Måling nr	TTF	Longitude	Latitude	HOS
1	41,852	10,4417298	63,4236114	126,715
3	36,044	10,4381597	63,4221844	142,841
5	29,832	10,4373238	63,4237502	383,347
7	29,728	10,4375591	63,4241875	457,987
9	30,860	10,4348917	63,4245836	503,696
11	24,828	10,4373299	63,4226958	185,139
13	29,024	10,4380334	63,4225399	119,520
15	29,856	10,4375530	63,4228818	222,037
17	23,812	10,4376960	63,4224230	138,176
19	30,028	10,4383720	63,4220819	74,321
21	29,720	10,4372821	63,4233764	318,709
23	23,848	10,4373270	63,4237876	356,875
25	42,440	10,4316658	63,4223413	425,216
27	30,636	10,4374513	63,4227133	157,993
29	25,628	10,4376019	63,4225791	146,480
31	31,448	10,4377160	63,4225913	147,685
33	30,628	10,4351846	63,4230044	286,041
35	24,520	10,4362891	63,4226690	202,911
37	48,128	10,4373536	63,4228793	213,738
39	30,328	10,4345669	63,4232931	403,228
41	30,324	10,4369142	63,4228871	257,361
43	65,424	10,4375202	63,4235221	334,577
45	35,520	10,4370165	63,4231273	276,924
47	35,716	10,4287274	63,4266969	1475,573
49	27,220	10,4373440	63,4225749	167,371
51	29,621	10,4356961	63,4235173	472,254
53	29,516	10,4374284	63,4229715	250,543
55	31,216	10,4380791	63,4224612	85,931
57	30,420	10,4374206	63,4225026	148,021
59	33,412	10,4391043	63,4234031	141,850
61	46,617	10,4374957	63,4225957	174,072
63	35,508	10,4386251	63,4223693	122,707
65	96,612	10,4375240	63,4244063	498,440
67	64,104	10,4367985	63,4225310	198,582
69	25,204	10,4378363	63,4225039	143,156
71	31,100	10,4391010	63,4247471	55,362
73	78,212	10,4378658	63,4225075	136,179
75	29,605	10,4369570	63,4229166	195,484
77	66,701	10,4357789	63,4221921	98,152
79	25,696	10,4383935	63,4226000	98,968

Posisjon etter 100 sekunder

Uten Aiding			
Måling nr	Longitudo	Latitude	HOS
0	10,4375846	63,4226314	167,735
2	10,4375846	63,4226314	167,735
4	10,4377352	63,4225785	169,693
6	10,4377515	63,4225514	173,746
8	10,4374616	63,4227809	200,675
10	10,4372698	63,4226893	188,919
12	10,4375184	63,4224324	150,955
14	10,4376565	63,4222436	109,701
16	10,4376333	63,4226091	166,411
18	10,4376634	63,4223113	122,351
20	10,4373376	63,4226271	165,436
22	10,4373268	63,4227082	180,623
24	10,4374657	63,4227232	189,667
26	10,4379035	63,4226537	148,484
28	10,4374866	63,4226788	166,884
30	10,4374949	63,4226348	168,639
32	10,4376269	63,4225100	157,549
34	10,4376157	63,4225281	156,021
36	10,4377100	63,4223663	131,372
38	10,4377683	63,4224362	144,267
40	10,4375172	63,4226011	175,658
42	10,4377858	63,4225413	148,704
44	10,4376512	63,4225918	162,327
46	10,4378973	63,4225753	145,778
48	10,4379900	63,4225445	140,199
50	10,4376100	63,4225838	149,580
52	10,4375606	63,4225989	150,715
54	10,4377310	63,4226190	145,615
56	10,4376041	63,4225726	150,233
58	10,4375398	63,4225631	151,480
60	10,4375701	63,4225649	144,571
62	10,4374086	63,4225713	153,390
64	10,4376631	63,4224789	127,590
66	10,4374994	63,4225816	149,251
68	10,4374073	63,4226910	174,774
70	10,4371747	63,4229745	226,047
72	10,4373005	63,4227443	183,239
74	10,4374492	63,4227730	193,289
76	10,4372799	63,4227261	181,637
78	10,4372639	63,4228818	221,940

