

Kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling



Mikael Jensen og Regitze Steinfeldt

Landinspektøruddannelsens afgangsprojekt
Measurement Science

2008

Kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling

Mikael Jensen og Regitze Steinfeldt

Aalborg Universitet

Institut for Samfundsudvikling og Planlægning

Fibigerstræde 11, 9220 Aalborg Øst

Landinspektøruddannelsens afgangsprojekt

Measurement Science

2008

Titel	Kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling
Projektperiode	Den 4. februar til den 11. juni 2008
Gruppe	L10MS.01
Deltagere	Mikael Jensen og Regitze Steinfeldt
Hovedvejleder	Jens Peter Cederholm
Bivejleder	Karsten Jensen
Oplagstal	5
Sideantal	117
Bilagsantal og art	10 heraf 7 på vedlagte CD
Forside	Billede fra [PNT 2008], [The Village Voice 2008] og [SGT JD 2008]
Copyright	Gengivelser er tilladt med tydelig kildeangivelse

Synopsis

I projektet bliver der lavet en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling.

Foranalysen belyser, hvordan GNSS RTK fungerer og der ses på hvilke kommercielle RTK-tjenester, der er i Danmark. Ved interview med tre landinspektører belyses deres brug af GNSS RTK-måling, samt håb for fremtidige anvendelsesmuligheder.

I projektets hovedanalyse tages der udgangspunkt i fire problemstillinger. For det første undersøges, hvor mange epoker en GNSS-måling skal bestå af. Det findes at 10 epoker er det optimale for en måling.

For det andet undersøges, hvilken indflydelse afstanden til nærmeste referencestation har på præcisionen, når der anvendes kommercielle RTK-tjenester. Alle RTK-tjenesterne blev påvirket af afstanden i større eller mindre grad. Det blev fundet, at SpiderNet er bedst ved korte afstande. GPSnet.dk med GPS er bedst i planen fra 7 km, og GPSnet.dk med GPS/GLONASS er bedst i koten fra 3 km. For det tredje undersøges præcisionen ved måling med GPS eller GPS/GLONASS med egen basestation. Målingerne blev ikke bedre ved at bruge GPS/GLONASS. Fordelen ved at anvende egen basestation frem for en kommerciel RTK-tjeneste er, at de korte afstande giver en bedre præcision.

Til sidst undersøges om initialiseringstiden påvirkes af RTK-tjenesten og/eller afstanden til referencestationen. GPS Referencen er den eneste, hvor tiden steg med afstanden. Desuden var GPS Referencen langsomst og GPSnet.dk hurtigst, dog var forskellen beskeden.

Abstract

In this project a quality study of GNSS RTK-measurement is made. The pre-analysis clarifies how GNSS RTK functions and it will be examined which commercial RTK-services are available in Denmark. By interviewing three registered land surveyors, their use of GNSS RTK-measurement and their hopes for future applications, will be clarified.

In the main analysis of the project four problems will be the points of origin. Firstly, it will be tested how many epochs a GNSS-measurement has to be composed of. It is found that 10 epochs are optimal for a measurement.

Secondly, the influence the distance to the nearest reference station has on the precision, when commercial RTK-services are taken into use, will be tested. All RTK-services did get affected by the distance to some extent. It is found that SpiderNet works best on shorter distances. GPSnet.dk with GPS is the best in the plane from 7 kilometers, and GPSnet.dk with GPS/GLONASS is best at measuring the height from 3 kilometers. Thirdly, the precision of the GPS measurement or GPS/GLONASS with its own base station is investigated. The measurements did not get better by using GPS/GLONASS. The advantage of using one's own base station rather than a commercial RTK service is that at shorter distances it's more precise.

Finally, it was tested whether the time of initializing is influenced by the RTK service and/or the distance to the reference station. GPS Referencen is the only one, in which time increased by the distance. Furthermore, GPS Referencen was the slowest and GPSnet.dk was the fastest.

Forord

Denne rapport er udarbejdet på landinspektørstudiets 10. semester ved L-studienævnet under det Ingeniør-, Natur- og Sundhedsvidenskabelige Fakultet på Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i perioden fra den 4. februar til den 11. juni 2008.

Temaet for dette afgangsprøveprojekt er Global Navigation Satellite System (GNSS), og er afgrænset til at omhandle GNSS Real Time Kinematic (RTK) måling.

Kildehenvisningerne er angivet efter Harvard-metoden, det vil sige med forfatterens efternavn og årstal for udgivelse samt sidetal, eksempelvis [Jensen 2003a, s. 99]. Yderligere information kan findes i litteraturlisten, hvor kilderne er sorteret i alfabetisk orden efter forfatterens efternavn. Ved henvisning til internetadresser vil forfatterens efternavn være erstattet med organisationens navn i de tilfælde, hvor det ikke umiddelbart er muligt at angive forfatteren.

Figurer og tabeller er nummereret fortløbende i hvert kapitel. F.eks. angives 2. figur i kapitel 3 som figur 3.2.

Til rapporten medfølger en CD, der indeholder bilag, herunder indsamlet data og resultater af databehandling, der præsenteres fortløbende i rapporten. Dele af bilagene er på tryk og findes bagerst i rapporten.

I forbindelse med udarbejdelsen af rapporten vil projektgruppen gerne rette en tak til: Peter Jensen fra Landinspektørfirmaet i Århus, Mads Hvolby fra Landinspektørfirmaet Nellesmann & Bjørnkjær i Aalborg og Lars Overvad Mathiasen fra Geopartner Landinspektørgården a/s i Silkeborg, som alle har været behjælpelige med input til projektet i dets startfase. Derudover vil projektgruppen ligeledes rette en stor tak til Rikke R. Pedersen fra Leica Geosystems, som har udlånt et komplet Leica GPS1200 base/rover-system.

Projektet er udarbejdet af gruppe L10MS.01 og afsluttet den 10. juni 2008.

Mikael Jensen

Regitze Steinfeldt

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	11
1.1	INITIERENDE PROBLEMSTILLING	13
2	PROJEKTSTRUKTUR	15
3	RTK – REAL TIME KINEMATISK MÅLING	17
3.1	RELATIV FASE GNSS	17
3.2	METODER BAG RTK-TJENESTER	21
4	ANVENDELSEN AF GNSS I LANDINSPEKTØRBRANCHEN	27
4.1	EKSEMPEL PÅ KRAV TIL KOTE NØJAGTIGHED	28
4.2	EKSEMPEL PÅ KRAV TIL KOTE/PLAN PRÆCISION	28
4.3	EKSEMPEL PÅ KRAV TIL PLAN NØJAGTIGHED	29
4.4	SAMMENFATNING AF KVALITETSKRAV	32
5	PROBLEMFOMULERING	33
	AD I) TEST AF OBSERVATIONSTID	34
	AD II) TEST MED KOMMERCIELLE RTK-TJENESTER	34
	AD III) TEST MED EGEN RTK-BASESTATION	34
	AD IV) TEST AF INITIALISERINGSTID	35
5.1	DEFINITIONER OG PRÆMISSER FOR TESTENE	35
6	TEST AF OBSERVATIONSTID	41
6.1	RESULTATER FRA TIDLIGERE TEST	41
6.2	FORBEREDELSE AF TEST	42
6.3	MARKARBEJDE	46
6.4	DATABEARBEJDNING	47
6.5	VURDERING	51

<u>7</u>	<u>TEST MED KOMMERCIELLE RTK-TJENESTER</u>	53
7.1	RESULTATER FRA TIDLIGERE TEST	53
7.2	FORBEREDELSE AF TEST	56
7.3	MARKARBEJDE	63
7.4	DATABEARBEJDNING	64
7.5	VURDERING	69
<u>8</u>	<u>TEST MED EGEN RTK-BASESTATION</u>	73
8.1	RESULTATER FRA TIDLIGERE TEST	73
8.2	FORBEREDELSE AF TEST	74
8.3	MARKARBEJDE	80
8.4	DATABEARBEJDNING	82
8.5	VURDERING	87
8.6	DATABEARBEJDNING AF 1 INITIALISERING	88
8.7	VURDERING AF 1 INITIALISERING	89
<u>9</u>	<u>TEST AF INITIALISERINGSTID</u>	91
9.1	DEFINITIONER OG RESULTATER FRA TIDLIGERE TEST	91
9.2	DEFINITION AF INITIALISERINGSTIDEN	91
9.3	FORBEREDELSE AF TEST	92
9.4	MARKARBEJDE	93
9.5	DATABEARBEJDNING	93
9.6	VURDERING	96
<u>10</u>	<u>KONKLUSION</u>	99
AD I)	TEST AF OBSERVATIONSTID	99
AD II)	TEST MED KOMMERCIELLE RTK-TJENESTER	100
AD III)	TEST MED EGEN RTK-BASESTATION	102
AD IV)	TEST AF INITIALISERINGSTID	104
10.1	GENERELLE BETRAGTNINGER	104
<u>11</u>	<u>PERSPEKTIVERING</u>	107
<u>12</u>	<u>LITTERATURLISTE</u>	111

1 Indledning

Det overordnede emne for dette projekt er Global Navigation Satellite System (GNSS). Mere specifikt omhandler projektet GNSS Real Time Kinematic (RTK) måling. I projektet vil der blive lavet en kvalitetsundersøgelse af GPS RTK-måling. Landinspektøren er for det meste afhængig af at vide, hvilken kvalitet der kan forventes af en specifik målemetode. En kvalitetsundersøgelse er derfor interessant, ligeledes fordi tidligere kvalitetsundersøgelser af GNSS RTK-målinger efterhånden er flere år gamle, og fordi der løbende er sket og stadig sker teknologisk udvikling inden for GNSS og RTK området.

Siden etableringen af Global Positioning System (GPS) og Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS), har GNSS systemerne spillet en større og større rolle indenfor positionsbestemmelse. Udviklingen er sket, både indenfor landmåling og kortlægning, men også indenfor mange andre områder, eksempelvis navigationsudstyr til biler.

GPSnet.dk

I 2001 blev RTK-tjenesten GPSnet.dk etableret. Herved blev Danmark det første land med en landsdækkende RTK-tjeneste. GPSnet.dk er en netværks RTK-tjeneste, der er baseret på metoden VRS, hvilket bliver beskrevet senere i afsnit 3.2. GPSnet.dk ejes og drives af Geoteam A/S i Ballerup. Figur 1.1 viser hvor RTK-tjenesten GPSnet.dk dækker, og hvor referencestationerne er placeret. Der er 26 referencestationer i netværket.



Figur 1.1: Dækningskort for GPSnet.dk, hvor referencestationernes placering kan ses. [Geoteam 2008a]

Tjenesten bliver løbende udviklet. I starten var datalinket til tjenesten en GSM telefonforbindelse. I 2006 blev datalinket udvidet til også at kunne anvende en GPRS internetforbindelse. Her er dog forskel i dataformatet, hvor GSM brugere får korrektionsdata i dataformatet RTCM 2.3, mens GPRS brugere får data i RTCM 3.0. [Geoteam 2006]

På tilsvarende vis er tjenesten udviklet fra kun at måle til GPS satellitterne til også at måle til GLONASS. [Geoteam 2007]

For at sikre kvaliteten af referencestationernes koordinater, står Kort- og Matrikelstyrelsen (KMS) for den grundlæggende koordinatbestemmelse. Dette er for at sikre at stationernes koordinater er i overensstemmelse med European Terrestrial Reference Frame 1989 (ETRF89). På nuværende tidspunkt kontrollerer KMS referencestationernes koordinater årligt. [Geoteam 2008e]

Anvendes GPSnet.dk til RTK-måling kan der forventes en nøjagtighed på 1-2 cm i planen og 2-4 cm i koten. [Geoteam 2008b]

Prisstrukturen for at anvende GPSnet.dk bygger på et årligt abonnement, samt en afgift pr. minut. [Geoteam 2008c]

GPS Referencen og SpiderNet

I 2001 blev GPS Referencen etableret som følge af en stiftende generalforsamling i andelsforeningen GPS-Referencen A.m.b.a. Formålet med foreningen er citat:

at lette andelshavernes brug af cm nøjagtigt GPS (Global Positioning System) til landmåling, samt at kunne tilbyde et landsdækkende referencenet til alle interesserede i Danmark. [GPS Referencen 2001]

Tjenesten administreres af Leica Geosystems i Herlev. Hver andelshaver stiller en referencestation til rådighed for andelsforeningens medlemmer og øvrige betalende brugere. Hver referencestation skal opstilles og vedligeholdes af andelshaverne efter kravene i vedtægterne. [GPS Referencen 2001]

GPS Referencen er en RTK-tjeneste, som er baseret på enkeltstations RTK, hvilket bliver beskrevet i afsnit 3.2.

Der er 59 referencestationer tilgængelige. Figur 1.2 viser en stationsoversigt.



Figur 1.2: Placering af GPS Referencens referencestationer. [GPS Referencen 2008b]

Det er KMS, der beregner referencestationernes koordinater, således der sikres en høj indbyrdes nøjagtighed mellem stationerne. [GPS Referencen 2008c]

En position kan bestemmes med få centimeters nøjagtighed. Dog kan nøjagtigheden være påvirket af mange forhold, herunder afstanden til nærmeste referencestation. [GPS Referencen 2008d]

Der sker løbende udvikling af tjenesten. I 2004 bestemte andelsforeningen at opgradere tjenesten til også at skulle være en netværkstjeneste, hvilket betød, at der i 2006 blev implementeret den nye tjeneste SpiderNet. SpiderNet er baseret på metoden i-MAX, og anvender de samme referencestationer som GPS Referencen. i-MAX bliver beskrevet i afsnit 3.2.

I fremtiden forventes det at teknologien MAX bliver implementeret i SpiderNet. [Hansen 2008] MAX bliver beskrevet i afsnit 3.2.

I det følgende benævnes enkeltstationstjenesten for GPS Referencen og netværkstjenesten for SpiderNet.

1.1 Initierende problemstilling

Med dette projekt ønskes at lave en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling. Det er hensigten at sikre kendskabet til kvaliteten af RTK-målinger. Derfor er det en forudsætning at have et kendskab til RTK og RTK-tjenester, samt hvordan RTK anvendes i landinspektørsammenhænge. Derfor lyder den initierende problemstilling således:

Hvordan er de kommercielle RTK-tjenester i Danmark opbygget og hvordan anvendes RTK, herunder RTK-tjenesterne i landmålingssammenhænge?

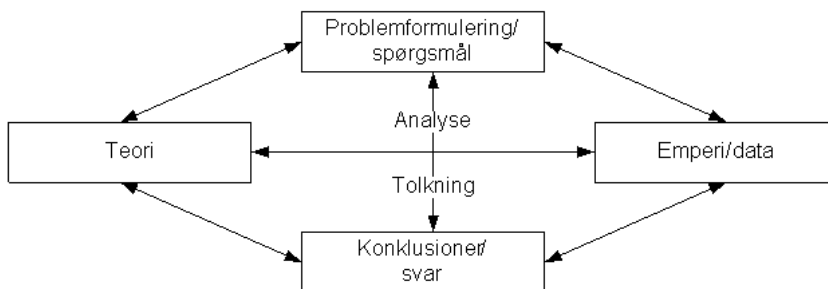
2 Projektstruktur

Dette kapitel har til formål at redegøre for, hvordan projektet er struktureret. Projektet er opbygget omkring problemorienteret arbejde, hvilket vil sige at der inden projektets problem opstilles ikke foreligger en færdig model for, hvordan problemet bør løses.

Processen bag problemorienteret arbejde består af fire hovedelementer:

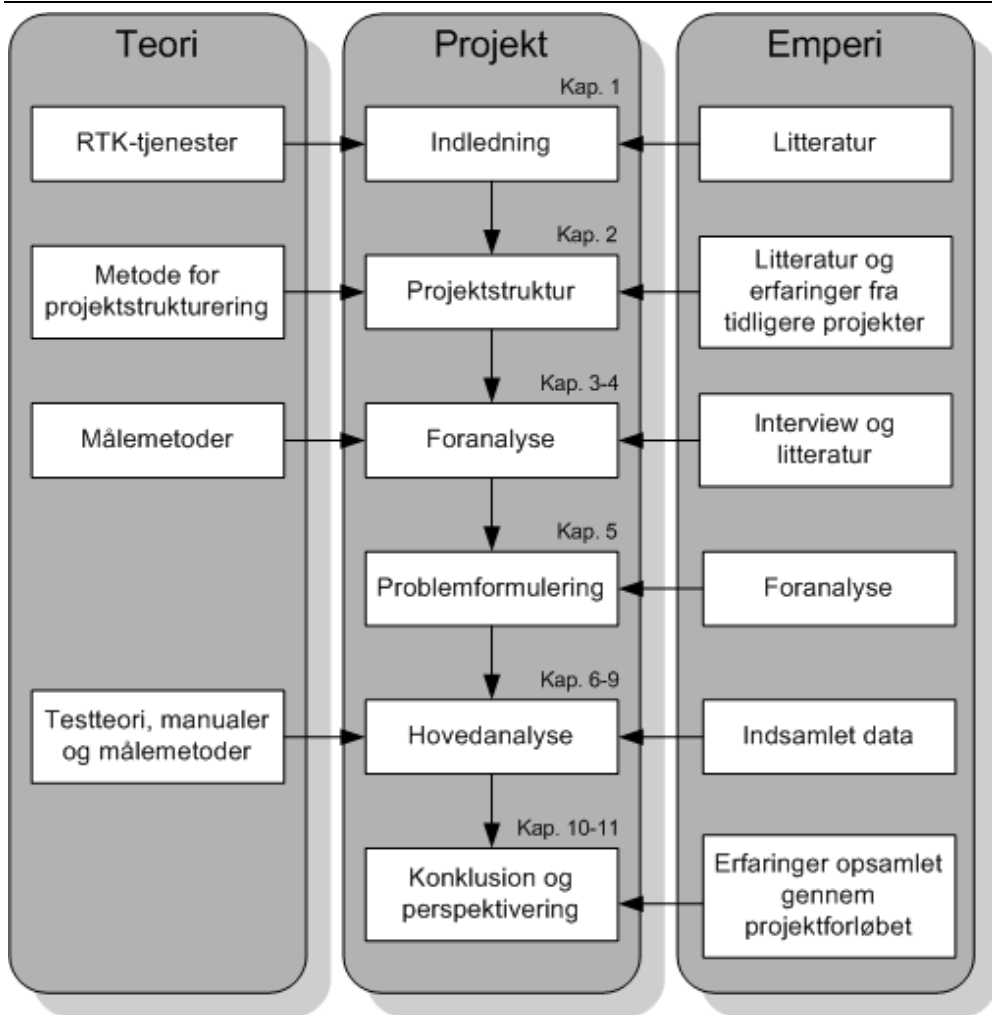
- Problemformulering, som er beskrivelse af et problem der ønskes besvaret.
- Teori, som er eksisterende viden indenfor arbejdsområdet.
- Empiri, er iagttagelser, som bliver foretaget.
- Konklusion, er svar på de analyser, der er gennemført.

Sammenhængen mellem hovedelementerne er vist af Figur 2.1, hvor pilene illustrerer koblingerne mellem hovedelementerne, som består af diverse former for analyse og tolkninger. Der er ikke et fast mønster mellem hovedelementerne, hvorved eksempelvis ny viden undervejs i projektarbejdet kan medføre inddragelse af ny teori og empiri, således projektarbejdet er en iterativ proces. [Andersen 2005, s. 23-31]



Figur 2.1: Vidensproduktionens hovedelementer og arbejdsgang. [Andersen 2005, s. 24.]

Projektet omhandler en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling. For at give læseren en overordnet indsigt i, hvorledes projektet bliver opbygget henvises til Figur 2.2.



Figur 2.2: Projektstruktur og samhörighed med teori og empiri.

For at afdække den initierende problemstilling, gøres brug af foranalysen, som er et værktøj til dette. Herefter kan der udarbejdes en endelig problemformulering på baggrund af den indsamlede viden. Problemformuleringen danner grundlag for hovedanalysen, herunder de test der gennemføres. Til sidst kan der på baggrund af testresultaterne svares på problemformuleringen. Afslutningsvis kommer der en perspektivering, der rækker udover de emner, der er behandlet gennem rapporten.

3 RTK – Real Time Kinematisk måling

Der findes flere forskellige målemetoder, som kan anvendes, når der skal måles med GNSS. Det er bl.a. den anvendte målemetode, der afgør, hvor god en nøjagtighed og præcision der kan opnås.

Centimeternøjagtig positionering i real time baseret på GNSS-målinger blev udviklet i midten af 1990'erne og betegnes nu som RTK-måling.

3.1 Relativ fase GNSS

GNSS-målingerne kan foregå som fasemåling hvor der måles relativt mellem to modtagere, derfor også kaldet relativ GNSS. Relativ GNSS, kan foregå på mange måder eksempelvis: Hurtig statistisk, kinematisk, Precise Point Positioning (PPP) og Real Time Kinematisk (RTK).

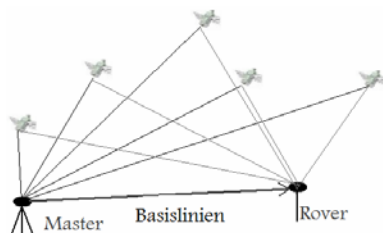
RTK-måling er en målemetode, hvor GNSS-modtageren beregner koordinaten øjeblikkeligt.

En GNSS-måling er i princippet målinger af afstanden mellem satellit og modtager. Efter en beregning findes afstanden til de synlige satellitter, hvilket anvendes sammen med satellitternes kendte position til at bestemme positionen af GNSS-modtageren ved geometriske beregninger.

Den mest simple metode til RTK-måling er hvor der benyttes to GNSS-modtagere. Den ene kaldet masteren placeres i et kendt punkt. Den anden GNSS-modtager kaldet roveren måler de ønskede punkter, og den skal have forbindelse til masteren f.eks. ved radiolink, GSM eller GPRS. Hvis der benyttes en radiosender gør den begrænsede rækkevidde, at afstanden mellem rover og master ikke kan være mere end 5-15 km. Roveren modtager så løbende masterens fasemålinger eksempelvis ved hjælp af RTCM-formatet¹, der beregner basislinierne mellem roveren og masteren. Det er dog vigtigt, at master og rover observerer et fælles sæt af satellitter. [Dueholm et al. 2005, s. 89] og [Leica 2008a, s. 1-2]

Formålet med relativ GNSS er at bestemme koordinaterne til ukendte punkter på baggrund af et kendt punkt ved at bestemme vektoren, basislinien mellem rover og master, der står i et kendt punkt. Figur 3.1, viser basis konceptet i relativ GNSS.

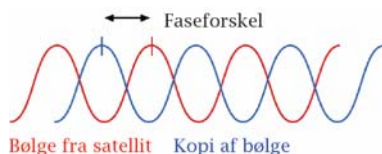
¹ RTCM, Radio Technical Commission for Maritime Services, er et standardiseret dataformat.



Figur 3.1: Basis konceptet for relativ GNSS.

For at forklare de grundlæggende principper bag relativ GNSS tages der udgangspunkt i den basale måde at foretage beregningerne på.

Når en fasemåling startes begynder modtageren at registrere faseforskellen, φ mellem bærebølgen fra satellitten og en kopi af bærebølgen, som er genereret af modtageren til tiden t_0 . Princippet kan ses af Figur 3.2.



Figur 3.2: Faseforskel mellem bærebølgen fra satellitten og en kopi. [Cederholm 2005]

Faseforskellen beskriver brøkdelen af den sidste bølgelængde til tiden t_0 . $F_k^p(t_0)$, og den betegner hele bærebølgen fra satellit til modtager, der kan udtrykkes som:

$$F_k^p(t_0) = \varphi_k^p(t_0) + N_k^p(t_0), \text{ hvor}$$

$\varphi_k^p(t_0)$ er den målte faseforskel mellem modtager k og satellit p til tiden t_0

$N_k^p(t_0)$ er periodekonstanten defineret som: det ukendte antal hele bølger mellem modtager k og satellit p til tiden t_0 .

Igennem en hel målesession fastholdes modtageren på bærebølgen. Så længe der er kontakt til satellitten, så kan der ske opdatering af faseændring. Periodekonstanten forbliver konstant. Det resulterer i følgende formel:

$$F_k^p(t) = \varphi_k^p(t) + N_k^p(t_0), \text{ hvor}$$

$\varphi_k^p(t)$ indeholder både den målte faseforskel til tiden t og det registrerede antal hele bølgelængder siden målingens start

Afstanden, $r_k^p(t)$, mellem satellit og modtager kan udtrykkes ved hjælp af bølgelængden, λ , efter følgende formel:

$$r_k^p(t) = \lambda \cdot (\varphi_k^p(t) + N_k^p(t_0))$$

Formlen er idealiseret og medtager ikke fejlbidragene fra bl.a. atmosfæren, ure og satellittens bane, hvorfor $r_k^p(t)$ kaldes for fasemålingens pseudoafstand. Inkluderer fejlbidragene kan den sande afstand, ρ , fra satellit til modtager udtrykkes som:

$$\rho_k^p(t) = \lambda \cdot \varphi_k^p(t) + \lambda \cdot N_k^p(t_0) + c \cdot dT_k - c \cdot dt^p - d\rho^p - d_{ion} + d_{trop}, \text{ hvor}$$

c er lysets hastighed i vakuum

dT_k er urfejlen i modtageren

dt^p er urfejlen i satellitten

$d\rho^p$ er satellittens banefejl

d_{ion} er ionosfærens fejlbidrag

d_{trop} er troposfærens fejlbidrag

Sættes $\varphi_k^p(t) \cdot \lambda = \phi_k^p(t)$ som beskriver længden af den modtagne bærebølge siden målingens start. Herved kan udtrykket omskrives og ligningen kaldet for observationsligningen eller fundamentalligningen findes:

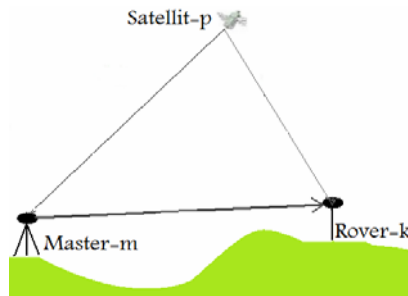
$$\phi_k^p(t) = \rho_k^p(t) - \lambda \cdot N_k^p(t_0) + c \cdot dT_k - c \cdot dt^p - d\rho^p - d_{ion} + d_{trop}$$

For at finde de ubekendte skal der måles samtidigt fra to modtagere til flere satellitter. [Dueholm et al. 2005, s. 65-68]

Fase differens

Observationerne fra de to modtagere foretages samtidigt til de samme satellitter. For at fjerne fælles fejl laves differenser: Enkelt-, dobbelt- og tripeldifferens. Disse tre beregningsmetoder er de helt simple og grundlæggende og her bruges de til at fjerne fejl.

Enkelt-differensen kan dannes, når to modtagere foretager observationer til samme satellit, eller én modtager foretager observationer til to satellitter.



Figur 3.3: Eksempel på enkelt-differens, hvor to modtagere, m og k observere til samme satellit, p til samme tid.

Enkeltdifferensen ser således ud:

$$\phi_{mk}^p = \phi_m^p(t) - \phi_k^p(t), \text{ hvor}$$

$$\phi_m^p(t) = \rho_m^p(t) - \lambda \cdot N_m^p(t_0) + c \cdot dT_m - c \cdot dt^p - d\rho^p - d_{ion} + d_{trop},$$

er længden af den modtagne bærebølge i masteren

$$\phi_k^p(t) = \rho_k^p(t) - \lambda \cdot N_k^p(t_0) + c \cdot dT_k - c \cdot dt^p - d\rho^p - d_{ion} + d_{trop},$$

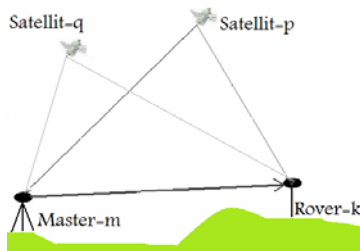
er længden af den modtagne bærebølge i roveren

Her antages det at satelliturfejlen, dt^p , og atmosfæriske forhold, d_{ion} og d_{trop} , er ens for signalerne til de to modtagere, hvorved disse fejlbidrag udgår og følgende fås:

$$\phi_{mk}^p(t) = \rho_m^p(t) - \rho_k^p(t) - \lambda \cdot (N_m^p(t_0) - N_k^p(t_0)) + c \cdot (dT_m - dT_k)$$

Samtidig kan der måles til en anden satellit og der fås en tilsvarende enkeltdifferens. Et problem ved enkeltdifferenser er, at urfejlene dT_m og dT_k i begge modtagere stadig er ubekendte. Urfejlene, dT_m og dT_k , kan elimineres ved at danne endnu en differens. [Dueholm et al. 2005, s. 69-70] og [Hofmann-Wellenhof et al. 2008, s. 174-175]

Dobbeltdifferensen kan dannes når der observeres fra to modtagere til to satellitter.



Figur 3.4: Eksempel på dobbeltdifferens, hvor to modtagere, m og k observerer til de to samme satellitter, p og q til samme tid.

Herved kan dobbeltdifferensen dannes, som differensen mellem to enkeltdifferenser og herved kan urfejlen i modtagerne elimineres.

$$\phi_{mk}^{pq}(t) = \phi_m^p(t) - \phi_k^q(t) = \rho_{km}^{pq}(t) - \lambda \cdot N_{km}^{pq}(t_0), \text{ hvor}$$

$\rho_{km}^{pq}(t) = \rho_m^q(t) - \rho_k^q(t) - \rho_m^p(t) - \rho_k^p(t)$ er en linearkombination af de geometriske afstande til tiden t

$N_{km}^{pq}(t_0) = N_m^q(t_0) - N_k^q(t_0) - N_m^p(t_0) - N_k^p(t_0)$ er en linearkombination af periodekonstanterne til starttidspunktet t_0

[Dueholm et al. 2005, s. 70-71] og [Hofmann-Wellenhof et al. 2008, s. 175-176]

Ved tripeldifferenser bruges der observationer som er foretaget over to epoker, hvorved periodekonstanten udgår.

Beregningerne af positionerne ved relativ fase GNSS bygger på dobbeltdifferenser mens enkel- og tripeldifferenser bruges til at dække cycle-slips i datasæt. Relativ GNSS kan foretages som statisk eller kinematisk måling. Videre i rapporten er det kun RTK-måling, der vil blive talt om.

Selvom en del fejlbidrag allerede er elimineret ved beregning, er der stadig en restfejl tilbage, der stammer fra påvirkninger af signalet gennem troposfære- og ionosfæren. Udover atmosfærefejlene er der forskellen på, hvorvidt modtagerne bliver påvirket af multipath og målestøj. Det største fejlbidrag kommer dog fra atmosfærefejlene, hvorfor restfejlen primært kommer herfra. [Dueholm et al. 2005, s. 91]

3.2 Metoder bag RTK-tjenester

I Danmark er der tre kommercielle RTK-tjenester, som ved at opbygge basisstationer i et netværk giver et landsdækkende netværk, der gør landmålingen lettere end selv at skulle opstille en masterstation. Desuden skal landmåleren kun bruge én GNSS-modtager. De tre RTK-tjenester er GPSnet.dk, GPS Referencen og SpiderNet.

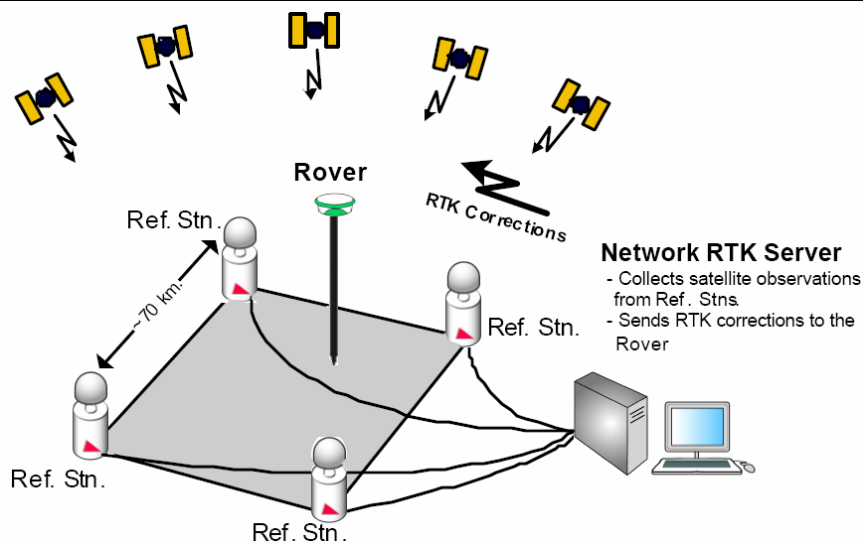
RTK-tjenesterne bygger grundlæggende på to forskellige metoder. GPS Referencen bygger på enkeltstations RTK, mens GPSnet.dk og SpiderNet bygger på netværks RTK.

Enkeltstations RTK

Enkeltstations RTK er den simpleste af de to referencetyper. Denne referencetype er i princippet lig den metode, hvor landmåleren selv stiller en masterstation op i et kendt punkt. Hver referencestation opererer uafhængigt af hinanden og der fås, derfor kun oplysninger fra den referencestation, der bliver etableret kontakt til. Afstanden mellem roveren og referencestationen bør derfor ikke være for stor, da en stor afstand formentlig vil betyde en større forskel i den ionosfære og troposfære, som signalet skal igennem. Afstanden mellem rover og referencestation er da begrænset til ca. 25 km. [Referencenet 2007] og [Dueholm et al. 2005, s. 90]

Netværks RTK

Netværks RTK er opbygget ved, at der er flere referencestationer placeret rundt i landet. De enkelte stationer modtager hele tiden signaler fra synlige satellitter, og de sender observationerne til en central server. Princippet fremgår af Figur 3.5.



Figur 3.5: Princippet bag netværks RTK. [Leica 2008b, s. 1]

Når der skal måles et punkt ved hjælp af netværks RTK indgår tre eller flere referencestationer i beregningerne af korrektionerne. Generelt for netværks RTK er, at der beregningsmæssigt skal løses tre opgaver. Disse er inddelt i tre forskellige trin.

- I første beregningstrin skal periodekonstanterne $N_m^p(t_0)$ bestemmes, jf. forrige afsnit om fase differens. Dette foregår for referencestationerne i netværket af den centrale server.
- I det andet beregnings trin bliver korrektionsmodellens koefficienter estimeret. Det vil sige, at der sker en modulering af restfejlen, hvilket dækker over fejlbidrag fra ionosfæren, troposfæren og satellit banefejl. Fejlene kan deles op i dispersive (ionosfærefejl) og ikke-dispersive (troposfære- og efemeridefej) fejl.

Der laves individuelle modeller til hver satellit for ionosfærefejlen. Ved troposfærefejlen beregnes det for hver station. Denne modulering foregår i netværkets centrale server.

- Det tredje trin er implementering af restfejlen. Det er her forskellen ses på de forskellige netværks RTK. Restfejlen moduleres som korrektioner der kan genereres ud fra flere forskellige metoder: Master-Auxiliary korrektioner (MAX), Individualiseret MAX (i-MAX), Virtuel Reference Station (VRS) eller Flächen-Korrektur-Parameter (FKP). [Wanninger 2006a, s. 1-2]

I de følgende afsnit bliver VRS, i-MAX, FKP og MAX beskrevet.

Ved benyttelse af en af disse metoder skabes der ideelt set en situation hvor rove-rens placering inden for netværkets område ikke får betydning for fejlbidragene, hvilket er modsat enkeltstations RTK, hvor længden af basislinien har indflydelse. [Leica 2008a, s. 1]

Udover at afstanden til den nærmeste referencestation ikke får så stor indflydelse så er der også andre fordele ved netværks RTK frem for enkeltstations RTK. Brugeren behøver ikke længere at undersøge, hvilken referencestation der er nærmest og etablere kontakt til denne. Ved netværks RTK skal der blot etableres kontakt til den centrale server, hvorfra korrektionsdata bliver udsendt. Derudover er systemet ikke lige så sårbar, hvis en enkelt station er ude af funktion. [Leica 2008a, s. 3]

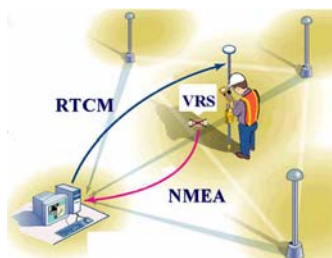
VRS og i-MAX

Metoderne VRS og i-MAX ligner hinanden en del, hvorfor de vil blive behandlet i samme afsnit.

Ved metoden VRS sender roveren en omtrentlig position, som er fremkommet ved kodemåling til den centrale server, der danner en virtuel referencestation tæt på det indsendte punkt. Herefter bliver der løbende beregnet faseobservationer for den virtuelle referencestation, som så sendes tilbage til roveren.

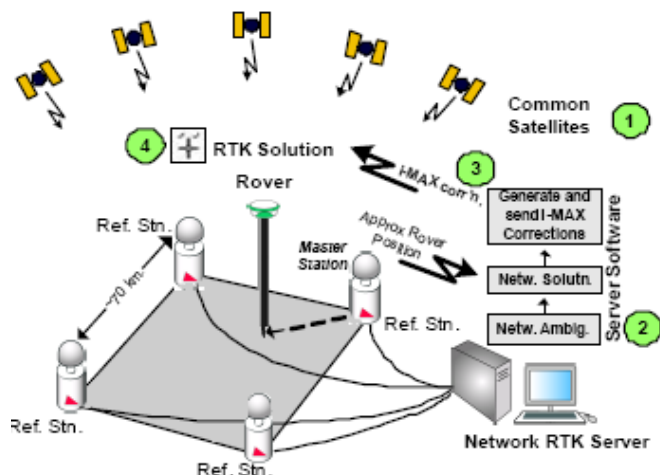
Ved den centrale server modtages der data fra netværket af referencestationer og periodekonstanterne beregnes. Herefter beregnes korrektionsmodeller for ionosfære-, troposfære- og satellitbane fejl.

Ud fra eksempelvis den referencestation der er tættest på roveren beregnes en præcis model for de afstandsafhængige fejl. Disse beregninger er baseret på korrektionsmodeller og horisontale koordinatdifferenser mellem master referencestationen og roveren. Derpå sendes VRS data til roveren i RTCM formatet. Til sidst beregner roveren positionen ud fra VRS data fra den virtuelle referencestation. Figur 3.6 viser princippet bag VRS. Hvad der helt nøjagtigt sker under beregningerne, er ikke til at vide, da de benyttede algoritmer ikke er offentliggjorte. [Vollath et al. 2002a], [Wanninger 2006a, s. 2] og [Dueholm et al. 2005, s. 92-93]



Figur 3.6: Princippet bag VRS. [Vollath et al. 2002b]

Ved metoden i-MAX sender roveren, som ved VRS, en cirka position til serveren. Den største forskel mellem VRS og i-MAX er, at der ved i-MAX ikke bliver dannet en virtuel referencestation, derimod anvendes der i stedet den nærmeste referencestation i netværket til at beregne korrektionsdata. Figur 3.7 viser princippet bag i-MAX. Hvilke beregninger der sker i serveren kendes ikke, da de ikke er offentliggjorte. [Leica 2008b, s. 3-4]

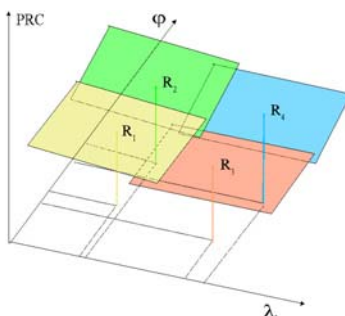


Figur 3.7: Princippet bag i-MAX. [Leica 2008b]

Der bliver hverken ved VRS eller i-MAX brugt offentliggjorte algoritmer til dannelsen af RTK korrektionerne. I begge tilfælde er det serveren, som udfører beregningerne af korrektionerne. Hvorfor det ikke er muligt at gå mere i detaljer.

FKP

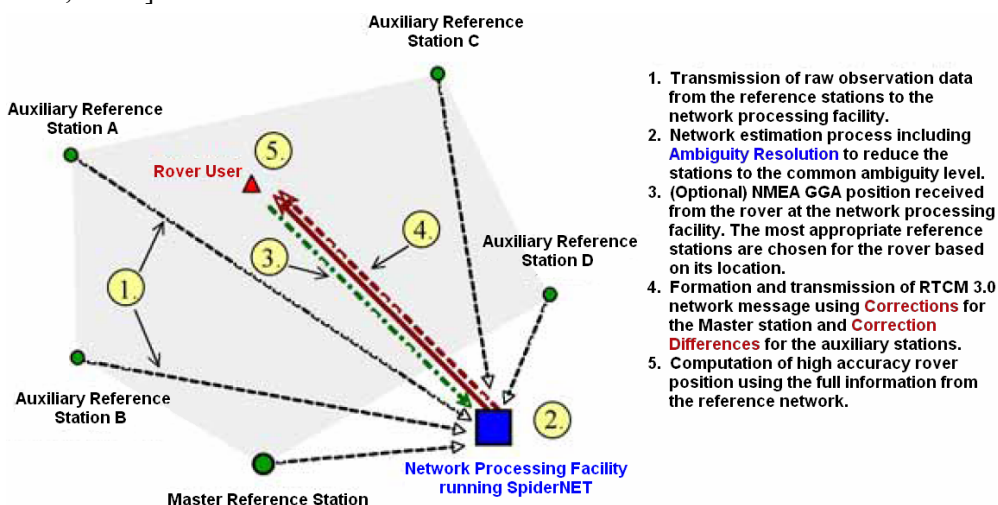
FKP er en metode, der beregner flade korrektioner, hvorved det ikke kræves at netværksserveren kender roverens omtrentlige position. Her anvendes parametrene til at beskrive de afstandsafhængige fejl fra referencestationerne i netværket. Med udgangspunkt i de enkelte referencestationer beskriver FKP parametrene den afstandsafhængige fejl horisontalt og vertikalt. Det er roveren, der vælger den nærmeste referencestation og modtager herfra FKP korrektionerne, hvorved det bliver muligt at eliminere de afstandsafhængige fejlbidrag. Figur 3.8 viser fladerne i en FKP model. Restfejlen moduleres og beskrives ved hjælp af en plan flade. Ligesom ved VRS og i-MAX kendes algoritmerne til korrektionerne ikke. [Wübbena et al. 2001] og [Leica 2008b, s. 4-5]



Figur 3.8: Princippet i FKP, hvor der dannes flade korrektioner. [Wübbena et al. 2001]

MAX

Ved MAX bliver alle rå observationer samt koordinater fra netværket sendt til den centrale netværksserver. Det behøver ikke at være den nærmeste referencestation, der bliver brugt som masterstation, da den kun bruges til at sende data og ikke har en særlig rolle ved beregningen af korrektionerne. Fra masterstationen sendes alle data. De andre stationer i netværket kaldet auxiliary stationer eller *hjælpestationer*, de sender kun korrektions- og koordinatforskellene til den centrale netværksserver, for at mindske mængden af data der skal sendes. Dette bliver gjort for at mindske datamængden, som skal sendes til roveren, samtidig med, roveren stadig har alle oplysninger til korrektionsberegningerne. Derudover bliver korrektionerne opdelt i disperse (ionosfærefejl) og ikke-disperse (troposfære- og efemeridefejl) fejl, for derigennem at reducere datamængden yderligere ved de ikke-disperse fejl, som ikke behøver at blive sendt med så ofte, da de ændrer sig langsommere. [Leica 2005, s. 3-5]

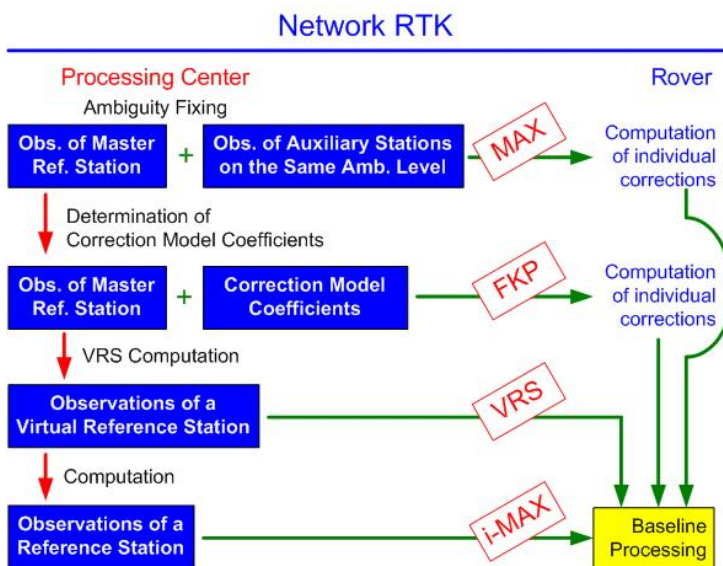


Figur 3.9: Generering af MAX korrektioner. [Leica 2005, s. 5]

Til forskel fra de tre andre metoder bruger MAX standardiserede algoritmer til at lave korrektioner. Herved kan roveren beregne korrektion for dens position. [Leica 2008b, s. 5-6]

Opsamling

Netværks RTK består af et netværk af referencestationer, der alle måler kontinuert til signalerne fra GNSS satellitterne. I RTK netværkene er der en central netværks-server, der foretager en række beregninger. Figur 3.10 beskriver de generelle principper bag de forskellige typer af netværks RTK.