Med Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
1	10,4365320	63,4228083	204,184
3	10,4371961	63,4225541	121,127
5	10,4375642	63,4225722	164,917
7	10,4372949	63,4226744	177,168
9	10,4373770	63,4226310	169,136
11	10,4374499	63,4227515	188,785
13	10,4372316	63,4230989	264,411
15	10,4370418	63,4230757	266,292
17	10,4374799	63,4227541	193,771
19	10,4373696	63,4227980	201,617
21	10,4374505	63,4227402	197,411
23	10,4373686	63,4227888	210,003
25	10,4372966	63,4227888	211,760
27	10,4373223	63,4227801	206,223
29	10,4375149	63,4227063	185,546
31	10,4374618	63,4225718	162,934
33	10,4375369	63,4225356	165,531
35	10,4373489	63,4226643	182,611
37	10,4376064	63,4225467	164,584
39	10,4373848	63,4229150	224,795
41	10,4374287	63,4226054	185,469
43	10,4377203	63,4225896	181,215
45	10,4374597	63,4225533	157,282
47	10,4375143	63,4225552	157,711
49	10,4376082	63,4227431	171,127
51	10,4375318	63,4225963	160,527
53	10,4376658	63,4225287	149,491
55	10,4375294	63,4225222	159,505
57	10,4375016	63,4225355	165,436
59	10,4379551	63,4225009	145,143
61	10,4376921	63,4225454	147,325
63	10,4366490	63,4229090	207,406
65	10,4366659	63,4228896	208,198
67	10,4375540	63,4226216	151,325
69	10,4378596	63,4225345	143,500
71	10,4375433	63,4225863	159,412
73	10,4378614	63,4225646	144,401
75	10,4376647	63,4225463	149,476
77	10,4378730	63,4225421	138,853
79	10,4376957	63,4225782	152,463

Vedlegg B

Konsul Lorcks gate 6

Initiell posisjon				
Uten Aiding				
Måling nr	TFFF	Longitude	Latitude	HOS
0	80,472	10,4434814	63,4379782	59,914
2	57,828	10,4435807	63,4377136	67,021
4	72,352	10,4430171	63,4381730	92,045
6	64,252	10,4435023	63,4380193	66,052
8	53,644	10,4433365	63,4380259	76,715
10	60,244	10,4436672	63,4378822	64,447
12	220,441	10,4430984	63,4381861	74,952
14	219,241	10,4451558	63,4385675	499,746
16	112,144	10,4442010	63,4382591	242,103
18	149,237	10,4435788	63,4381005	98,626
20	149,040	10,4432395	63,4381984	63,609
22	220,628	10,4432400	63,4380058	50,053
24	149,532	10,4465533	63,4375976	269,397
26	219,617	10,4464571	63,4367361	499,533
28	280,317	10,4422862	63,4371798	156,169
30	107,212	10,4433825	63,4380664	80,644
32	209,809	10,4440425	63,4378400	298,718
34	131,601	10,4381968	63,4339772	537,710
36	167,301	10,4433864	63,4381072	70,320
38	273,597	10,4350095	63,4356654	500,158
40	634,792	10,4443763	63,4378625	52,922
42	94,384	10,4432021	63,4377574	95,415
44	533,065	10,4400967	63,4400381	202,456
46	142,260	10,4441363	63,4381773	207,561
48	571,565	10,4441477	63,4377473	87,245
50	515,761	10,4463772	63,4393240	500,240

Med Aiding

Måling nr	TTF	Longitudo	Latitude	HOS
1	256,757	10,4426911	63,4384754	112,326
3	59,152	10,4434098	63,4380276	66,788
5	137,653	10,4425789	63,4384489	101,386
7	66,644	10,4458127	63,4369150	62,503
9	83,740	10,4446036	63,4365743	67,261
11	43,040	10,4433311	63,4380647	75,222
13	84,641	10,4446735	63,4382976	321,944
15	414,246	10,4430465	63,4380350	67,905
17	93,332	10,4436967	63,4378184	149,428
19	83,332	10,4426952	63,4380713	283,235
21	167,132	10,4455764	63,4373521	272,648
23	169,224	10,4438819	63,4379013	125,767
25	173,717	10,4436938	63,4368596	467,426
27	263,409	10,4531276	63,4388884	500,002
29	246,509	10,4467011	63,4367725	501,417
31	281,505	10,4453104	63,4366469	499,968
33	89,800	10,4452012	63,4371137	500,073
35	217,504	10,4391988	63,4347667	499,806
37	268,104	10,4397486	63,4356292	388,523
39	297,693	10,4420388	63,4383994	147,236
41	348,289	10,4433723	63,4380198	53,596
43	59,188	10,4436455	63,4380830	79,917
45	262,768	10,4435402	63,4380381	82,745
47	105,564	10,4431422	63,4416496	499,830
49	132,464	10,4433831	63,4380571	53,104
51	173,660	10,4441568	63,4360832	491,605

Posisjon etter 100 sekunder

Uten Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
0	10,4435015	63,4373911	82,132
2	10,4434852	63,4375188	82,789
4	10,4434582	63,4380080	63,835
6	10,4435154	63,4380302	58,102
8	10,4442510	63,4375917	50,699
10	10,4431364	63,4380900	58,071
12	10,4441287	63,4382829	255,289
14	10,4430955	63,4381443	78,459
16	10,4440156	63,4380405	96,254
18	10,4434051	63,4380625	56,927
20	10,4433279	63,4381042	64,446
22	10,4434992	63,4380201	70,263
24	10,4451604	63,4373080	329,737
26	10,4434296	63,4380913	68,445
28	10,4434577	63,4381610	67,563
30	10,4434916	63,4380065	91,520
32	10,4434304	63,4380376	69,917
34	10,4432847	63,4380578	77,015
36	10,4434634	63,4380517	64,210
38	10,4434424	63,4380354	62,409
40	10,4436184	63,4381027	34,656
42	10,4432315	63,4382339	47,087
44	10,4434511	63,4383148	34,387
46	10,4302181	63,4503837	500,496
48	10,4330757	63,4450899	493,922
50	10,4433745	63,4381425	74,022

Med Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
1	10,4435939	63,4378925	53,864
3	10,4434003	63,4380259	62,528
5	10,4433939	63,4380098	61,306
7	10,4434189	63,4380407	59,021
9	10,4433248	63,4380476	69,479
11	10,4432492	63,4380275	66,714
13	10,4433122	63,4382215	140,282
15	10,4433808	63,4380389	78,375
17	10,4435119	63,4380342	93,540
19	10,4433600	63,4380792	22,527
21	10,4434322	63,4380237	74,820
23	10,4433947	63,4380516	73,719
25	10,4433687	63,4380503	71,376
27	10,4445107	63,4378733	318,456
29	10,4433137	63,4380827	70,604
31	10,4433205	63,4380639	65,404
33	10,4443165	63,4374307	299,849
35	10,4433779	63,4381184	61,149
37	10,4432762	63,4381571	62,140
39	10,4431528	63,4380697	71,799
41	10,4433702	63,4380239	53,736
43	10,4433831	63,4380313	55,047
45	10,4434979	63,4380121	57,242
47	10,4433397	63,4379971	47,695
49	10,4432845	63,4380710	62,753
51	10,4432960	63,4380868	64,992

Vedlegg C

Dronningensgate

Uten Aiding				
Måling nr	TTF	Longitudo	Latitude	HOS
0	94,632	10,3953412	63,4320438	64,234
2	47,020	10,3951834	63,4321032	40,201
4	60,424	10,3952206	63,4321007	42,993
6	47,820	10,3952200	63,4320670	51,488
8	57,624	10,3951649	63,4321586	70,399
10	58,516	10,3952784	63,4320046	42,645
12	53,516	10,3951111	63,4322241	54,894
14	56,500	10,3951811	63,4321713	69,994
16	62,804	10,3951669	63,4321330	45,505
18	51,592	10,3911009	63,4305969	510,221
20	48,692	10,3952737	63,4319776	45,916
22	52,188	10,3952648	63,4319939	42,877
24	51,680	10,3952611	63,4320166	39,352

Med Aiding				
Måling nr	TTF	Longitudo	Latitude	HOS
1	31,432	10,3952310	63,4320446	47,106
3	36,320	10,3953233	63,4320450	117,933
5	47,524	10,3950742	63,4319883	83,713
7	36,424	10,3952379	63,4319390	39,576
9	37,416	10,3952939	63,4319695	42,950
11	41,420	10,3962812	63,4317892	73,170
13	32,304	10,3951420	63,4321839	52,325
15	25,400	10,3951577	63,4322253	66,817
17	30,404	10,3950832	63,4322183	51,014
19	30,684	10,3953173	63,4320363	46,605
21	29,188	10,3958159	63,4315280	15,882
23	25,688	10,3961658	63,4311901	23,634
25	36,780	10,3953501	63,4319858	47,157

Posisjon etter 100 sekunder

Uten Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
0	10,3952174	63,4320419	46,204
2	10,3952265	63,4320170	46,746
4	10,3951742	63,4320562	47,238
6	10,3952619	63,4320150	44,058
8	10,3952332	63,4320328	45,431
10	10,3951230	63,4322466	56,801
12	10,3951651	63,4321334	50,975
14	10,3952200	63,4320216	41,294
16	10,3952606	63,4320265	45,714
18	10,3952919	63,4319855	43,887
20	10,3952680	63,4320130	42,341
22	10,3952876	63,4320080	35,364
24	10,3952919	63,4319855	43,887