Figur 3.10: Princippet bag netværks RTK. Frit efter [Wanninger 2006b]

4 Anvendelsen af GNSS i landinspektørbranchen

GNSS-modtagere anvendes i dag i mange sammenhænge. I henhold til den initierende problemstilling er det interessant at undersøge brugen af GNSS i landmålingssammenhænge. Mere specifikt brugen af de forskellige RTK-målemetoder.

I landinspektørsammenhænge er et af aspekterne for om en målemetode er egnet til opmåling, at den har en vis nøjagtighed og pålidelighed. For at undersøge specifikt, hvordan RTK GNSS anvendes af landinspektører, rettes der kontakt til branchen.

Kriteriet for at udvælge kontaktpersonerne har været, at de skulle bruge forskellige fabrikater GNSS udstyr og anvende forskellige kommercielle RTK-tjenester.

Kontaktpersonerne blev interviewet den 19. og 20. februar 2008. Det er interviewene, der danner baggrund for dette afsnit, med mindre andet er angivet. Tabel 4.1 viser en oversigt over det udstyr og RTK-tjeneste, som de kontaktpersoner, der blev interviewet har til rådighed.

Kontaktperson	Udstyr	RTK-tjeneste
Mads Hvolby fra Landinspektørfirmaet Nellemann & Bjørnkjær i Aalborg	Trimble R8 GNSS	GPSnet.dk
Peter Jensen fra Landinspektørfirmaet i Århus	Leica GPS1200 Leica GPS System 500	GPSnet.dk
Lars Overvad Mathiasen fra Geopartner Landinspektørgården a/s i Silkeborg	Leica GPS1200	GPS Referencen

Tabel 4.1: Oversigt over kontaktpersonerne og hvilket udstyr de anvender.

Forberedelsen til interviewene bestod i at lave et kort oplæg om, hvorfor der skulle laves et interview med dem, samt forberede en række spørgsmål. Håbet var at spørgsmålene kun var vejledende og at interviewene ville fremstå som samtaler.

Inden hvert enkelt interview blev påbegyndt blev der spurgt om lov til at optage interviewet, hvilket blev godkendt og interviewene kan høres i bilag D.

I landinspektørbranchen anvendes RTK GNSS i mange sammenhænge både i opgaver, hvor det er det eneste måleinstrument og i opgaver med andre måleinstrumenter. Det kan være i forbindelse med matrikulære sager, byggemodning, ledningsregistrering m.m. Det der sætter begrænsningen for RTK GNSS som målemetode er primært nøjagtighedskravet og opmålingsområdets beskaffenhed.

Det er den enkelte opgave, der reelt set bestemmer, hvilke krav der stilles til målingerne. Det er forskelligt om kvalitetskravene er i koten, planen eller begge dele. Det

følgende vil blive beskrevet med udgangspunkt i eksempler på de tre typer kvalitetskrav.

4.1 Eksempel på krav til kote nøjagtighed

I forbindelse med ledningsregistrering er det ofte kote nøjagtigheden, der stiller de største krav. I Danmark findes der et fælles minimumskrav til registrering af ledninger, ved Dansk Standard.

Dansk Standard har en norm for registrering af ledninger: DS 462.2. Denne norm har til formål at sikre, at registreringen af ledningsanlæg udføres så beliggenheden kan relateres til et fælles referencesystem således, at ledningsejeren kan angive kvaliteten af oplysningerne. Dog stilles der ikke krav til registreringsnøjagtigheden. [Dansk Standard 1994, s. 3]

Når landinspektøren får en opgave, der vedrører ledningsregistrering aftales det, hvilke nøjagtighedskrav opmålingen skal kunne holde. Eksempelvis ved kloakledninger er registreringen af kotenøjagtigheden vigtigst. Registreringen af kloakledninger foregår typisk ved, at der nivelleres mellem bunden af hver brønd enten ved geometrisk eller trigonometrisk nivellement, hvorved koten findes. Koordinaterne til brønddækslerne findes enten ved brug af totalstation eller GNSS. Kravet er som oftest, at koten skal kendes med millimeter nøjagtighed, mens planen skal kendes med centimeter nøjagtighed.

Kravene til nøjagtigheden er, ifølge interviewene, meget varierende fra opgave til opgave. De tre landinspektører udtrykker dog at andre målemetoder, der er mindre mandskabskrævende ville være at foretrække. Der er dog ingen af de interviewede landinspektører, som tør stole på kotenøjagtigheden ved brug kun af målinger med RTK GNSS. Den dokumentation der foreligger, om præcision og nøjagtighed af GNSS RTK-måling, på nuværende tidspunkt, viser at kvaliteten ikke er tilstrækkelig til ledningsregistrering.

4.2 Eksempel på krav til kote/plan præcision

Landinspektøren etablerer ofte hovedpunkter i forbindelse med større projektområder, eksempelvis til brug ved byggemodning. I sager hvor der skal etableres et hovedpunktsnet, er det både i koten og i planen, der skal være en god præcision. Et hovedpunktsnet er et net af plan- og højdefikspunkter, der danner grundlag for projektering, afsætning m.v. Det kan både være landinspektøren eller andre aktører i området, der anvender punkterne.

Punkternes koordinater er normalt fremkommet ved et stort målearbejde. Punkternes plane koordinater tilvejebringes typisk ved en kombination af terrestrisk måling

med totalstation og GNSS RTK-målinger. Punkternes kote tilvejebringes typisk ved geometrisk eller trigonometrisk nivellement. For at opnå en acceptabel kotepræcision kan nivellementerne være meget tidskrævende.

I koten kræves der ofte en præcision bedre end 1 cm og tilsvarende i planen. Det vil i praksis sige at der tilstræbes, at hovedpunktsnettet holder en præcision bedre end 1 cm i både plan og højde, med 99,7 % konfidens, hvilket vil sige tre gange spredningen.

Erfaringen siger at, ved måling med RTK GNSS er det muligt at få en god præcision i planen, når der er åbne forhold. Skal præcisionen ned under 1 cm i koten, er det muligt at opnå, hvis RTK-målingen foregår tæt på en kommerciel RTK-tjeneste's referencestation eller egen base. For at sikre præcisionen kan de målte punkter måles mere end én gang og med en ny initialisering. Herved kan det undgås, at målingen af hovedpunktsnettet skal foregå med totalstation og nivellerinstrument. De interviewede landinspektører ønsker dog at få dokumentation for, at RTK GNSS kan overholde præcisionskravene. Indtil da anvendes RTK GNSS ikke i praksis til hovedpunktsmåling.

4.3 Eksempel på krav til plan nøjagtighed

I matrikulære sager er det nøjagtigheden af den plane koordinat, der er interessant. For at finde ud af om der er krav til de målinger, der foretages i forbindelse med matrikulære sager undersøges den relevante lovgivning. I bekendtgørelse om matrikulære arbejder er der kun krav til nyetablerede fikspunkter, der enten skal citat:

indmåles ved kvalificeret netmåling eller med GPS med overbestemmelse. [BEK nr. 291 af 25/04/2005, § 30 stk. 2]

Undersøges det videre i Vejledning om matrikulære arbejder er nøjagtighedskravet følgende, citat:

Nøjagtigheden skal være tilstrækkelig til at sikre, at koordinaterne kan udgøre et forsvarligt grundlag for skelmåling og skelfastlæggelse samt arealberegning. Pålidelighed betyder, at målingen sikrer mod grove fejl i alle netpunkter. [VEJ nr. 46 af 18/04/2001, afsnit 19.3]

Det vil sige, at der ikke er et eksakt nøjagtighedskrav til måling i matrikulære sager.

KMS er i forbindelse med ibrugtagningen af et nyt matrikelsystem "miniMAKS" ved at udarbejde en ny bekendtgørelse for matrikulære arbejder. Bekendtgørelsen var sendt i høring 26. oktober 2007 med høringsfrist den 16. november 2007. I udkastet til den nye bekendtgørelse er det slået fast, at GNSS-måling skal foretages med en RTK-tjeneste, som opfylder vejledningen "Norm for RTK-tjenester. Som et

led i denne nye bekendtgørelse er KMS ved at udarbejde en ny Vejledning i ajourføring af matrikelkortet. I samme forbindelse udfærdiges et udkast til vejledningen ”Norm for RTK-tjenester”. [KMS 2007]

Norm for RTK-tjenester

”Norm for RTK-tjenester” er en vejledning fra KMS, der skal medvirke til at GNSS-målinger, hvor der anvendes en RTK-tjeneste er af en vis kvalitet.

KMS er ansvarlig for nationale referencenet og referencesystemer i Danmark. I henhold til Lov om Kort- og Matrikelstyrelsen § 3, stk. 1 og 2 har KMS mulighed for, at indføre normer og standarder for offentlig opmåling, kortlægning og anden registrering af stedbestemte oplysninger. [Lov nr. 749 af 07/1/1988]

Normens indhold er fremkommet efter forhandlinger med blandt andre offentlige myndigheder og de eksisterende udbydere af RTK-tjenester.

En godkendt tjeneste sikrer ikke god opmåling! Citat fra Lola Bahl.

Derfor er der som tillæg til normen udarbejdet en beskrivelse af god opmålingsskik ved brug af GNSS RTK.

I normen er der fire kvalitetsparametre: Nøjagtighed, Integritet, Kontinuitet og Tilgængelighed. Det er overordnet kun disse parametre, der har betydning for brugeren af RTK-tjenesten.



Figur 4.1: Krav i ”Norm for RTK-tjenester”. [Bahl 2008]

Nøjagtighed i ”Norm for RTK-tjenester”

Brugeren, der modtager korrektionsdata fra RTK-tjenesten, skal kunne opnå en nøjagtighed bedre end 5 cm i planen og 10 cm i koten, for 95 % af alle afvigelser. Nøjagtigheden skal dokumenteres fra RTK-tjenesten ved en egenkontrol, der skal gennemføres årligt. Egenkontrollen er en test, der skal udføres i en sammenhængende periode på 8 timer i dagtimerne i et REFDC punkt eller et 10 km punkt. De målte GNSS RTK positioner skal gemmes kontinuert og logges med et interval på maksimalt 30 sekunder. Når der er målt 60 positioner skal udstyret reinitialiseres.

Nøjagtighedskravet fra KMS indebærer, at 95 % af de plane afvigelser skal ligge indenfor; citat:

$$-5cm \leq \sqrt{v_i(N)^2 + v_i(E)^2} \leq 5cm, [KMS 2008]^2$$

Ved grafisk fremstilling kan der tegnes en cirkel med radius i på 5 cm i (0,0) i et retvinklet koordinatsystem med northing og easting. Plottes alle de plane afvigelser, skal 95 % af afvigelseerne ligge inden for cirklen, for at nøjagtighedskravet er opfyldt.

For nøjagtigheden i koten gælder at 95 % af afvigelseerne skal ligge indenfor; citat:

$$-10cm \leq v_i(kote) \leq 10cm, [KMS 2008]$$

Son dokumentationen for testen skal spredning og nøjagtighed beregnes, hvilket skal beregnes på følgende måde; citat:

Beregningsformlen for spredning og RMS, som beregnes for alle plan-komponenter, er givet ved

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2}$$

hvor:

v_i er afvigelseerne af de målte koordinater fra en given koordinatværdi

n er antallet af målinger

\bar{v} er middeltallet af afvigelseerne v_i . [KMS 2008]

Integritet i "Norm for RTK-tjenester"

RTK-tjenesten skal kontinuerligt registrere og beregne kvalitetsparametre, hvilket bl.a. er kontrol af satellitdata eller driftsproblemer. Brugeren af RTK-tjenesten skal have besked, hvis kravet til kvalitetsparametrene er overskredet. RTK-tjenesten skal oplyse hvordan, og hvor hurtigt brugeren får besked. [KMS 2008]

² Der er fejl i denne formel fra KMS, for hvordan kan kvadratroden af noget blive mindre end 0?

Kontinuitet i "Norm for RTK-tjenester"

RTK-tjenesten må ikke være sårbar overfor udfald. Det vil sige, at hvis en enkelt referencestation falder ud, må beregningerne af korrektionsdata ikke foregå på en sådan måde, at det påvirker hele tjenesten.

Hvis en eller flere referencestationer falder ud, og det påvirker nøjagtigheden af tjenesten, så skal brugeren have besked. [KMS 2008]

Tilgængelighed i "Norm for RTK-tjenester"

RTK-tjenesten skal være tilgængelig med en sandsynlighed på 98 % pr. år opgjort indenfor tidsrummet 7-17. For at tjenesten siges at være tilgængelig skal kravene til nøjagtighed, integritet og kontinuitet være opfyldt. [KMS 2008]

"Norm for RTK-tjenester" er udarbejdet for at sikre kvaliteten af RTK-tjenester i fremtiden. De nuværende udbydere af RTK-tjenester har været med til at udarbejde normen og kan formentligt overholde kravene. Normen bør ses som et minimumskrav til RTK-tjenesterne.

4.4 Sammenfatning af kvalitetskrav

Der er mange forskellige måleopgaver, som kan gennemføres med GNSS, og dermed er der også mange forskellige krav til, hvilken nøjagtighed målingen skal kunne overholde.

I ovenstående afsnit kan det også ses, at selvom der eksempelvis er en Dansk Standard for registrering af ledninger, så er der ikke eksakte krav til nøjagtigheden. Og for matrikulære sager er der heller ikke fastsat et eksakt nøjagtighedskrav. Der er dog ved at blive udarbejdet en norm for, hvilke krav RTK-tjenesterne skal kunne overholde.

I mere tekniske opgaver i landinspektørbranchen som eksempelvis etablering af et hovedpunktsnet er der heller ingen kvalitetskrav. I de sager aftales der med rekvisenten, hvilken nøjagtighed som skal overholdes. Erfaringen viser dog, at nøjagtigheden i disse tilfælde skal kunne holde 1 cm både i koten og i planen.

Det vigtigste for landinspektørerne når de vælger opmålingsmetode er, at de kender til hvilken kvalitet metoden kan opnå.

5 Problemformulering

Dette afsnit har til formål at præsentere problemformuleringen, som hovedanalysen skal tage afsæt i. Problemformuleringen har til formål at opstille de centrale spørgsmål, som hovedanalysen ønsker besvaret i forbindelse med en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling. Ligeledes bliver problemformuleringen uddybet med supplerende spørgsmål, emnet afgrænses og præmisserne for testene fastsættes. Der er igennem foranalysen blevet belyst forskellige relevante emneområder, som giver en god basisviden om GNSS og RTK.

Hele fagområdet der vedrører GNSS er stort. Derfor afgrænser problemformuleringen og de uddybende spørgsmål det område, som dette projekt omhandler.

I foranalysen blev det gjort klart, at praktiserende landinspektører efterspørger en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling. Dette gælder både for anvendelsen af en kommerciel RTK-tjeneste, og når der bliver anvendt egen basestation. Der er tidligere lavet forskellige test af GPS RTK-måling, og siden da er der løbende sket teknologisk udvikling, og det er nu muligt at inddrage GLONASS i løsningen.

Et aspekt der kan være interessant at undersøge, er præcisionen. Alt efter formålet med opmålingen kan det være tilstrækkeligt at måle i et lokalt koordinatsystem, for derefter at blive transformeret over på kendte punkter med en god nøjagtighed efterfølgende.

I projektet er der gjort en vigtig prioritering, hvorved det hermed bliver fastlagt, at det specielt er koten der er interessant. Testene bliver derfor tilrettelagt, så målingen af koten bliver tilgodeset.

Det kan være interessant at se på, hvor mange epoker en måling skal bestå af, før målingen er af en passende kvalitet. Herved kan resultatet af en sådan test bruges i en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK.

I landinspektørbranchen er lønninger en vigtig udgiftspost, derfor kan det fra et tidssøkonomiske perspektiv være interessant at sammenholde initialiseringstiderne mellem forskellige GNSS RTK-målinger.

For at præcisere emnet i forhold til projektet, så bliver projektet afgrænset således, at der ikke bliver set på hvilken nøjagtighed, der kan opnås i forhold til referencesystemerne i Danmark.

Med baggrund i den initierende problemstilling og foranalysen præciseres problemformuleringen.

Problemformulering:

- I) *Hvor mange epoker skal én GPS-måling bestå af for at have en passende kvalitet?*
- II) *Hvordan er præcisionen ved opmåling med GPS eller GPS/GLONASS når der anvendes en kommerciel RTK-tjeneste?*
- III) *Hvordan er præcisionen ved opmåling med GPS eller GPS/GLONASS når der anvendes egen basestation? Og hvilken nøjagtighed i koten kan opnås indbyrdes mellem punkterne?*
- IV) *Afhænger initialiseringstiden af hvilken RTK-tjeneste, der anvendes og/eller afstanden til nærmeste referencestation?*

I forlængelse af problemformuleringen kommer der uddybende overvejelser til hvert spørgsmål.

Ad I) Test af observationstid

På baggrund af overvejelser om at én GPS-måling kan optimeres, er det oplagt at undersøge, hvor mange epoker én GPS-måling skal bestå af. For at undersøge dette nærmere er det nødvendigt at kende forskellen i præcisionen mellem målinger, som består af forskellige antal epoker. Derefter bliver det muligt at vurdere, hvor mange epoker at en måling skal bestå af for at opnå en tilfredsstillende kvalitet.

Ad II) Test med kommercielle RTK-tjenester

En test af kommercielle RTK-tjenester er interessant at gennemføre, da der løbende er sket udvikling af udstyr og RTK-tjenester. Ligeledes er det nu muligt også at medtage GLONASS satellitter. For at undersøge hvad præcisionen er når der anvendes kommercielle RTK-tjenester, er det nødvendigt at gennemføre en test af dette.

I foranalysen findes det ud af at enkeltstations RTK er afstandsafhængig, men hvor meget betyder afstanden, og er netværks RTK også afstandsafhængig? Dette ønskes belyst med denne test af de kommercielle RTK-tjenester.

Ad III) Test med egen RTK-basestation

Fra interviewene hvor praktiserende landinspektører udtaler sig formodes det, at præcisionen af GNSS RTK-målinger med egen basestation bliver bedre i koten, end

det er tilfældet i forhold til målinger med GNSS RTK med kommercielle basestationer. For at undersøge denne påstand nærmere er det nødvendigt, at gennemføre en test der belyser præcisionen af en GNSS-måling, når der bliver anvendt egen basestation. I denne test er det interessant at undersøge, om præcisionen af målingerne bliver bedre når der måles med GPS/GLONASS frem for kun GPS.

Det er også interessant at se, hvilken nøjagtighed der kan opnås indbyrdes mellem punkterne. Der vil ikke blive set på nøjagtigheden i forhold til referencesystemerne i Danmark.

Ad IV) Test af initialiseringstid

En test af initialiseringstiden er interessant at gennemføre, da der løbende er sket udvikling af udstyr og RTK-tjenester. Ligeledes er det nu muligt også at medtage GLONASS satellitter. Derfor ønskes det at gennemføre en test der undersøger om initialiseringstiden er afhængig af RTK-tjeneste, afstanden til nærmeste referencestation, og om der bliver anvendt GPS eller GPS/GLONASS satellitter i løsningen. Herved kan effektiviteten af RTK-tjenesterne vurderes.

5.1 Definitioner og præmisser for testene

For at gøre det klart for læseren, så bliver de præmisser præsenteret, som testene kommer til at foregå under. Disse forhold påvirker de resultater og konklusioner, som kan tolkes på baggrund af testens resultater.

Præmisser:

- Definitioner
- Solpletaktiviteten
- RTK-tjenester
- Udstyr
- Testområder

I det følgende bliver præmisserne beskrevet.

Definitioner

For at undgå misforståelser laves følgende definitioner.

Sammenhængen mellem epoke og måling

I dette projekt betegnes en epoke som et sæt koordinater til et bestemt tidspunkt. En epoke er altså en attribut til en position. Epokeintervallet er på 1 sekund.

Sammenhængen mellem en måling og en epoke er, at en måling består af et middel af et antal epoker.

Præcision

Spredningen på plankoordinaterne ved gentagne målinger af samme punkt defineres således:

Spredningen på E-koordinaten:

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - E)^2}{n-1}}, \text{ hvor}$$

- e_i er den målte koordinat
- E er middelkoordinaten
- n er antallet af målinger

Spredningen på N-koordinaten:

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_i - N)^2}{n-1}}, \text{ hvor}$$

- n_i er den målte koordinat
- N er middelkoordinaten
- n er antallet af målinger

Spredningerne på plankoordinaterne benyttes så videre til at beregne punktspredningen. Et punkts præcision bliver vurderet ved hjælp af spredninger:

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}}, \text{ hvor}$$

- σ_E er spredningen på E-koordinaten
- σ_N er spredningen på N-koordinaten

Tales der om præcisionen på koten vurderes denne ligeledes ved hjælp af spredninger. Spredningen defineres på tilsvarende måde som oven for:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - H)^2}{n-1}}, \text{ hvor}$$

- h_i er den målte kote
- H er middelkoten
- n er antallet af målinger

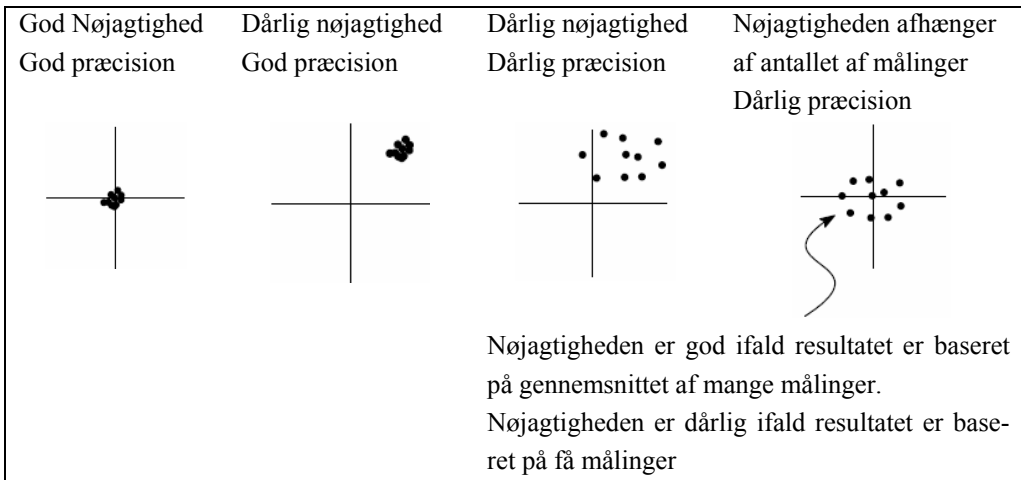
Nøjagtighed

Nøjagtighed vurderes ved hjælp af RMS-værdier (Root Mean Square). Ligesom for præcisionen udregnes RMS-værdien også på baggrund af differensen mellem punkts koordinat og den målte koordinat. *RMS* er nøjagtigheden af en målt koordinat:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n}}, \text{ hvor}$$

- x_i er den målte værdi
- X er punktets værdi
- n er antallet af målinger

Både præcision og nøjagtighed er betegnelser for kvaliteten. Sammenhængen mellem præcision og nøjagtighed er illustreret på Figur 5.1.

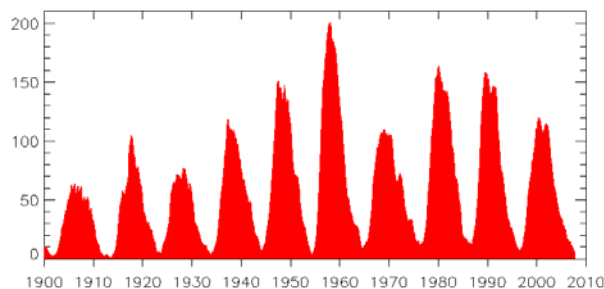


Figur 5.1: Sammenhængen mellem præcision og nøjagtighed. [Madsen 2008]

Solpletaktiviteten

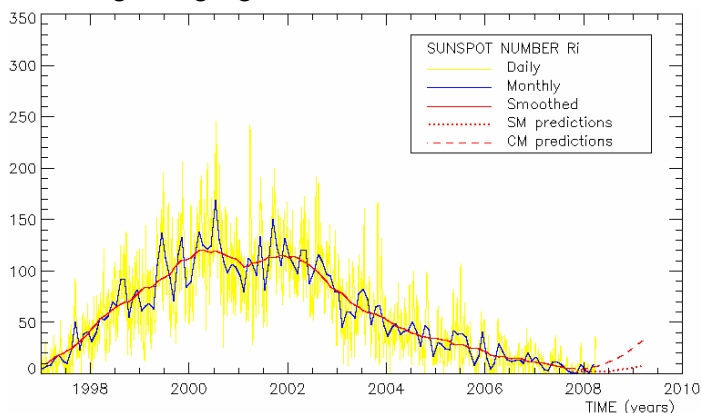
De atmosfæriske forstyrrelser fra ionosfæren varierer med tidspunktet på dagen, årstiden og solpletaktiviteten. [Dueholm et al. 2005, s. 39]

Det er især solpletaktiviteten, der har betydning for de atmosfæriske forstyrrelser. Solpletter er stærke magnetiske områder på solens overflade. Solpletaktiviteten varierer i en cyklus på ca. 11 år. Figur 5.2 viser, hvordan solpletaktiviteten har varieret siden 1900.



Figur 5.2: Solpletaktivitetens variation siden 1900. [SIDC 2008]

Solpletaktiviteten varierer faktisk hele tiden, og Figur 5.3 viser hvordan solpletaktiviteten varierer fra dag til dag, og fra måned til måned.



Figur 5.3: Variationen i solpletaktiviteten varierer dagligt og månedligt. [SIDC 2008]

I marts 2008 blev det vurderet, at minimummet af solpletter var nået indenfor en grænse på 6 måneder, hvorefter aktiviteten forventes at stige til et maksimum i 2012. [NOAA 2008]

Hermed kommer testene til at foregå under ideelle forhold, hvad angår solpletaktiviteten.

Øvrige påvirkelige forhold

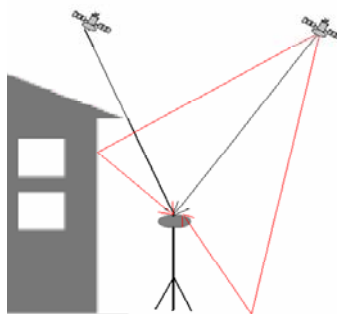
De kommercielle RTK-tjenester udvikles løbende hvorved testresultaterne er et øjebliksbillede.

Det må formodes, at testenes resultater bliver afhængige af, hvilken af RTK-tjenesternes referencestationer der er med.

Udstyret der anvendes i marken har betydning. Resultaterne af testene er afhængige af det udstyr der anvendes. Det gælder både hardware og software. Der kommer hele tiden opdateringer til software og firmware, mens hardwaren også udvikles over tid.

Resultaterne af testene viser, hvordan RTK-tjenesterne er i de pågældende testområder. Projektgruppen har begrænset tid og laver derfor ikke en fuldskalatest, som gælder for hele Danmark. Der er derfor en usikkerhed ved at bruge resultaterne fra denne rapport andetsteds i landet.

I testene vil testområdernes kvalitet blive vurderet. Dette er for at undgå eksempelvis multipath. Figur 5.4 angiver et principielt eksempel på multipath. De sorte streger skal vise, hvordan GNSS-modtageren får et uforstyrret signal, og de røde streger viser, hvordan signalerne fra satellitterne kan blive reflekteret på f.eks. bygninger eller underlag.



Figur 5.4: Illustreret eksempel på multipath.

Ved opmåling i områder med bebyggelse og på befæstede arealer skal opmærksomheden henledes på multipath. Risikoen for multipath øges i sådanne områder. For at minimere risikoen for multipath vurderes hvilken afskærende vinkel udstyret skal sættes op med.

6 Test af observationstid

Denne test har til formål at undersøge, hvor mange epoker hver måling skal indeholde, for at hver enkelt måling har en tilstrækkelig kvalitet. Det vil sige testen går ud på at finde ud af hvor lang tid, der skal bruges på én måling for at forbedre nøjagtigheden af GPS-målingerne.

Testen foregår ved at fire GNSS-modtagere, som ringer op til hver deres RTK-tjeneste, og sættes til at måle én-epokes målinger i et fast punkt, hvor de måler en gang i sekundet i løbet af en arbejdsdag. Alle de målinger som så består af én epoke bruges til at beregne en middelkoordinat. Derudover bliver der beregnet en middelværdi, så der fremkommer en række målinger, som består af: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105 og 120 epoker. Ud fra de nye målinger bliver der lavet en vurdering af, hvor mange epoker én måling bør bestå af, for derigennem at få en tilstrækkelig præcision uden, at der bliver brugt uforholdsmæssigt lang tid. Projektgruppen har den helt grundlæggende teori, at hvis man har flere én-epokes målinger og finder et gennemsnit, må præcisionen alt andet lige blive bedre. Testen her skal så afgøre hvor mange epoker, der skal gå til én måling. Eksempelvis kunne det være mandetimebesparende, hvis præcisionen af en måling blev forbedret ved at forlænge antallet af epoker, som bruges til én måling. Hvilket betyder, at der måske måles i et minut frem for at skulle involvere andre målemetoder. Resultatet af denne test skal bruges til planlægningen af, hvordan de efterfølgende tests skal udføres.

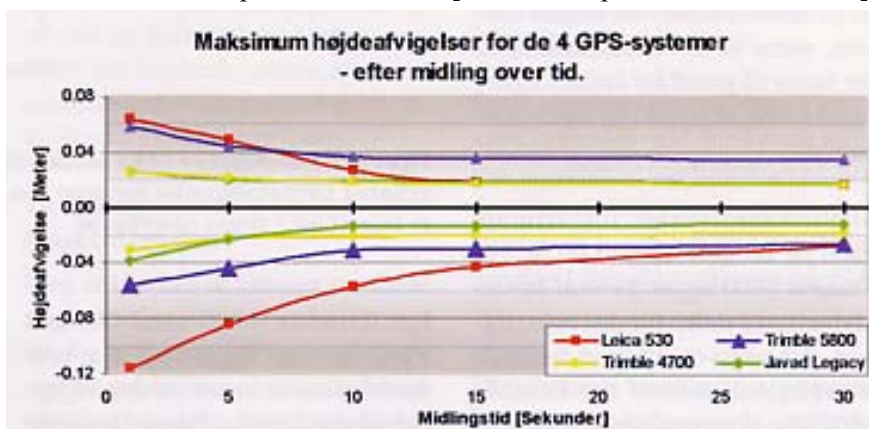
6.1 Resultater fra tidligere test

Der er flere, som har undersøgt betydningen af, at målingerne består af flere epoker. I tidligere forsøg er der lavet test på, hvor mange epoker det er mest hensigtsmæssigt at en måling består af.

I 2005 blev der på civilingeniørstudiet ved Informatik og Matematisk Modellering på Danmarks Tekniske Universitet gennemført en undersøgelse af RTK teknikker, herunder en test af om nøjagtigheden bliver forbedret som funktion af antal epoker i løsningen. Mads B. Knudsen fandt i sine undersøgelser, at den største gevinst lå i at øge antallet af epoker fra 1 til 5. Det var især udjævningen af grove fejl, som han fandt, var en fordel. Nøjagtigheden blev naturligvis bedre, men den største gevinst lå i, at de maksimale afvigelser blev mindre. [Knudsen 2005, s. 51-55]

I 2004 gennemførte KMS i samarbejde med Vejdirektoratet en test af, hvilken kote-nøjagtighed der kan forventes med GPS-måling, herunder en test af hvor stor effekt der kan opnås ved at lave målinger over flere epoker.

Hvad Henrik V. Jensen og Casper Jepsen fra KMS fandt, er lidt forskelligt fra hvad Mads B. Knudsen fandt. Her blev der godt nok kun set på højdeafvigelser, men hovedpointerne er stort set de samme. Nedenstående Figur 6.1 viser højdeafvigelserne fundet ved deres forsøg. Ligesom ved Mads B. Knudsens forsøg ligger den største gevinst i starten. Jo flere epoker der måles, desto mindre bliver gevinsten herved. Til forskel fra det første forsøg finder Henrik V. Jensen og Casper Jepsen, at der med fordel kan måles i op til 15 sekunder. [Jensen & Jepsen 2004, s. 135-136]



Figur 6.1: Koteafvigelserne fundet i forsøget udført af Henrik Vad Jensen og Casper Jepsen. [Jensen & Jepsen 2004, s. 135]

6.2 Forberedelse af test

Dette afsnit har til formål, at dokumentere de overvejelser projektgruppen har gjort sig inden testene af instrumenterne mht. antallet af målinger. Forberedelserne til testene er for at sikre at de resultater projektgruppen kommer hjem med, er af en sådan kvalitet, at de kan bruges i det videre projektarbejde.

Statistiske beregninger

Som en del af forberedelserne inden test af observationstid undersøges, hvor mange målinger der skal bruges for at kunne sige, at testen er statistisk forsvarlig.

Konfidensgraden angiver sandsynligheden for, at konfidensintervallet omfatter den sande værdi af parameteren. Der ønskes små konfidensintervaller med stor konfidensgrad. Konfidensintervallerne består af en øvre og nedre grænse.

Der vælges at konfidensgraden for forsøget minimum skal være på 95 %. Konfidensgraden bestemmes vha. værdien ρ , som er spredningen på spredningen. Konfidensgraden er således $1-\rho$.

ρ bliver mindre jo flere overbestemmelser der er. ρ bestemmes ved:

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{2d}}, \quad \text{hvor } d \text{ er antallet af overbestemmelser.}$$

Ved at isolere d kan det beregnes, hvor mange overbestemmelser der skal til, for at ρ og dermed konfidensgraden bliver en ønsket størrelse.

$$d = \frac{1}{(2\rho)^2} \quad [\text{Eriksen \& Lauritzen 2004, s. 23}] \text{ og } [\text{Højbjerg 2006}]$$

For at de statiske beregninger holder, skal målingerne være uafhængige. Da målingerne foretages helt ned til én gang i sekundet kan de ikke siges at være uafhængige. Der går simpelthen ikke lang nok tid mellem hver måling til, at de kan være uafhængige. For at disse statiske beregning kan laves antages det imidlertid, at målingerne er uafhængige, selvom det ikke er tilfældet.

Det vælges at konfidensgraden for forsøget minimum skal være på 95 %, derfor sættes $\rho = 5 \%$, hvilket giver $d = 200$ overbestemmelser.

Hvis man antager, at effekten af præcisionens forbedring kun forbedres markant op til en måletid på 2 minutter eller 120 epoker og der minimum skal 200 overbestemmelser til betyder det, at der skal måles i 6,67 timer.

For at være på den sikre side vælges det derfor at forsøget skal løbe over 8 timer, hvilket svarer til en arbejdsdag. Hermed imødeser man de forskellige satellitforhold, der kan forekomme i løbet af en dag.

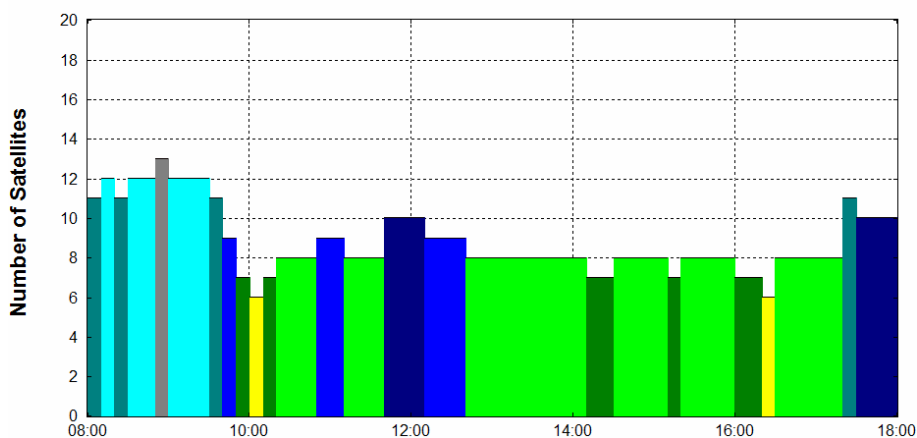
Valg af testområde

Af praktiske årsager foregår testen ved Aalborg Universitet på et sted, der er egnet til GNSS-måling. Derfor vælges det at sætte GNSS antennerne op på taget af Fibigerstræde 11 for at få et ugeneret sted.

Kontrol af satellitforhold

Programmet Trimble Office Planning blev brugt til at forudsige, hvordan satellitforholdene ville være i testområdet den pågældende dag. Der medregnes ikke satellitter, som ligger under en 10° afskæringsvinkel. Nedenstående Figur 6.2 viser antal synlige GPS satellitter. Som hovedregel skal der være mindst fem satellitter synlige, hvilket også er tilfældet.

Visibility



Figur 6.2: Antal synlige GPS satellitter den 10. marts 2008 (ved N 57°1' E 9°58').

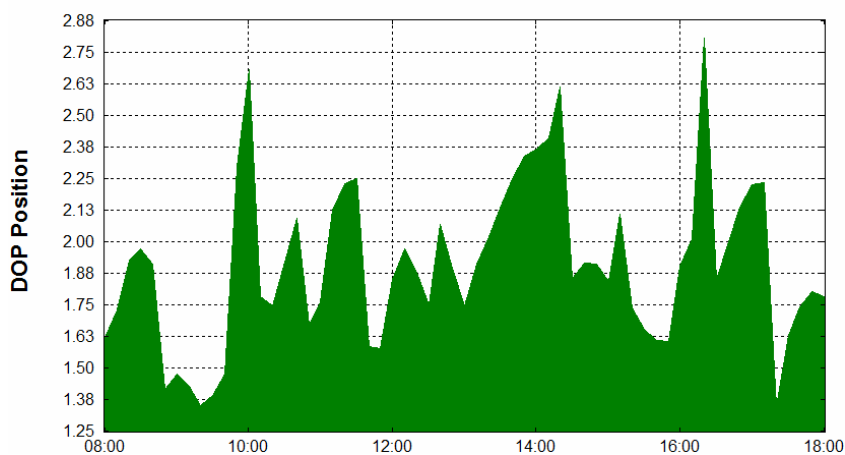
Figur 6.3 viser PDOP værdien.

Hovedreglen for opmåling er:

- PDOP under 2, rigtig god
- PDOP under 4, god
- PDOP over 6, upålidelig

PDOP værdien er hele dagen under 3, hvilket skulle give gode opmålinger.

DOP Position



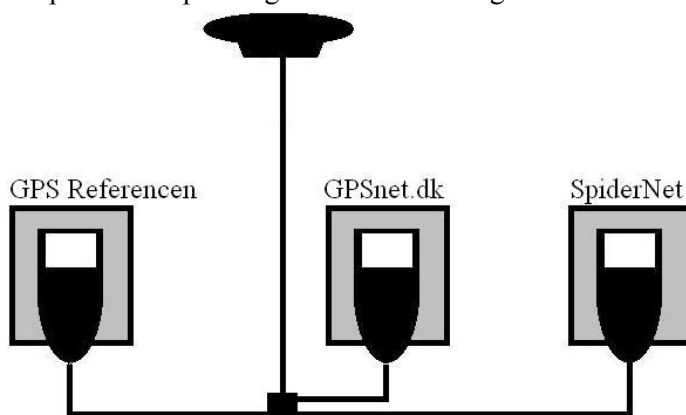
Figur 6.3: PDOP den 10. marts 2008 (ved N 57°1' E 9°58').

Ud fra antallet af satellitter og PDOP værdi kan det ses, at satellitforholdene den pågældende dag er acceptable.

Test setup

Til forsøget benyttes tre Leica GPS-modtagere, én Trimble R8 GNSS-modtager og en antennesplitter fra GPS Networking. En præsentation af udstyret kan ses i bilag A.

De tre Leica 500 GPS-modtagere sættes op til at få korrektionsdata fra hver sin RTK-tjeneste: GPS Referencen, SpiderNet og GPSnet.dk. Alle tre Leica modtagere sættes til samme antenne vha. en antennesplitter. Herved vil de få det samme signal og eventuelle forskelle, som kan opstå ved at bruge forskellige antenner, kan på denne måde undgås. Derudover bliver koordinaterne direkte sammenlignelige, hvilket de ikke ville være, hvis der benyttes tre antenner, som placeres tre forskellige steder. En principskitse af opstillingen af Leica modtagerne kan ses i Figur 6.4.



Figur 6.4: Principskitse af forsøgsopstilling.

Ud over de tre Leica 500 bliver der også målt med én Trimble R8 GNSS-modtager. Denne modtager får korrektionsdata fra RTK-tjenesten GPSnet.dk. Trimble modtageren benyttes for at se om der skulle være forskel mellem to forskellige modeller. At det lige er Leica 500 og Trimble R8 som benyttes, er fordi Aalborg Universitet har disse to modeller liggende. Testen kunne være foretaget med mange andre modeller, men da der hverken er tid eller mulighed for at lave en test af alle på markedet, er testen begrænset til kun at bestå af disse to modeller.

Eftersom GNSS-modtagerne alle anvender samme målemetode, nemlig RTK, bør de opnå resultater i nogenlunde samme størrelsesorden. Det skal dog dertil bemærkes, at den benyttede hardware og software i en GNSS-modtager også kan have en effekt på den præcision, der kan opnås. Nogle GNSS-modtagere tilfører mere støj til målingerne end andre. Både Leica 500 GPS-modtagerne og Trimble R8 GNSS-modtageren er geodætiske modtagere, hvor støjen er antaget at være mindst mulig. Vi har dog ingen forudsætning for at sige, hvad støjbidraget er.

Alle fire GNSS-modtagere får samme opsætning og dertilhørende grænseværdier. GNSS-modtagerne sættes til at måle hvert sekund, således hver måling består af én epoke. Elevationsvinklen sættes til 10° og den maksimale PDOP grænseværdi sættes til 6.

6.3 Markarbejde

De to antenner blev sat op på taget af Fibigerstræde 11 på Aalborg Universitet. Antennerne sad på et fodstykke, som blev skruet på en plade, der var boltet til muren.



Figur 6.5: De to GNSS antenner, der indgår i forsøget (Leica t.v., Trimble t.h.).

Herefter blev der ført et kabel fra Leica antennen ind i instrumentrummet i Fibigerstræde 11, hvor kablet/signalet blev splittet i tre ud til de tre GPS-modtagere, som blev sat i stik nr. 1, 2 og 3. GPS-modtageren, som var koblet til stik nr. 1 leverede samtidig strøm til splitteren, så hvis GPS-modtageren blev slukket, hvis den f.eks. løb tør for strøm, så mistede de to andre ligeledes signalet fra antennen. Terminalen til Trimble R8 havde en trådløs forbindelse til antennen, så terminalen blev lagt på taget ved siden af antennen.



Figur 6.6: De tre Leica GPS-modtagere der indgår i testen.

De tre Leica GPS-modtagere blev sat op til at få korrektioner fra GPS Referencen, GPSnet.dk og SpiderNet, mens Trimble modtageren fik korrektioner fra GPSnet.dk. Alle fire GNSS-modtagere blev sat til at foretage en måling til hver epoke med et interval på 1 sekund. De tre Leica modtagere startede ved punktnummer 300.001 og talte derefter opad, mens Trimble modtageren startede ved nr. 1.

På en eller anden måde skete der en fejl ved nummereringen af målingerne med Leica modtagerne, hvorved flere målinger fik samme punktnummer. Dette besværliggjorde databearbejdningen senere hen, men har ellers ingen betydning, da punkt-numrene som sådan ikke skal bruges til noget.