Med Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
1	10,3952281	63,4320546	51,081
3	10,3952365	63,4320621	46,949
5	10,3951878	63,4320938	54,619
7	10,3951990	63,4320905	55,278
9	10,3951805	63,4320967	44,839
11	10,3952482	63,4320482	45,227
13	10,3953405	63,4320217	44,798
15	10,3952161	63,4320587	50,538
17	10,3952283	63,4321068	46,334
19	10,3952459	63,4320409	39,410
21	10,3952718	63,4320231	43,331
23	10,3952929	63,4320006	42,516
25	10,3953093	63,4319734	41,278

Vedlegg D

Henning - Steinkjer

Uten Aiding				
Måling nr	TFFF	Longitudo	Latitude	HOS
0	45,684	11,6177997	63,9555585	154,868
2	45,372	11,6178560	63,9555463	163,898
4	42,784	11,6178260	63,9555749	152,878
6	41,584	11,6177926	63,9555472	155,525
8	40,364	11,6177856	63,9555746	152,518
10	41,584	11,6178661	63,9555665	148,068
12	42,464	11,6178388	63,9556104	155,498
14	40,364	11,6178950	63,9556014	150,090
16	96,672	11,6179036	63,9555588	155,132
18	118,469	11,6170022	63,9562364	174,809
20	48,268	11,6179517	63,9555002	165,032
22	52,764	11,6179914	63,9554847	136,569
24	54,156	11,6178582	63,9555330	146,400
26	48,364	11,6178423	63,9555763	151,124
28	47,664	11,6175572	63,9560706	203,677
30	47,764	11,6178466	63,9555535	157,148
32	48,668	11,6178557	63,9555111	141,518
34	48,260	11,6177907	63,9555604	146,499
36	48,248	11,6178666	63,9555019	141,729
38	41,556	11,6177715	63,9555729	142,946
40	52,448	11,6178680	63,9555789	155,960

Med Aiding				
Måling nr	TFFF	Longitude	Latitude	HOS
1	24,584	11,6179265	63,9555013	158,716
3	24,372	11,6178722	63,9555527	161,174
5	23,580	11,6178548	63,9555552	172,744
7	24,580	11,6177880	63,9555765	149,104
9	23,576	11,6178021	63,9555866	155,063
11	23,376	11,6179292	63,9552247	187,776
13	24,288	11,6179065	63,9555505	147,231
15	29,664	11,6177891	63,9555690	159,016
17	66,460	11,6177821	63,9556303	161,589
21	25,360	11,6179364	63,9555676	159,676
19	35,264	11,6174794	63,9558738	163,311
23	30,364	11,6176363	63,9558176	169,802
25	36,764	11,6147944	63,9597415	377,588
27	25,564	11,6181872	63,9566753	410,622
29	25,552	11,6192927	63,9565907	497,676
31	24,556	11,6206609	63,9560490	499,895
33	26,656	11,6210361	63,9558830	498,929
35	26,248	11,6220292	63,9556539	498,442
37	30,516	11,6170661	63,9558274	490,522
39	29,821	11,6178581	63,9557559	184,927
41	26,192	11,6175677	63,9556349	139,987

Posisjon etter 100 sekunder

Uten Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
0	11,618	63,9555582	156,495
2	11,618	63,9555480	158,791
4	11,618	63,9555660	149,478
6	11,618	63,9555461	155,580
8	11,618	63,9555385	155,850
10	11,618	63,9555774	152,318
12	11,618	63,9555841	157,085
14	11,618	63,9555844	147,115
16	11,618	63,9556063	162,232
18	11,618	63,9555920	158,622
20	11,618	63,9556337	156,934
22	11,618	63,9555371	152,383
24	11,618	63,9556718	157,894
26	11,618	63,9556582	150,077
28	11,618	63,9555421	143,338
30	11,618	63,9555503	146,000
32	11,618	63,9555427	142,329
34	11,618	63,9555401	145,225
36	11,618	63,9555496	141,650
38	11,618	63,9555620	149,826
40	11,618	63,9555844	147,115

Med Aiding			
Måling nr	Longitude	Latitude	HOS
1	11,618	63,9555492	158,923
3	11,618	63,9555713	157,924
5	11,618	63,9555690	153,939
7	11,618	63,9555625	153,941
9	11,618	63,9555823	154,621
11	11,618	63,9555300	150,443
13	11,618	63,9555878	147,185
15	11,618	63,9555984	144,147
17	11,618	63,9555648	151,912
19	11,618	63,9555891	155,205
21	11,618	63,9555812	154,748
23	11,618	63,9555421	148,811
25	11,618	63,9555408	151,769
27	11,618	63,9555452	149,836
29	11,618	63,9555578	147,127
31	11,618	63,9555421	143,338
33	11,618	63,9555634	147,861
35	11,618	63,9555393	143,212
37	11,618	63,9555634	141,469
39	11,618	63,9555642	146,021
41	11,618	63,9555385	142,646