Målingerne blev foretaget mellem ca. kl. 8 og 18 mandag d. 10. marts. Der var flere gange hvor Leica GPS-modtagerne løb tør for strøm, hvorfor der var perioder, hvor der mangler data. Derfor er der også målt i mere end de 8 timer, som oprindeligt var meningen. Der blev dog stadig indsamlet tilstrækkelig data til, at opfylde de statistiske forudsætninger som er blevet opsat tidligere. Trimble modtageren var bedre til at holde strøm, hvorfor der kun er ét hul midt på dagen, hvor batteriet blev skiftet.

6.4 Databearbejdning

Efter dataene er indhentet kan den egentlige databearbejdning påbegyndes. En nærmere beskrivelse af hvad der bliver gjort kan læses i bilag B, men i hovedtræk bliver der først beregnet en middelkoordinat for hver referencetjeneste, som målingerne kunne holdes op imod. Dvs. der er én ”sand” koordinat til hver referencetjeneste på nær ved målingerne foretaget med Trimble modtageren. For at kunne skifte batteriet på Trimble modtageren, var det nødvendigt at tage antennen ned. Her var der tvivl om antennen var placeret eksakt samme sted, hvilket vil give en anden koordinat. Derfor bliver der beregnet to ”sande” koordinater, hvilket vil sige én til hver tekstfil. Middelkoordinaterne kan ses i nedenstående Tabel 6.1.

	E [m]	N [m]	H [m]
Leica, GPS Referencen	228.997,836	6.321.709,145	12,789
Leica, SpiderNet	228.997,834	6.321.709,146	12,786
Leica, GPSnet.dk	228.997,831	6.321.709,143	12,809
Trimble, GPSnet.dk	559.382,706	6.319.816,959	12,344
Trimble, GPSnet.dk	559.382,707	6.319.816,960	12,346

Tabel 6.1: Beregnede middelkoordinater.

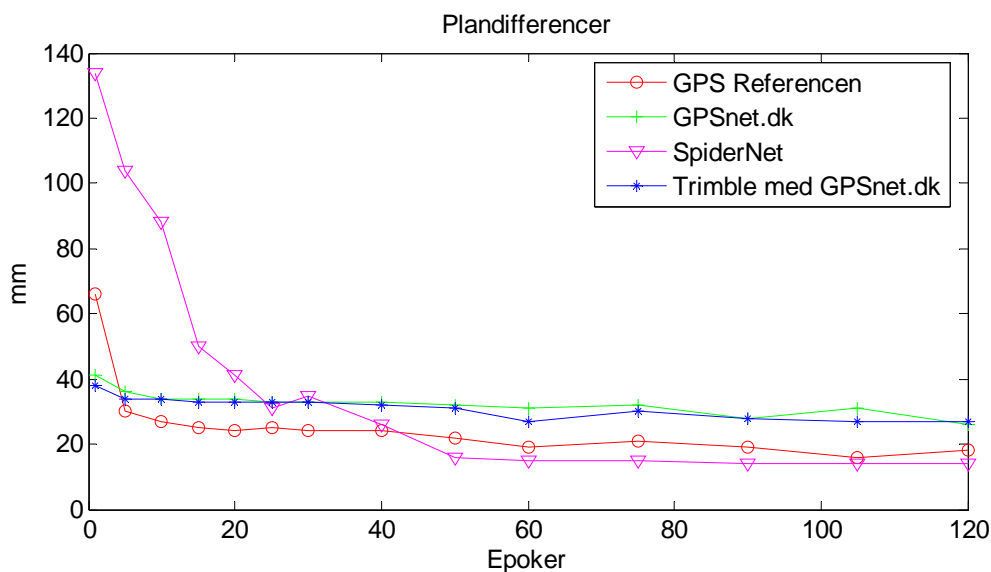
Herefter kunne koordinatdifferencerne beregnes. Målingerne bliver delt op i intervaller på 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105 og 120 epoker. Ud fra mid-

delkoordinaterne og målingerne, bliver der beregnet en maksimumafvigelse og præcision til hver intervalinddeling.

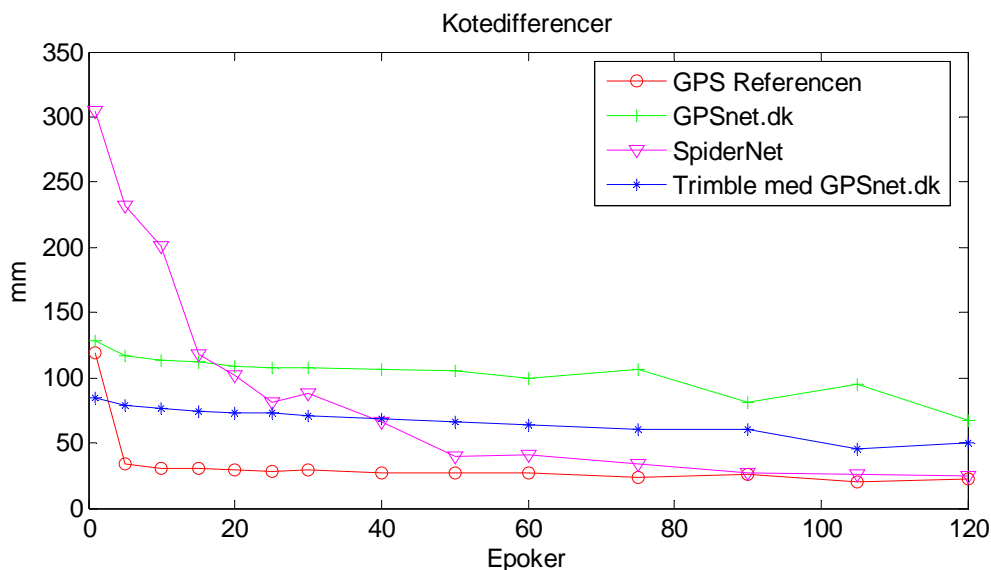
Ved dannelsen af intervallerne blev der færre og færre koordinater at foretage beregningerne med. Derfor vil konfidensgraden også være større ved de korte intervaller end ved de lange. Ønsket var fra starten, at alle konfidensgrader skulle være over 95 %. GPS Referencen er den med færrest målinger, men ved 120 epoker per måling kommer den stadig op på en konfidensgrad på 95,3 %.

Tabel 6.1 viser de beregnede middelkoordinater. GPS Referencen, GPSnet.dk og SpiderNet er alle målt med samme antenne, som ikke er blevet flyttet på under målingen. De tre koordinater burde derfor ideelt set være ens. Der er dog op til 5 mm forskel i E, 3 mm i N og 23 mm i H. Forskellen i planen er dog ikke så stor og kunne måske tillægges, at referencedata ikke nødvendigvis er lige god ved alle RTK-tjenesterne. Der er ikke lige langt til referencestationerne. Til GPS Referencens station i Aalborg er der ca. 4 km, mens der er ca. 21-22 km til GPSnet.dk's station i Hals. Derudover er det måske ikke de samme satellitter, som referencestationerne har udsyn til. Desuden opstod der nogle tidshuller i målingerne, som ikke alle faldt på samme tid. Alt sammen noget, som kan give en forskel i koordinaten. Det er ligeledes værd at bemærke, at GPS Referencen og SpiderNet ligger tæt på hinanden, mens det er GPSnet.dk, som falder ved siden af. GPS Referencen og SpiderNet er fra samme udbyder, og de bruger måske de samme referencestationer, så det er nok ikke et tilfælde, at det er de to som ligger tæt. Derfor kan man godt forledes til at tro, at koordinaterne og måske især koten, kan være forskudt alt efter, hvilken referencetjeneste der benyttes. Det skal dog siges, at dette forsøg ikke er fyldestgørende nok til at sige noget med sikkerhed, men en tendens kan dog anes.

Nedenstående Figur 6.7 og Figur 6.8 viser de maksimale plan- og kotedifferencer.



Figur 6.7: Maksimale plandifferencer med målinger bestående af 1-120 epoker.



Figur 6.8: Maksimale kotedifferencer med målinger bestående af 1-120 epoker.

Ved Figur 6.7 som viser plandifferencerne, kan man se at maksimumværdierne med SpiderNet ligger meget højt i forhold til de andre det første halve minut. Det samme kan ligeledes ses ved Figur 6.8, der viser kotedifferencerne. Da det er maksimumværdierne, så behøver det i sagen natur ikke at være andet end én enkelt værdi, der ligger så højt. F.eks. er den maksimale kotedifference for SpiderNet ved målinger bestående af 10 epoker ca. 20 cm, men der er kun 3 ud af ca. 2900 differencer, som

Test af observationstid

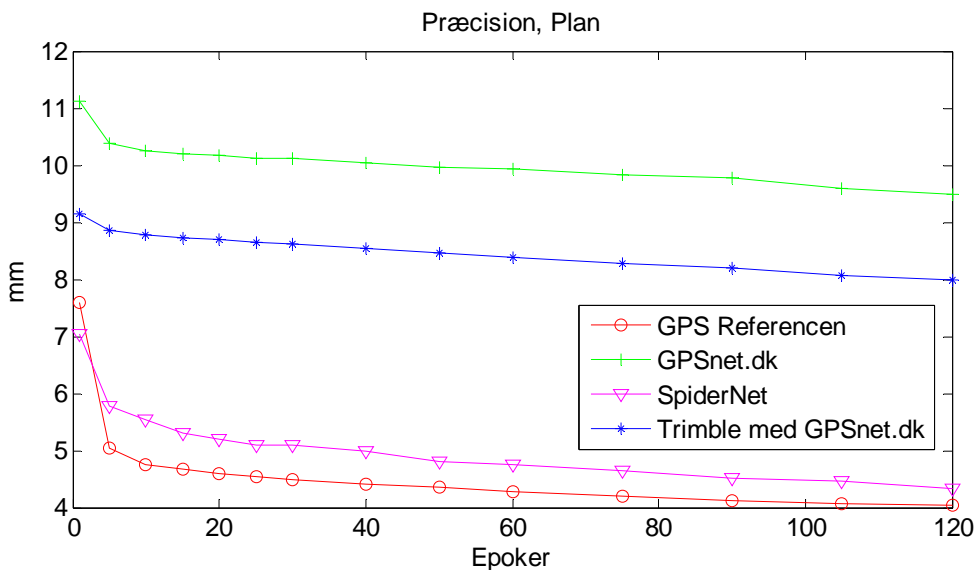
er over 5 cm. Derfor er der også beregnet en præcision af målingerne for at få et mere generelt billede. Tallene herfor kan ses i nedenstående Tabel 6.2 og i filen Præcision_samlet.txt i bilag E. Der er ligeledes lavet en graf over præcisionen, som kan ses i Figur 6.9 og Figur 6.10.

Epo- ker	GPS Referencen		GPSnet.dk ³		SpiderNet		GPSnet.dk ⁴	
	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]
1	7,58	12,68	11,12	19,78	7,05	12,37	9,14	14,85
5	5,04	7,92	10,37	18,49	5,77	9,95	8,86	14,46
10	4,76	7,38	10,26	18,30	5,55	9,46	8,78	14,35
15	4,66	7,20	10,20	18,21	5,31	8,94	8,73	14,27
20	4,59	7,09	10,18	18,15	5,21	8,72	8,69	14,21
25	4,55	7,02	10,13	18,12	5,10	8,50	8,65	14,15
30	4,50	6,94	10,11	18,03	5,10	8,56	8,61	14,11
40	4,42	6,81	10,03	17,95	4,99	8,31	8,53	14,00
50	4,36	6,71	9,95	17,86	4,80	7,99	8,47	13,89
60	4,28	6,66	9,94	17,67	4,76	7,96	8,39	13,82
75	4,21	6,47	9,82	17,57	4,65	7,71	8,27	13,69
90	4,12	6,33	9,77	17,27	4,51	7,54	8,19	13,51
105	4,06	6,23	9,59	17,14	4,46	7,36	8,07	13,36
120	4,03	6,21	9,49	16,91	4,33	7,20	7,98	13,33

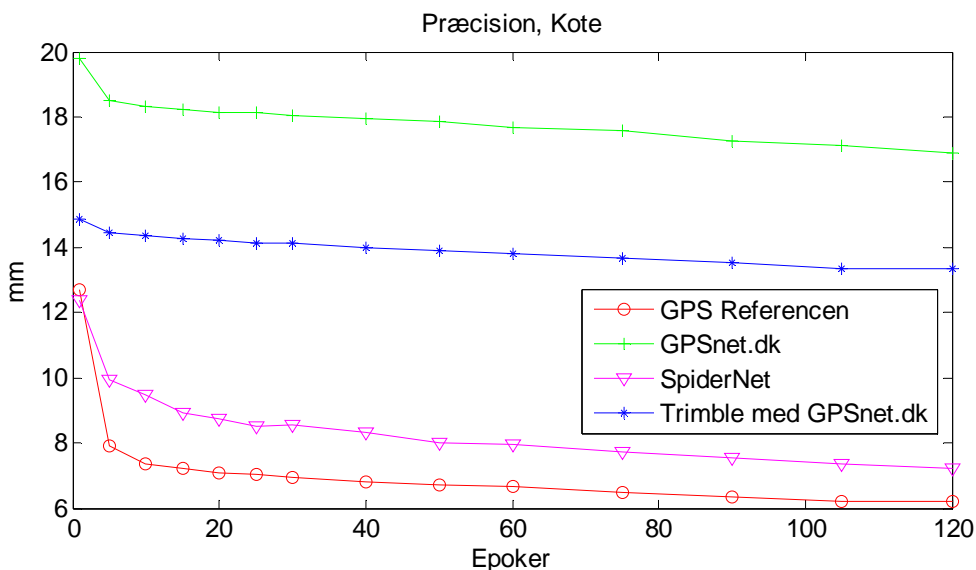
Tabel 6.2: Præcisionen opdelt efter antal epoker og referencetjeneste.

³ Leica 500

⁴ Trimble R8



Figur 6.9: Præcisionen i planen opdelt efter antal epoker og referencetjeneste.



Figur 6.10: Præcisionen i koten opdelt efter antal epoker og referencetjeneste.

6.5 Vurdering

Det ses i Figur 6.9 og Figur 6.10 at præcisionen af SpiderNet er god og de høje differencer, derfor ikke er gennemgående for alle målingerne. Det er kun GPS Referencen, som har en bedre præcision end SpiderNet.

GPSnet.dk er den eneste RTK-tjeneste, hvor der er målinger fra to forskellige fabrikanter GNSS-modtagere. Der er ikke nogen stor forskel i hvorledes graferne til de to modtagere arter sig, men præcisionerne med Trimble R8 er dog bedre end dem med Leica 500. Dette er imidlertid ikke en test af hvor god en præcision, der kan opnås, men en test af hvor længe der er en markant fordel ved at bruge flere epoker til hver måling. Derfor er det mere interessant hvorledes graferne arter sig. Ved begge måleserierne til GPSnet.dk sker forbedringen især fra 1 til 5 epoker. Ved GPS Referencen og SpiderNet går der lidt længere tid før grafen flader helt ud, men den største forbedring sker helt klart mellem 1 og 5 epoker. Dette stemmer godt overens med det Mads B. Knudsen fra DTU nåede frem til. Hans forsøg ledte ligeledes hen til, at den mest markante forbedring lå indenfor de første 5 epoker.

For alle de fundne præcisioner ses det at den største forbedring sker de første 5-10 epoker. Præcisionen bliver ved med at blive bedre, men forbedringen bliver klart mindre når der måles mere end 5, 10, 15 epoker.

Det ser ikke ud til, at præcisionen bliver signifikant bedre, fordi der måles i lang tid. De grove fejl som må opstå bliver bare bedre negligeret jo længere tid der måles. I de tidligere forsøg blev det fundet, at den optimale tid at måle er 5 og 15 epoker. Der er selvfølgelig en overvejelse som må gøres angående, hvor lang tid der kan måles i hvert punkt, hvor det stadig er rentabelt. Hvis der ses bort fra målingerne med SpiderNet er der ikke meget at vinde ved målinger på mere end 5 epoker når der kun ses på maksimumafvigelse. At maksimumsværdierne fra SpiderNet bliver ved med at være høje i lang tid, det hænger nok mere sammen med en længere dårlig periode, hvor dårlige målinger bliver ved med at give en stor afvigelse på trods af, at der bliver lavet et gennemsnit. Præcisionen bliver dog bedre ved at måle i lidt længere tid i op mod 15 epoker alt efter, hvor godt det skal være. Det vurderes derfor at det i dette projekt ikke kan betale sig at måle mere end 10 epoker i hvert punkt. 10 epoker svarer i dette projekt til 10 sekunder, da epokeintervallet er på 1 sekund.

7 Test med kommercielle RTK-tjenester

Denne test har til formål at undersøge, hvor god en præcision der kan opnås når der benyttes en kommerciel RTK-tjeneste. Der er her tale om enten GPS Referencen, SpiderNet eller GPSnet.dk. Testen skal kun afklare præcisionen af målingen. Der vil således ikke blive undersøgt, hvor god nøjagtigheden er.

Testen skal afklare, hvor god præcisionen er i forskellige afstande til den nærmeste referencestation. Derfor vil der blive etableret punkter i forskellige afstande til referencestationerne. Punkterne vil blive placeret med 5 km interval i afstanden fra 0-25 km for GPS Referencen og SpiderNet og 0-40 km for GPSnet.dk. Der vil blive målt med en Leica 500 og en Trimble R8, se bilag A.

Leica 500 vil foretage målinger med korrektionsdata fra RTK-tjenesterne: GPS Referencen, GPSnet.dk og SpiderNet. Trimble R8 skal foretage målinger med korrektionsdata fra RTK-tjenesterne: GPS Referencen, SpiderNet og GPSnet.dk med GPS og GPS/GLONASS. Således vil der tilsammen blive syv målesæt. Tabel 7.1 giver en oversigt over, hvilke RTK-tjenester de to GNSS-modtagere skal anvende. Efter punkterne er indmålt, vil der blive beregnet en præcision for planen og koten.

	Leica 500	Trimble R8
GPS	GPS Referencen	GPS Referencen
GPS	SpiderNet	SpiderNet
GPS	GPSnet.dk	GPSnet.dk
GPS/GLONASS	-	GPSnet.dk

Tabel 7.1: Oversigt over hvilke RTK-tjenester de to GNSS-modtagere skal anvende.

Fordelen ved at anvende to forskellige modtagere er, at det kan ses om, der er forskel mellem målingerne fra modtagerne. Hvis der ses en forskel mellem målingerne, hvor der benyttes samme RTK-tjeneste, da antages det at forskellen skyldes modtageren.

7.1 Resultater fra tidligere test

Der er lavet mange forskellige tests af de kommercielle RTK-tjenester. Her vises et lille udpluk af resultaterne fra tidligere rapporter. Det skal bemærkes, at ingen af de refererede tests definerer præcisionen i planen på samme måde, som der bliver gjort i denne rapport. Hvor der i denne rapport bruges formlen:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}}, \quad \text{hvor } \sigma_E \text{ og } \sigma_N \text{ er spredningerne på E- og N-koordinaten.}$$

Bruges der i de andre formlen:

$$\sigma_{Plan} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}, \quad \text{hvor } \sigma_E \text{ og } \sigma_N \text{ er spredningerne på E- og N-koordinaten.}$$

For at kunne sammenligne præcisionerne i planen med de tidligere værdier, skal de tidligere divideres med $\sqrt{2}$, eller resultaterne fundet i denne rapport skal ganges med $\sqrt{2}$. For at gøre sammenligningen lettere bliver præcisionerne i planen fra de tidligere rapporter skaleret. Tallene der bliver præsenteret her, er derfor mindre end dem, som står i de oprindelige rapporter.

KMS udførte i 2002 en test af netværks RTK og enkeltstations RTK, hvor de bl.a. testede standardafvigelsen som i denne test betegnes præcisionen. Til forsøget blev brugt en Trimble 5700 modtager. [Villadsen & Madsen 2003, s. 5]

Resultatet kan ses af Tabel 7.2 som en samlet værdi for henholdsvis GPSnet.dk og GPS referencen.

	GPSnet.dk	GPS Referencen
Præcision i planen	12 mm	14 mm
Præcision i koten	23 mm	28 mm

Tabel 7.2: Præcision (er skaleret). [Villadsen & Madsen 2003, s. 6 og s. 12]

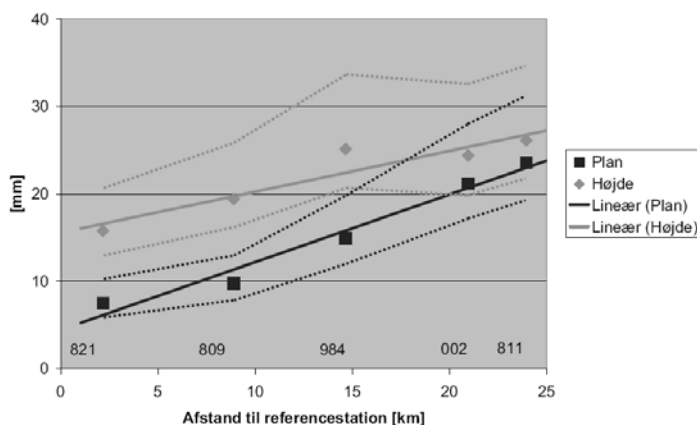
Datagrundlaget består af 180 målinger i en afstand på mellem 3 km til 30 km fra nærmeste referencestation. [Villadsen & Madsen 2003, s. 6 og s. 12]

I 2004 blev der på landinspektørstudiet lavet et afgangprojekt om RTK-tjenester i Danmark, hvor der bl.a. blev lavet en test af præcisionen. Til forsøget blev brugt en Leica 500 GPS-modtager. Resultatet kan ses af Tabel 7.3.

	GPSnet.dk	GPS Referencen
Præcision i planen	6 mm	11 mm
Præcision i koten	16 mm	22 mm

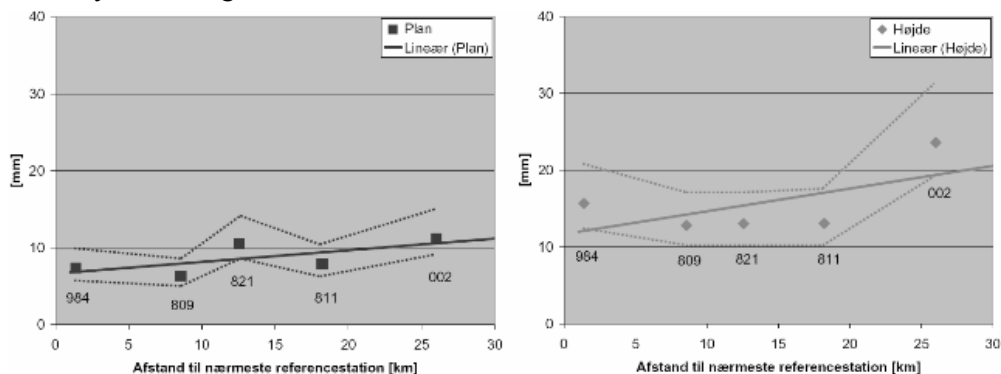
Tabel 7.3: Præcision (er skaleret). [Andkjær et al. 2004, s. 80-84]

I forbindelse med testen blev det undersøgt om præcisionen var afstandafhængig. Figur 7.1 viser, hvordan præcisionen for målinger foretaget med GPS Referencen er afstandafhængig. [Andkjær et al. 2004, s. 80-84]



Figur 7.1: Citat: Præcision af GPS Referencen i plan samt kote illustreret ved tendenslinjer. De stiplede streger viser konfidensintervallerne (ej skaleret). [Andkjær et al. 2004, s. 82]

På tilsvarende vis er der lavet en figur, der viser at præcisionen for målinger foretaget med GPSnet.dk. Der blev konkluderet at GPSnet.dk ikke var afstandafhængig. Når der imidlertid ses på graferne i Figur 7.2 for præcisionen i planen og koten kan det ses, at præcisionen bliver dårligere jo større afstanden bliver. Specielt i planen er indflydelsen dog ret lille, men den ser ud til at være der.



Figur 7.2: Den afstandafhængige fejl for præcisionen for planen (t.v.) og koten (t.h.) ved GPSnet.dk illustreret ved en tendenslinje. De stiplede streger viser konfidensintervallerne (ej skaleret). [Andkjær et al. 2004, s. 83-84]

Eftersom teknologien hele tiden udvikles bliver resultaterne for præcisionerne også løbende bedre.

I 2008 blev der på landinspektørstudiet lavet en mindre projektrapport på 9. semester om kombineret GNSS, hvor der bl.a. blev lavet en test af præcisionen, for at undersøge om resultatet blev bedre ved at medtage GLONASS. Der blev benyttet en Trimble R8 GNSS-modtager til testen. Resultatet kan ses af Tabel 7.4.

GPS			GPS/GLONASS		
σ_E	σ_N	σ_H	σ_E	σ_N	σ_H
5,2 mm	6,8 mm	15,3 mm	5,2 mm	6,9 mm	13,7 mm

Tabel 7.4: Præcisionen for GPS og GPS/GLONASS. [Christensen 2008, s. 34]

Denne test er baseret på et datagrundlag, som er opsamlet på et sted, og der er ikke set på RTK-tjenestens afstandsafhængighed. Data er indsamlet med GPSnet.dk. [Christensen 2008, s. 34]

7.2 Forberedelse af test

Testen omhandler, hvilken indflydelse afstanden har til referencestationen. Derfor vil der være placeret punkter i forskellige afstande til referencestationerne.

Statistiske beregninger

Igen ved denne test vurderes det hvor mange målinger der skal foretages for at det er statistisk forsvarligt. De statistiske beregninger bliver udført på samme måde som benævnt tidligere i afsnit 6.2.

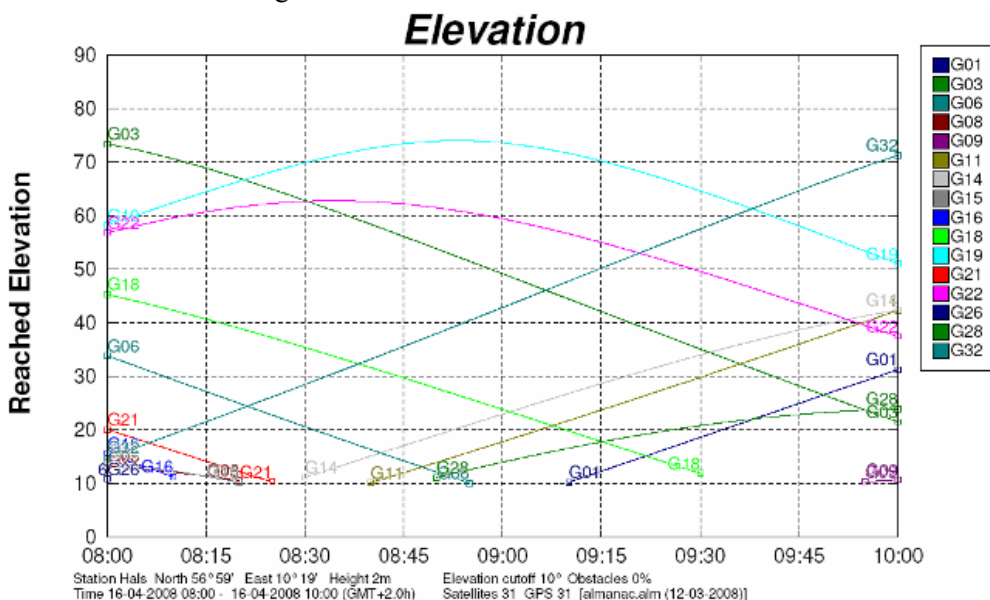
Det vælges at hvert punkt skal måles 52 gange hvilket giver $d = 51$ overbestemmelser ved hver af de syv målemetoder. Det giver en konfidensgrad på,

$$1 - \rho = 1 - \frac{1}{\sqrt{2d}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 51}} = 90,1\% .$$

Ved at måle punktet 4 gange i hver målerunde skal der måles 13 runder. Tidligere forsøg foretaget af KMS har vist, at målingerne er afhængige, når der ikke går lang nok tid mellem hver måling. Det skyldes primært at satellitkonstellationen ikke har ændret sig tilstrækkeligt. KMS henviser til et Australsk forsøg, som indikerer at der skal gå ca. 40 minutter mellem hver måling, for at de ikke længere er afhængige. Der er dog ikke tid til at vente så lang tid mellem hver enkelt måling, hvorfor der blot geninitialiseres, da KMS forsøget viste, at en ny initialisering gjorde målingerne mindre korrelerede. [Villadsen & Madsen 2002, s. 8] og [Villadsen & Madsen 2003, s. 16]

Andkjær m.fl. har også undersøgt hvor lang tid, der skal gå, inden to målinger ikke længere er korrelerede. De fandt, at der kun skulle gå 8-9 minutter. De test Andkjær m.fl. har lavet virker dog lidt usikre, og 8-9 minutter virker som meget kort tid. Modsat har KMS ikke lavet nogen kildehenvisninger til det Australske forsøg, hvorfor det ikke er muligt at undersøge under hvilke omstændigheder, det skulle gælde, eller hvorledes de er kommet frem til resultatet. [Andkjær et al. 2004, s. 98-101]

Da begge de nævnte rapporter ikke er tilstrækkelige til at fastslå et passende tidsrum, er der lavet en forsimplet undersøgelse. Målingerne er korrelerede, når satellitkonstellationen ikke er ændret tilstrækkeligt. Det antages da at konstellationen må siges at ændre sig, når der enten forsvinder eller dukker en ny satellit frem på himlen. For at undersøge dette blev en måledag ved gennemgået vha. programmet Trimble Office Planning, hvor der så kunne undersøges, hvor lang tid der gik mellem én satellit forsvandt eller kom frem. Nedenstående Figur 7.3 viser et eksempel på en af disse tidsperioder, der blev gennemgået. Det blev fundet, at der kun var to tidspunkter i løbet af dagen, hvor der ikke forsvandt eller kom en ny satellit frem inden for en halv time, og her kom perioden med de samme satellitter kun op på ca. 40 minutter. Derfor antages det at måleserierne ikke er korrelerede, hvis der går 30 minutter mellem målingerne.



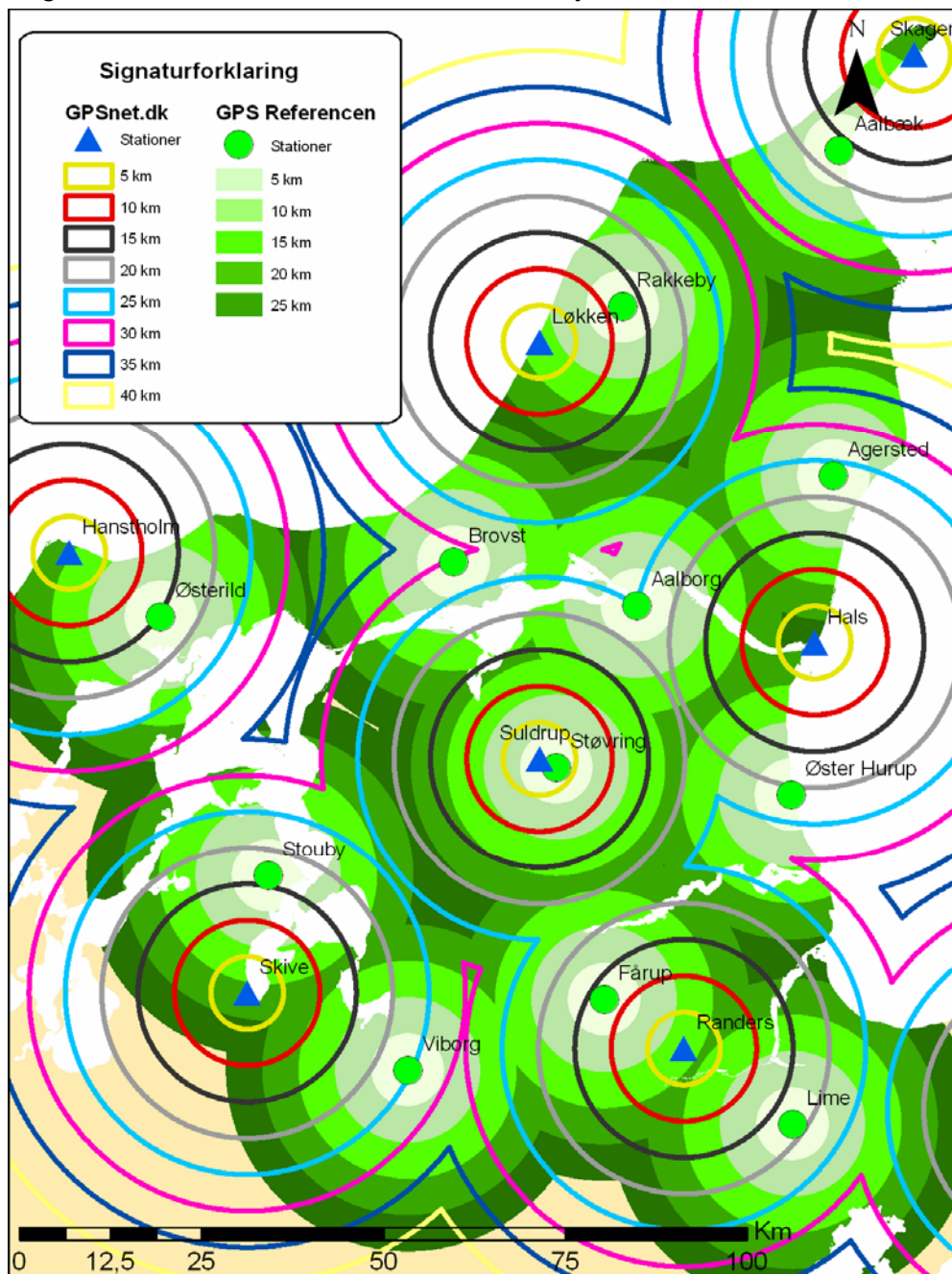
Figur 7.3: Eksempel på grafisk fremstilling af satellitelevationerne ved Hals.

Valg af område

Ved valg af testområde har der været flere kriterier, som er kommet med i vurderingen. Da testen går ud på at undersøge indflydelsen af afstanden til den nærmeste referencestation, er der derfor søgt et område med størst muligt afstand til en referencestation. Dette er for at få de mest ekstreme forhold med i undersøgelsen.

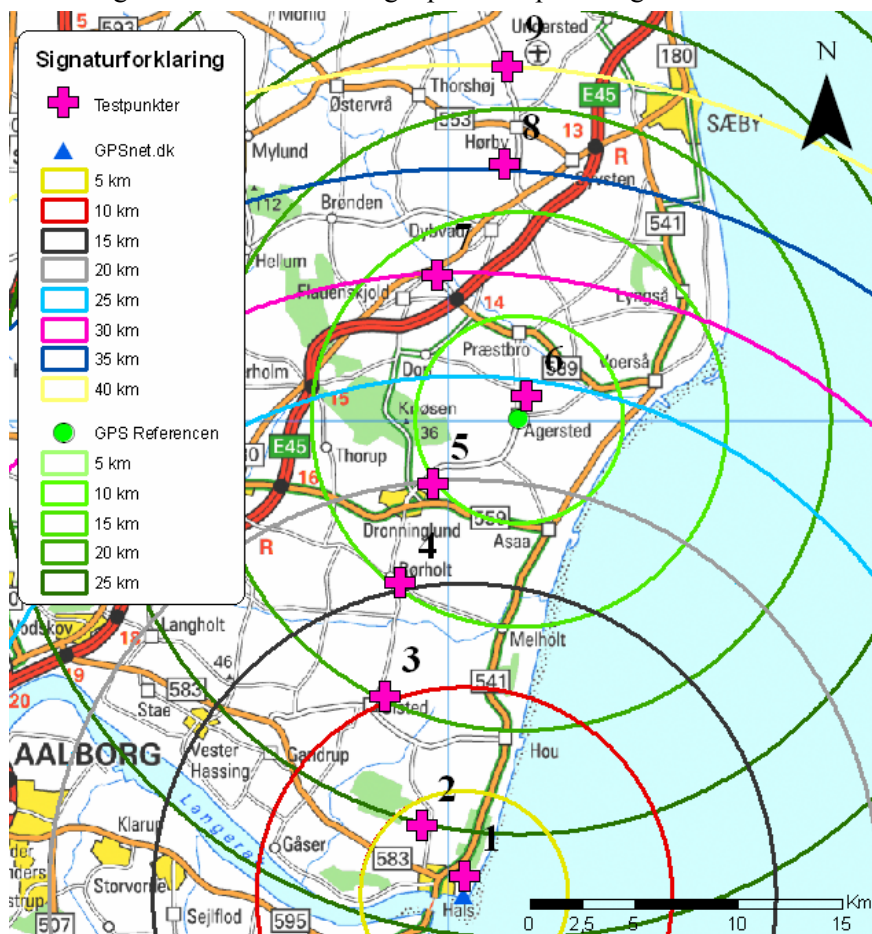
Derudover må området gerne ligge tæt på Aalborg Universitet, således at transporttiden til og fra testområdet bliver så lille som muligt. På Figur 7.4 nedenfor er vist de nærmeste referencestationer og afstandene til referencestationerne. Sidste krite-

rum for valg af område er, at vejnettet i testområdet gerne må være, så det er nemt at komme rundt til punkterne uden for store omveje. Ud fra disse kriterier er det valgt at testen skal udføres i området, fra Hals til syd for Frederikshavn.



Figur 7.4: Referencestationer fra GPS Referencen og GPSnet.dk, samt afstandene hertil. [Copyright Kort & Matrikelstyrelsen G 24-98]

I det valgte testområde skal det vurderes, hvordan et antal punkter skal fordeles. Med udgangspunkt i en GIS analyse der afspejles i Figur 7.4 hvor der er lavet en 5 km bufferanalyse. Her ses der på de steder hvor afstanden til GPS Referencen og GPSnet.dk skærer hinanden. Med afsæt i GPS Referencens referencestation i Agersted og GPSnet.dk's referencestation i Hals udvælges der 9 lokaliteter. Figur 7.5 viser et oversigtskort over de 9 udvalgte punkters placering.



Figur 7.5: Oversigtskort der viser de 9 udvalgte punkters placering. [Copyright Kort & Matrikelstyrelsen G 24-98]

Det er forsøgt bedst muligt at placere punkterne således at afstanden til referencestationerne forøges med 5 km ved hvert punkt. Men det er ikke altid muligt at placere punkterne med nøjagtig 5 km interval. Afstanden skal passe både til Hals og til Agersted. Samtidig gjorde forholdene i marken, at punktet ikke kunne placeres helt som ønsket. Tabel 7.5 nedenfor viser hvad afstandene rent faktisk blev.

Optimal afstand [km]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Afstand til Hals [km]	0,9	3,9	10,3	15,3	19,9	24,2	29,9	35,3	40,0
Afstand til Agersted [km]	1,2	5,1	9,7	14,8	20,1	22,1	-		

Tabel 7.5: Den ønskede afstand til referencestationerne og de reelle afstande.

Punkterne skal etableres, så de er stabile og veldefinerede. Derfor skal punkterne afmærkes med et jernrør med en bolt med en kørnerprik i.

Punktnummerstrategi

Der etableres ni punkter der hver skal besøges 13 gange, og hver gang skal der laves fire målinger. Dette gælder for både Leica 500 med tre forskellige RTK-tjenester og for Trimble R8 med fire forskellige RTK-tjenester.

Punkterne nummereres 1-9, hvor nr. 1 er tættest på GPSnet.dk referencestationen i Hals, således at punktnumrene stiger jo længere væk fra Hals de er. Det betyder også, at numrene stiger i takt med, at de kommer tættere på GPS Referencens referencestation i Agersted. Dette er vigtigt at holde in mente, da præcisionerne ved det enkelte punkt således ikke kan sammenlignes. Selvom de er målt samme sted har de ikke samme afstand til den nærmeste referencestation. Tabel 7.6 viser en oversigt over, hvad punkterne i de forskellige afstande får af nummer.

Punkt nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Afstand til Hals [km]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Afstand til Agersted [km]	25	20	15	10	5	0	-		

Tabel 7.6: Punktnumre for test med kommercielle RTK-tjenester.

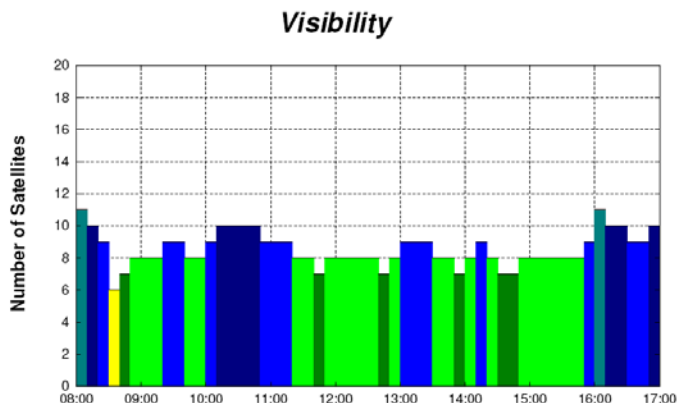
Herudover skal hele punktnummeret gives efter afstand til Hals og målingens nummer. Eksempelvis vil punktet tættest ved Hals ved den anden måling hedde 102, og ved tolvte måling vil den hedde 112.

På GNSS-modtagerne bliver der lavet et job for hver RTK-tjeneste. Herved er der hele tiden overblik over hvilke punkter, der er målt.

Kontrol af satellitforhold

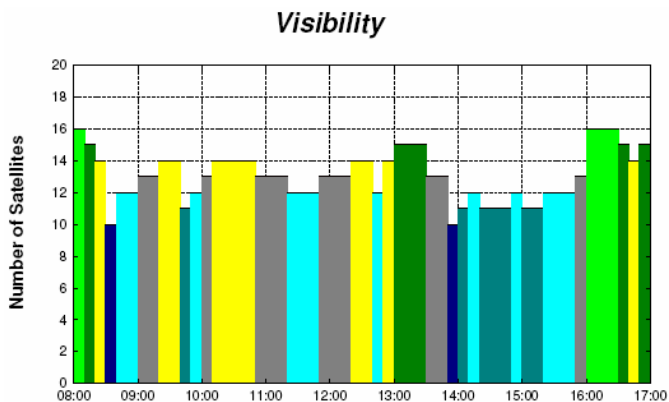
For at sikre gode måleforhold blev satellitforholdene kontrolleret, inden målingerne blev foretaget. I dette tilfælde blev programmet Trimble Office Planning brugt til at undersøge satellitforholdene. Satellitter under en elevationsvinkel på 10° blev ikke medtaget. Nedenstående Figur 7.6 viser antallet af synlige GPS satellitter ved punkt

1 i Hals. Det ses at der over hele dagen er mindst 6 GPS satellitter. For de øvrige testområder ses et tilsvarende billede.



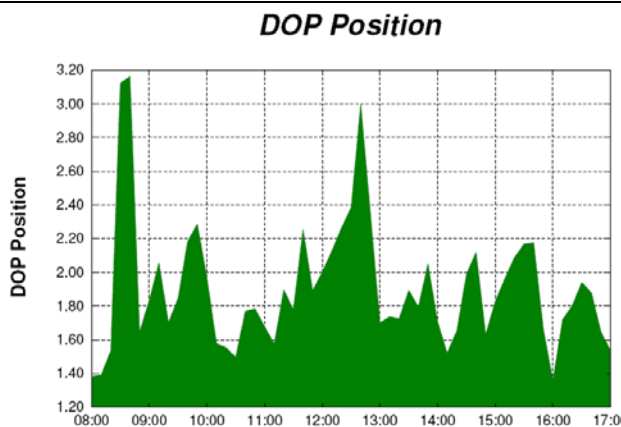
Figur 7.6: Antal synlige GPS satellitter den 15. april 2008 (ved N 56°59' E 10°19').

Ses der på antallet af synlige satellitter når GLONASS satellitterne også tælles med, da når antallet op på mindst 10 satellitter.



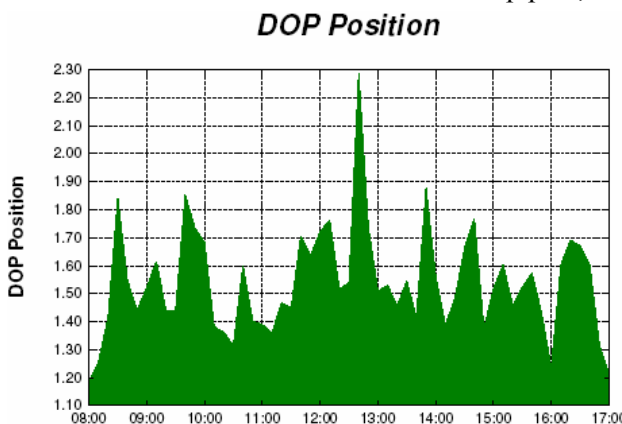
Figur 7.7: Antal synlige GPS og GLONASS satellitter den 15. april 2008 (ved N 56°59' E 10°19')

Figur 7.8 viser PDOP værdien for GPS satellitterne ved punkt 1 i Hals. Det kan ses at PDOP værdien maksimalt kommer op på 3,2, hvilket skulle give gode målinger.



Figur 7.8: PDOP for GPS satellitter den 15. april 2008 (ved N 56°59' E 10°19').

På tilsvarende vis kan der ses på PDOP værdien, når GLONASS satellitterne også er taget med. Herved kommer PDOP værdien maksimalt op på 2,3.



Figur 7.9: PDOP for GPS og GLONASS satellitter den 15. april 2008 (ved N 56°59' E 10°19').

Leica 500 mangler en software opdatering, hvilket betyder at når der modtages signal fra GPS satellit 32, kan der ikke opnås en god nøjagtighed. Derfor er det nødvendigt at deaktivere satellit 32 i Leica 500. GPS satellit 32 er synlig i tidsrummet ca. fra kl. 8 til 13. Herved bliver antallet af satellitter på mindst 6 og PDOP på maksimalt 3,4. Leica 500 får altså én satellit mindre end Trimble R8 til at bestemme positionen ud fra. Det er valgt ikke at deaktivere denne satellit på Trimble R8, da det vil forringe dennes positionsbestemmelse.

Det kan ud fra disse oplysninger antages, at der er gode satellitforhold for GPS og GPS/GLONASS målinger.

De følgende dage hvor der også skal måles, er satellitforholdene tilsvarende. Dog er der sket et ryk 4 minutter pr. dag, da stjernedøgnet er på ca. 23 timer og 56 minutter.

Verificering af udstyr

Inden testen går i gang skal udstyret kontrolleres, for at sikre at det er i orden.

Både for Leica 500 og Trimble R8 kontrolleres at instrumenternes indstillinger er som de skal være. Libellerne undersøges om de spiller ind når stokkene står i lod og antennestokkene kontrolleres med et snorlod for at se de er rette.

7.3 Markarbejde

Det første der skal ske ved markarbejdets start, er at punkterne skal etableres. Til etablering af punkterne var det planlagt, at alle punkterne skulle markeres med et jernrør isat en bolt med en kørnerprik i. Ved enkelte af punkterne var jorden dog så løs, at jernrøret ikke sad ordentlig fast, hvorfor der her blev brugt en træpløk med en skrue i toppen til markering af målepunktet.



Figur 7.10: Billedet t.v. viser et punkt hvor der er benyttet et jernrør mens t.h. en træpløk.

Elevationsvinklen blev ved begge instrumenter sat til 10° . Hver måling består af 10 epoker jf. afsnit 6. Alle målingerne vil blive præcenteret i UTM32/ETRF89 og DVR90.

Når punkterne blev målt, så blev GNSS-modtageren opstillet i punktet vha. et stokkestativ. Herefter måles punktet fire gange hvor der geninitialiseres før hver måling, og antennestokken blev frigjort fra stokkestativet og indstillet på ny. Denne målerutine gennemføres med hver RTK-tjeneste og modtager, hvilket giver syv sæt måledata. Ved punkterne 1 til 6 blev vi stående ved det samme punkt hele dagen. Idet vi kun skulle vente 30 minutter, før målingerne ikke var korrelerede, så kunne det tidsmæssigt ikke betale sig at køre mellem punkterne. Ved punkterne 7 til 9 skulle

der imidlertid ikke måles til GPS Referencen og SpiderNet, så her skulle der kun måles én gang med Leica 500, og to gange med Trimble R8. Derfor kørte vi mellem punkterne, og de tre sidste punkter kunne da måles på to dage, i stedet for tre.

Evt. bemærkninger til målingerne blev noteret i målebogen, som kan ses i bilag F.

Den første måledag var ved punkt 1. Der er ingen målinger med GLONASS ved punkt 1, idet der fra universitetets side blev oplyst, at det var samme telefonnummer som skulle bruges, når der skulle ringes op til GPSnet.dk med og uden GLONASS. Denne fejl blev først opdaget på anden måledag, hvorfor punkt 1 er det eneste punkt uden målinger med GLONASS.

Ved punkt 8 og 9 som er de to punkter fjernest fra GPSnet.dk's station i Hals, var der problemer med, at 3D-kvaliteten ved Leica 500 ikke var god nok. Den lå på ca. 4-9 cm det meste af tiden. Der blev som nævnt kørt mellem de tre sidste punkter 7-9, og de blev herved målt på de samme to dage. Der kunne således ikke være noget i vejen med selve måledagen eller opsætningen på GPS-modtageren, da der ikke var nogle problemer med punkt 7, og problemet var desuden det samme begge dage. Hvorudover var der heller ikke problemer med Trimble R8 ved nogle af de tre sidste punkter. Ved punkterne 7-9 blev der som nævnt kun målt med GPSnet.dk. For at kontrollere at det ikke bare var GPSnet.dk, der var noget i vejen med blev der ringet op til GPS Referencen og SpiderNet, som havde de samme problemer. Der er kun ca. 15 km til GPS Referencens station i Agersted. Det skal derfor nævnes, at der ikke var noget i vejen med Trimble R8, så det vurderes at det heller ikke var GPSnet.dk's skyld. Det har således ikke været muligt at vurdere, hvad der gav den dårlige nøjagtighed, og målingerne bliver ind til videre brugt ved databearbejdningen.

7.4 Databearbejdning

Hvert punkt er målt 52 gange med hver RTK-tjeneste. Til hvert punkt bliver der beregnet syv middelkoordinater, én for hver referencetjeneste. På nær ved punkt 7-9 hvor der kun beregnes 3 middelkoordinater, da der ikke er målt med GPS Referencen eller SpiderNet. Ud fra middelkoordinaten kan der beregnes en spredning i planen og koten, og der vil til sidst kunne laves grafer til at vurdere resultatet ud fra.

Ved punkt 1 blev der som nævnt ikke målt med GLONASS. Derudover mangler punkt 136 og 808 ved GPSnet.dk med Trimble R8, formentlig pga. en brugerfejl. Punkt 101, 105-108 er fjernet ved SpiderNet med Trimble R8, da nærmere granskning af opmålingsrapporten viste, at nøjagtigheden ved disse 5 punkter var for dårlig.

Bearbejdning

Filerne med måledata er opdelt efter referencetjenesterne og kan ses i bilag F. Der bliver først beregnet en middellokoordinat for hver referencetjeneste og GNSS-modtager. Det giver således syv sæt middellokoordinater. Herefter kan der beregnes en præcision for hver referencetjeneste, som er opdelt efter afstanden til referencestationen.

Tidligere i afsnit 6 blev middellokoordinaterne fra Leica modtagerne sammenlignet, og der blev fundet en tydelig forskel i koten mellem GPSnet.dk og SpiderNet på 23 mm.

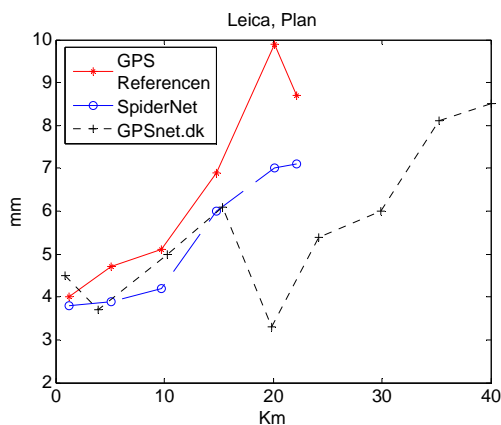
I filen: Sammenligning af middellokoordinater.txt som kan ses i bilag C, er der lavet en sammenligning af de beregnede middellokoordinater. For at gøre tallene mindre og dermed mere overskuelige er der beregnet et middel af middellokoordinaterne for alle punkterne, som er blevet trukket fra de enkelte middellokoordinater. Der er således bare fratrukket en konstant for at gøre tallene lettere at sammenligne.

Det ses at ved de fleste punkter er der store forskelle i middellokoordinaterne på omkring 2 cm. Det svinger lidt, men det er enten N eller H, som har den største difference, hvilket ikke er så underligt, idet E-koordinaten oftest er bedst bestemt. Når målingerne målt med samme referencetjeneste, men med forskellige GNSS-modtagere, sammenholdes bliver forskellene meget mindre. Det tyder derfor på, at selvom modtageren har noget indflydelse på forskellene, så er den største faktor valget af referencetjeneste.

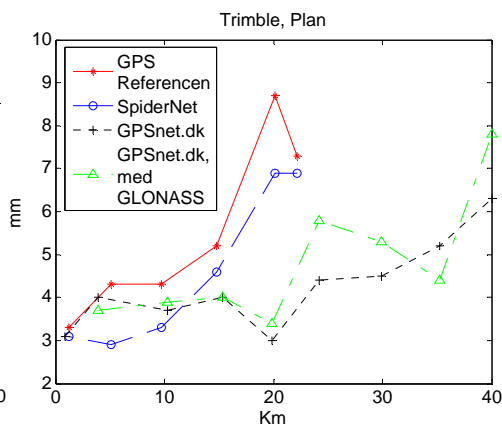
Nedenstående Figur 7.11 til Figur 7.14 viser præcisionen for de to GNSS-modtagere i planen og koten. GPS Referencen er den, som har den dårligste præcision, det meste af tiden. Derefter kommer enten SpiderNet eller GPSnet.dk. Det ser ud til, at SpiderNet er bedst indenfor korte afstande på 5-10 km, hvorefter GPSnet.dk bliver bedre. Beregningerne og filerne hertil kan ses i bilag F.

Der er enkelte punkter, som ser ud til at være behæftet med fejl. De to sidste punkter ved GPSnet.dk målt med Leica tager et stor spring, hvilket også var forventet, da 3D kvaliteten som blev angivet var meget dårlig. Derudover stiger det sidste eller to sidste målinger med SpiderNet en del, hvilket især er gældende for dem målt med Trimble. Det forsøges derfor at fjerne evt. grove fejl ved at sortere alle målinger fra, hvor afstanden til middellokoordinaten er mere end tre gange spredningen.

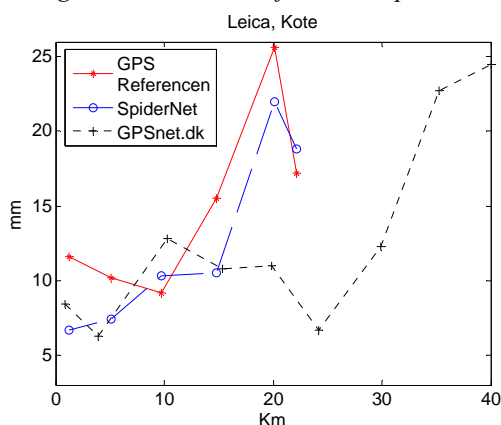
Test med kommercielle RTK-tjenester



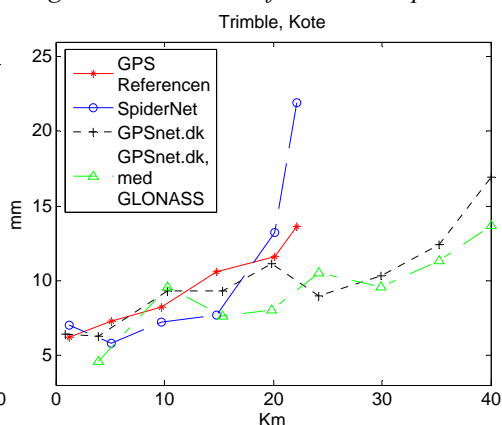
Figur 7.11: Præcision for Leica i planen.



Figur 7.12: Præcision for Trimble i planen



Figur 7.13: Præcision for Leica i koten.



Figur 7.14: Præcision for Trimble i koten.

Der er således blevet fjernet mellem 0 og 3 målinger ved hvert punkt. Punkt 1 med SpiderNet målt med Trimble fik fjernet to punkter, men havde i forvejen fået fjernet fem punkter, og er således den med færrest målinger nemlig 45. Med hensyn til konfidensgraden betyder det, at den kommer ned på 89,3 % i stedet for 90 %, som var planlagt. De 0,7 procentpoint anses for at være ubetydeligt.

De nye tal for præcisionen kan ses i nedenstående Tabel 7.7 og Tabel 7.8, samt i bilag F i filerne Præcision_Leica.txt og Præcision_Trimble.txt sammen med beregningerne.

Pkt. nr.	GPS Referencen		SpiderNet		GPSnet.dk		GPSnet.dk med GLONASS	
	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]
1	7,3	13,6	6,4	18,4	3,0	5,8		
2	8,7	11,6	6,3	13,3	4,0	6,3	3,7	4,6
3	5,2	10,6	4,6	7,7	3,7	9,3	3,9	9,6
4	4,3	8,2	3,3	7,2	4,0	9,3	4,0	7,6
5	4,3	7,3	2,8	5,7	3,0	11,1	3,4	8,0
6	3,2	5,3	3,0	6,7	4,3	8,9	5,8	10,5
7					4,5	10,3	5,3	9,6
8					4,8	12,1	4,4	11,3
9					6,3	16,9	7,8	13,7

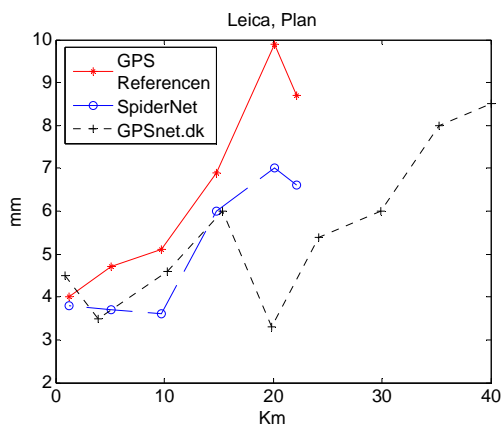
Tabel 7.7: Præcision for Trimble (uden grove fejl).

Pkt. nr.	GPS Referencen		SpiderNet		GPSnet.dk	
	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]	Plan [mm]	Kote [mm]
1	8,7	17,2	6,6	13,8	4,5	8,4
2	9,9	25,6	7,0	20,0	3,5	5,7
3	6,9	15,5	6,0	10,5	4,6	12,6
4	5,1	9,2	3,6	8,3	6,0	10,8
5	4,7	10,2	3,7	7,4	3,3	11,0
6	4,0	11,6	3,8	6,7	5,4	6,7
7					6,0	12,3
8					8,0	22,7
9					8,5	24,5

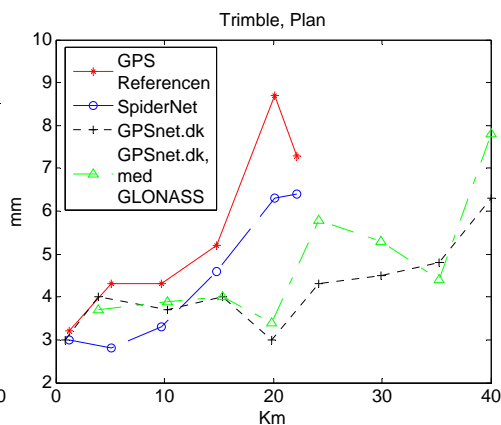
Tabel 7.8: Præcision for Leica (uden grove fejl).

I nedenstående Figur 7.15 til Figur 7.18 vises præcisionerne, hvor de grove fejl er sorteret fra. Det er især målingerne med SpiderNet i koten, som har ændret sig. Ved de andre er præcisionen højest blevet et halv millimeter bedre. Ved SpiderNet virker det til, at målingerne ved punkt 1 især har været dårlige. Her er præcisionen blevet 5 mm bedre ved Leica modtageren og 3,5 mm ved Trimble modtageren i koten.

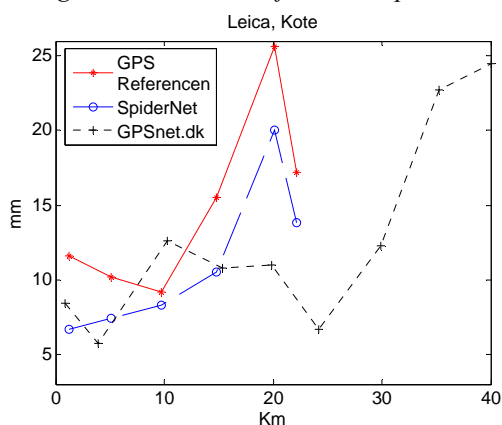
Test med kommercielle RTK-tjenester



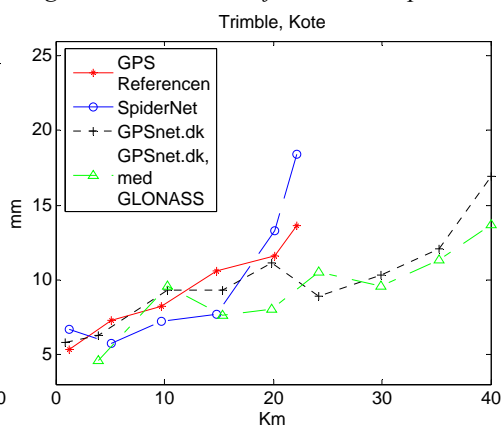
Figur 7.15: Præcision for Leica i planen.



Figur 7.16: Præcision for Trimble i planen.

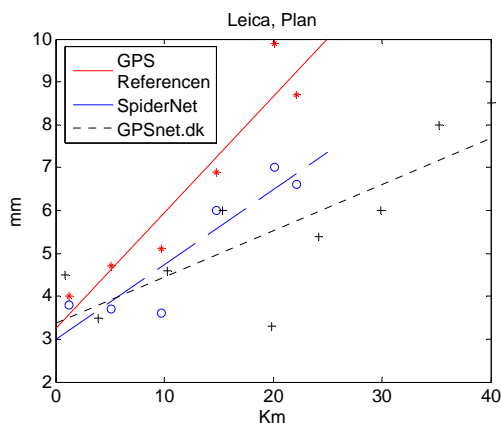


Figur 7.17: Præcision for Leica i koten.

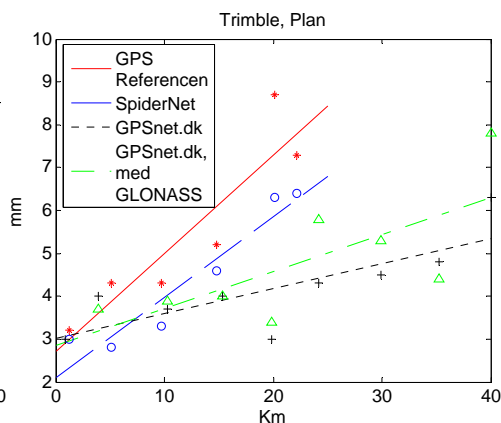


Figur 7.18: Præcision for Trimble i koten.

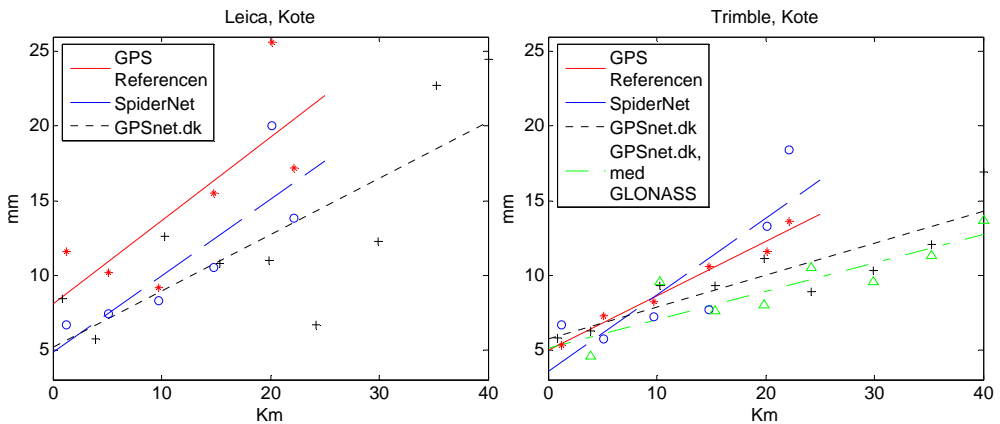
Figur 7.19 til Figur 7.22 viser en lineær approksimation af målingerne. Liniernes ligning kan ses i filen Lineær approksimation.txt i bilag F.



Figur 7.19: Lineær approksimation for Leica.



Figur 7.20: Lineær approksimation for Trimble.



Figur 7.21: Lineær approksimation for Leica. Figur 7.22: Lineær approksimation for Trimble.

7.5 Vurdering

Ud fra graferne ser det ud til, at alle referencetjenesterne er afhængige af afstanden til den nærmeste referencestation i større eller mindre grad. Ved de fleste ligger SpiderNet en smule bedre end GPSnet.dk på de første 5-8 km. Derefter bliver GPSnet.dk bedre, da det ikke ser ud til, at den er påvirket af afstanden til den nærmeste referencestation i samme grad som SpiderNet. GPS Referencen kan derimod kun konkurrere inden for meget korte afstande på under 5 km.

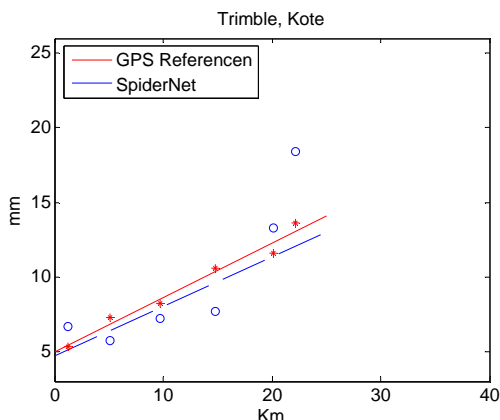
Det er ligeledes værd at bemærke, at GPSnet.dk med GLONASS kun er bedre end GPSnet.dk uden GLONASS i koten. Dette stemmer nogenlunde overens med det tidligere forsøg udført på landinspektørstudiets 9. semester i 2008, hvor det blev fundet, at præcisionen i planen ikke bliver bedre af at bruge GLONASS. Fordelen ved at bruge GLONASS er derimod, at der kan måles på tidspunkter og på steder, hvor det eller ikke var muligt pga. for få satellitter. [Johnsson & Wallerström 2007, s. 37]

Generelt er målingerne foretaget med Trimble modtageren bedre end dem med Leica modtageren. Dette er dog ikke så overraskende, da Leica modtageren fik fjernet én satellit, desuden er softwaren og hardwaren i Trimble modtageren meget nyere end den i Leica modtageren. Spørgsmålet er, om der var nogen nævneværdig forskel, hvis der var benyttet en nyere Leica modtager f.eks. en Leica 1200.

Den eneste graf som overrasker, er den lineære approksimation for SpiderNet vist på Figur 7.22. Denne skærer linien for GPS Referencen ved omkring 10 km fra referencestationen. Det findes meget usandsynligt at SpiderNet skulle være dårligere end GPS Referencen på længere afstande, så grunden hertil skal nok findes andetsteds. Det er tidligere antydnet, at det fjerneste punkt (punkt 1) ikke har særlig gode

Test med kommercielle RTK-tjenester

målinger. Nedenstående Figur 7.23 viser den lineære approksimation for GPS Referencen og SpiderNet, hvor det fjerneste punkt ikke er taget med i beregningerne. Dette menes at give et mere sandsynligt billede af, hvordan det forholder sig. Derfor vil det sidste punkt (punkt nr. 1) blive fjernet fra den endelige løsning.



Figur 7.23: Lineær approksimation for Trimble, hvor det fjerneste punkt (punkt 1) ved SpiderNet ikke er taget med i beregningerne.

I nedenstående Tabel 7.9 står præcisionerne fordelt efter referencestationerne. Tallene er dem fundet ved Trimble R8 og ikke Leica 500, da målingerne med Trimble R8 var de bedste.

Reference-tjeneste	Plan		Kote	
	Grundfejl [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]	Grundfejl [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]
GPS Referencen	2,7	0,23	5,0	0,36
SpiderNet	2,1	0,19	4,7	0,33
GPSnet.dk	3,0	0,06	5,7	0,21
GPSnet.dk med GLONASS	2,9	0,09	5,1	0,19

Tabel 7.9: Grund- og afstandsafhængig fejl ved test af præcision med Trimble R8.

I forhold til de to tidligere test udført af KMS og Andkjær m.fl. ser det i første omgang ud til, at præcisionen er blevet en del bedre. Men som vores egne tal viser, så har valg af GNSS-modtager stor betydning for den opnåede præcision. KMS bruger den lidt ældre Trimble 5700, mens Andkjær m.fl. bruger en Leica 500. Hvor god Trimble 5700 er i forhold til en Leica 500, eller en Trimble R8 er svært at sige, da den ikke har været med i denne test. Det er dog værd at bemærke, at KMS finder at

GPSnet.dk er bedre end GPS Referencen. Det samme bliver fundet ved testen i denne rapport, og forskellen bliver større jo længere væk fra referencestationen der måles.

Tallene fra Andkjær m.fl. er på baggrund af målinger foretaget med en Leica 500. Holdes tallene op mod præcisionerne fundet i denne test med en Leica 500 kan det ses, at præcisionen er blevet bedre. Hvad det skyldes er vanskeligt at sige. I og med den fundne præcision er et øjebliksbillede for et bestemt sted på et bestemt tidspunkt osv., så er det svært at sige om den generelle præcision af GPS-målinger, dermed er blevet bedre.

Andkjær m.fl. konkluderede at GPS Referencen var afstandsafhængig men at GPSnet.dk ikke var afstandsafhængig. Med hensyn til GPS Referencen stemmer deres konklusion godt overens med, hvad der kan ses ved målingerne i denne test. GPS Referencen er den, som bliver mest påvirket af den øgede afstand. Andkjær m.fl. mener dog ikke, at GPSnet.dk kunne siges at være afstandsafhængig. Præcisionerne fundet i denne test viser dog, at præcisionen bliver dårligere med den øgede afstand, om end i mindre grad end GPS Referencen. Især koten ser ud til at blive påvirket, hvilket stemmer overens med graferne i Figur 7.2, som er fra Andkjærs rapport. Ud fra graferne ser det ud til, at GPSnet.dk bliver påvirket af afstanden i mindre grad i planen og større grad i koten.

Det ses at SpiderNet er bedst ved korte afstande. GPSnet.dk med GPS er bedst i planen fra 7 km, og GPSnet.dk med GPS/GLONASS er bedst i koten fra 3 km.

8 Test med egen RTK-basestation

Denne test har til formål at undersøge præcisionen for planen og koten, når der bliver anvendt RTK GPS eller GPS/GLONASS målinger samt egen basestation. Derudover vil der også blive undersøgt nøjagtigheden i koten.

Ifølge interviewene med Peter Jensen og Mads Hvolby fik målingerne en bedre præcision i koten ved at anvende egen basestation. Det er den kortere afstand til basestationen, der gør kvaliteten af målingen bedre. Derfor er det interessant at finde ud af, hvor god præcisionen er, og senere sammenholde resultaterne med afsnit 7, hvor afstandsafhængigheden med de forskellige kommercielle RTK-tjenester er testet.

I testen undersøges hvad afstanden til basestationen har af betydning. Området hvor testen skal gennemføres, skal mindst have et omfang, der svarer til et stort byggeområdes område. I eksempelvis byggeområdes områder etableres ofte hovedpunkter. I sådanne tilfælde kræves en god indbyrdes nøjagtighed mellem punkterne.

Testen skal foregå ved at der opstilles en basestation, hvorfra roveren får korrektionsdata. Der bliver så målt med to forskellige sæt GNSS-modtagere, en Leica 500 og en Leica 1200 til punkterne der er etableret i forskellige afstande til masteren. En præsentation af GNSS-modtagerne kan ses i bilag A. Leica 1200 skal lave et sæt målinger, hvor der kun benyttes GPS satellitter, og et sæt hvor der benyttes GPS/GLONASS satellitter. Leica 500 skal kun lave et sæt hvor der benyttes GPS satellitter. Ud fra målingerne beregnes en præcision for planen og koten. For at kunne undersøge nøjagtigheden af koten, så bliver der nivelleret mellem punkterne for at kende punkternes indbyrdes kotedifference.

Da Leica 500 kun skal lave halvt så mange målinger som Leica 1200, vil den blive hurtigere færdig. Der vil derfor blive lavet en supplerende test, hvor der vil blive målt til punkter i forskellig afstand af masterstationen med samme initialisering. Dette bliver gjort for at undersøge om, der sker en forringelse af præcisionen eller nøjagtigheden ved at bevæge sig væk fra stedet, hvor der blev initialiseret.

8.1 Resultater fra tidligere test

I 2007 blev der på landinspektørstudiet udarbejdet en projektrapport på 7. semester, som omhandlede kombineret GNSS, hvor der bl.a. blev lavet en test af præcisionen. Dette blev gjort for at undersøge, hvorvidt resultatet blev bedre ved at medtage GLONASS. Til forsøget blev brugt to Trimble R8 GNSS-modtagere. Resultatet kan ses af Tabel 8.1.

	σ_E [mm]	σ_N [mm]	σ_Z [mm]
GPS	2	4	6
GPS/GLONASS	3	5	7

Tabel 8.1: Præcision for GPS og GPS/GLONASS. [Madsen et al. 2007, s. 40]

Datagrundlaget er indsamlet på baggrund af målinger med egen basestation, hvor der var 1 m mellem master og rover. [Madsen et al. 2007, s. 32]

8.2 Forberedelse af test

Dette afsnit har til formål at dokumentere de overvejelser, der er gjort inden testen med egen basestation. Forberedelserne til testen er for at sikre at de resultater, der produceres er af en sådan kvalitet, at de kan bruges i det videre projektarbejde.

Til testen skal der anvendes to Leica 500 modtagere og to Leica 1200 modtagere. Parvis skal de sættes op til at være base og rover. Leica 500 kan kun måle til GPS satellitterne, mens Leica 1200 også kan måle til GLONASS satellitterne. Derfor skal testen opbygges således at der fremstilles tre data set. Ét hvor det er Leica 500 der måler til GPS satellitterne, ét hvor det er Leica 1200 der måler til GPS satellitterne og også ét hvor GLONASS satellitterne inddrages. Tabel 8.2 viser en oversigt over hvilken GNSS-modtager, der skal måle til hvilket GNSS system.

GNSS system	Leica 500	Leica 1200
GPS	X	X
GPS/GLONASS	-	X

Tabel 8.2: Oversigt over hvilke GNSS-modtagere der måler til hvilket GNSS system.

Datalinket mellem base og rover sættes op til at være en GSM forbindelse. Det vil sige, at det er mobiltelefoner, der sender og modtager data.

Sendes signalet via en radioforbindelse er forbindelsen meget afhængig af afstanden mellem base og rover, samt evt. forhindringer så som træer, bygninger osv. Fordelelen ved dette datalink er, at transmissionen er gratis, dog koster licensen til en bestemt frekvens et årligt gebyr. [BEK nr. 1529 af 14/12/2006]

Statistiske beregninger

Som det var tilfældet ved testen af observationstiden kan antallet af målinger beregnes, så testen er statistisk forsvarlig. Da beregningsmetoden er helt tilsvarende den benyttet i afsnit 6.2, så vil den ikke blive gennemgået igen.

Her sættes $\rho = 10\%$ hvilket kræver $d = 50$ overbestemmelser pr. punkt. For at denne statistiske beregning er i overensstemmelse med teorien, så skal målingerne være

uafhængige. Ifølge afsnit 7.2 skal der dog gå 30 minutter mellem hver måling, for at de ikke er korrelerede. Det må antages, at målingerne bliver uafhængige når der laves en ny initialisering af GNSS-modtageren. Denne antagelse er nødvendig, således at de statistiske beregninger kan laves.

Der måles 4 gange, hver gang et punkt besøges og det bliver besøgt i alt 13 gange. Dette giver dog 51 overbestemmelser, hvilket betyder et konfidensgrad på 90,1 %.

Valg af testområde, antal og etablering af målepunkter

Testområdet skal have en udstrækning der svarer til et stort byggemodningsområde. Det vil sige at området mindst skal være 2-2,5 km.

Af praktiske og tidsbesparende grunde vælges der et testområde der ligger i nærheden af Aalborg. I området øst for Aalborg mellem Klarup og Storvorde er terrænet fladt, og der er en cykelsti på den gamle banestrækning, hvorpå testen kan gennemføres relativt uforstyrret. Figur 8.1 giver en oversigt over, hvor testområdet er beliggende.



Figur 8.1: Den røde kasse markerer testområdet, der ligger mellem Klarup og Storvorde. Baggrunds kort fra [Krak.dk 2008]

Målepunkterne kan fordeles på mange måder. Derfor tages der udgangspunkt i at punkterne skal fordeles, som det kunne tænkes i et byggemodningsområde. Ikke alle byggemodningsområder er lige store, men det antages at de fleste målinger lig-

Test med egen RTK-basestation

ger inden for korte afstande af masterstationen. Derfor vil punkterne der skal måles til, således blive placeret med kortere afstand tættest på masterstationen, og med større afstand jo længere væk de er.

Der blev opstillet flere muligheder for fordelingen af punkterne. Tabel 8.3 viser en oversigt over de overvejelser angående, hvilke afstande der kan måles i. Gennemgående for alle sammen er at afstanden mellem punkterne øges med afstanden til masterstationen.

Punkter	Afstand																Antal punkter		
	0 m	50 m	100 m	200 m	250 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	750 m	800 m	900 m	1000 m	1250 m	1500 m		1750 m	2000 m
X	X	X	X			X	X	X			X			X		X		X	11
X	X	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	16
X	X	X		X				X			X			X	X	X	X	X	11
X	X	X	X			X	X	X			X			X	X	X	X	X	13

Tabel 8.3: Overvejelserne for ved hvilke afstande der skal etableres målepunkter.

Valget faldt på den metode, der fordeler 13 punkter over de 2 km. Her bliver fordelingen den, at inden for den første 0,5 km bliver der målt mindst ved hver 100 m, og herefter ved hver 250 m.



Figur 8.2: Oversigt over planlagt punktfordeling i testområdet. Baggrunds kort fra [Danmarks Miljøportal 2008]

Denne fordeling af punkterne er vejledende. og det er forholdene i marken der endeligt definerer, hvordan fordelingen af punkter bliver. Derfor kan punkternes afstand ændres for at undgå eksempelvis træer.

Punkterne skal etableres, så de er veldefinerede og stabile. Punkterne skal afmærkes med et jernrør isat en bolt med en kørnerprik i.

Punkternes relative nøjagtighed i koten

For at kende punkternes indbyrdes nøjagtighed i højden skal der laves et nivellement mellem punkterne.

Kravet er, at spredningen i koten er på maks. 1,1 mm. Dette begrundes med, at en af de interviewede landinspektører fra afsnit 4 var interesseret i, om der kan måles med GNSS med en præcision på $\frac{1}{3}$ cm. Det vil sige, at for de punkter der skal etableres, der skal koten kendes med en kvalitet, der er mindst tre gange bedre. Hvilket giver en spredning i koten på maks. 1,1 mm.

Til at beregne hvilken spredning på middelhøjdeforskellen der kan forventes ved et dobbeltnivellement, bliver følgende formel anvendt:

$$\sigma_{\Delta H} = \sigma_k \sqrt{\frac{L}{2}}, \text{ hvor}$$

σ_k er kilometerspredningen [mm / \sqrt{km}]

L er længden af den nivellerede strækning [km]

[Jensen 2003a, s. 27]

Den strækning der skal nivelleres er ca. 2,5 km, og Tabel 8.4 giver et overblik over forskellige nivellerinstrumenter. De to Leica instrumenter er digitale, mens Koni 007 er et analogt.

Nivellerinstrument	Leica DNA 03	Koni 007	Leica Sprinter
Stadietype	Invar	Standard	Invar
σ_k [mm / \sqrt{km}]	0,4	1,4	0,7
Forventet $\sigma_{\Delta H}$, L=2,5 km [mm]	0,5	1,6	0,8

Tabel 8.4: Oversigt over forskellige nivellerinstrumenter, deres kilometerspredning og forventet spredning på et dobbeltnivellement. [Leica 2006], [Bech 2006] og [Leica 2004, s. 78]

Det er muligt at opnå nøjagtighedskravet på 1,1 mm med Leica DNA 03 med et invarstadie og Koni 007. Der bliver valgt at bruge Leica DNA 03, da den har den en bedre spredning, samt et digitalt instrument vurderes at være lettere at bruge.

Overvejelser om boltens påvirkning af højden

Da det ikke er muligt at slå jernrøret 100 % lodret i jorden beregnes, hvor skævt røret må stå, før det betyder noget for højden. Disse overvejelser kommer da GNSS-

modtagerens stok placeres i kørnerprikken midt i bolthovedet og ved præcisionsnivelementet placeres stadiet oven på bolthovedet. Figur 8.3 viser forskydningen dh , som er mellem kørnerprikken og kanten af boltens. For at kunne beregne hvor skævt røret skal stå for, at højden bliver påvirket 1 mm, så skal bolthovedets radius kendes, jævnfør Figur 8.4.



Figur 8.3 Illustration af jernrørets hældning. Figur 8.4: Illustration af bolthovedets radius.

Ved trekantsberegning på en retvinklet trekant fås $\sin(A) = \frac{1\text{mm}}{7\text{mm}} \Leftrightarrow A \approx 8,2^\circ$, hvilket vil sige at jernrøret skal hælde med mere end $8,2^\circ$, for at højden bliver påvirket med 1 mm.

En vinkel på $8,2^\circ$ vil kunne ses også med det blotte øje, og ingen af punkterne var så skæve. Efter disse overvejelser bearbejdes dette ikke mere.

Punktnummerstrategi

Der bliver etableret 13 punkter, der hver skal besøges 13 gange, og hvor der hver gang skal måles 4 målinger. Dette gælder selvfølgelig for alle de tre sæt målinger, der skal laves. For ikke at miste overblikket over alle de målte punkter laves en punktnummerstrategi.

Punktnummeret skal afspejle punktets afstand til basestationen og målingens nummer. Eksempelvis gives punktet med en afstand på 500 m, med måling nummer 25 punktnummeret 1725.

Tabel 8.5 viser en oversigt over hvilke punkter i hvilken afstand, der får hvilket nummer.

Pkt. nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Afstand [m]	0	50	100	200	300	400	500	750	1000	1250	1500	1750	2000

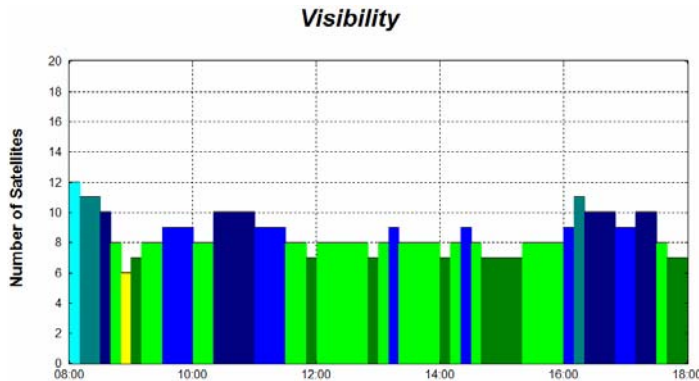
Tabel 8.5: Punktnumre for test med egen basestation.

De to basestationer får punktnumrene 1 og 2. Leica 500 får nummer 1 og Leica 1200 får nummer 2.

Kontrol af satellitforhold

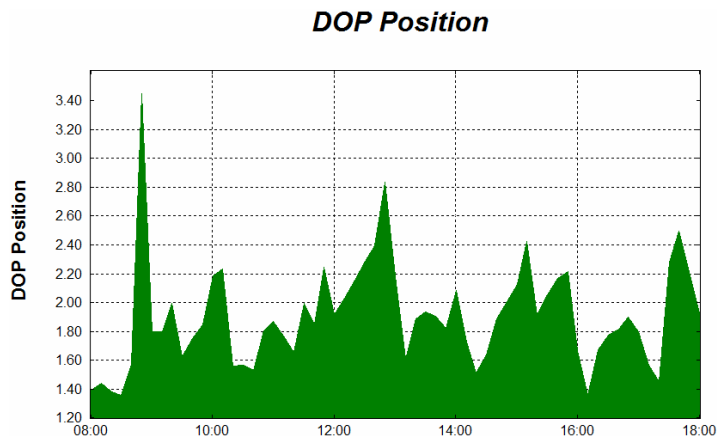
Programmet Trimble Office Planning blev brugt til at forudsige, hvordan satellitforholdene ville være i testområdet den pågældende dag. Der medregnes ikke satellitter som ligger under en 10° afskæringsvinkel.

Nedenstående Figur 8.5 viser antal synlige GPS satellitter. Der skal som hovedregel være mindst fem satellitter synlige, hvilket også er tilfældet. Der kunne vises en tilsvarende figur, hvor GLONASS satellitterne er taget med, men da det bare giver flere satellitter, er dette undladt.



Figur 8.5: Antal synlige GPS satellitter den 28. marts 2008 (ved N $57^\circ 0'$ E $10^\circ 04'$).

Figur 8.6 viser PDOP værdien for GPS satellitterne. PDOP værdien kommer maksimalt op på 3,4, hvilket skulle give gode opmålinger, jf. afsnit 6.2. Her er der også undladt at vise en tilsvarende figur med GLONASS satellitter, da PDOP værdien ligeledes bliver bedre.



Figur 8.6: PDOP for GPS satellitter den 28. marts 2008 (ved N $57^\circ 0'$ E $10^\circ 04'$).

Dette betyder, at satellitforholdene er gode over hele dagen den 28. marts 2008. De følgende dage er satellitforholdene tilsvarende. Da satelliternes omløbstid er på 11

timer og 58 minutter, betyder det at satellitten er placeret samme sted på himlen den følgende dag 4 minutter tidligere.

Ligesom ved forrige tests bliver satellit 32 deaktiveret på Leica 500. Satellit 32 er synlig i tidsrummet ca. fra kl. 8 til 13. Herved bliver antallet af satellitter på mindst 5 og PDOP på maksimalt 3,5. Leica 500 får altså en satellit mindre end Leica 1200 til at bestemme positionen ud fra. Det er valgt ikke at deaktivere denne satellit på Leica 1200, da det vil forringe dennes positionsbestemmelse.

Verificering af udstyr

Inden testen går i gang skal udstyret kontrolleres for at sikre, at det er i orden. Ni-vellerinstrumentet verificeres efter fremgangsmåden i *Øvelser i landmåling* af Karsten Jensen i Appendiks B. [Jensen 2003b, s. 45-48]

Leica 1200 bliver tilsendt torsdag den 27. marts 2008 fra Leica Geosystems i Herlev. Udstyret bliver herefter undersøgt, og der laves en prøveopstilling for at se om indstillingerne i instrumenterne er, som de skal være.

Leica 500 bliver også kontrolleret, og der bliver også her lavet en prøveopstilling for at kontrollere instrumentets indstillinger.

Ved de to GNSS-modtagere der skal være rovere kontrolleres stokken med et snorlod for at se, at den er ret. Libellerne undersøges om de spiller ind, når stokkene står i lod.

8.3 Markarbejde

Markarbejdet startes ved at etablere målepunkterne. På forhånd er der forberedt en afsætningsfil til en Leica 500, således at målepunkterne er lettere at placere med den rigtige afstand til masterstationen. I terrænet vurderes områdets beskaffenhed inden punkterne endeligt bankes i jorden. Herefter foretages der et dobbeltnivellement mellem punkterne. Ved nivellementet bliver der ført en målebog i marken som kan ses i bilag G. Nivellementet bliver så vidt det er muligt lavet som et præcisionsnivellement. Dvs. der ikke bliver lavet aflæsninger på stadiet under 0,5 meter, samt forskellen i længden af frem- og tilbagesigtet ikke overstiger 20 cm. Optimalt set burde der også være to stadieholdere, således at frem- og tilbagesigtet kan aflæses så hurtigt som muligt efter hinanden. Men da der kun er to personer til målearbejdet, er dette ikke muligt. Ydermere laves der ikke sigtelængder over 50 meter. Det kan slutteligt nævnes, at der ved hver opstilling blev lavet to aflæsninger på frem- og tilbagesigterne og derfra beregnet to stigninger. Forskellen mellem de to stigninger måtte ikke være mere end 0,3 mm.

Selve testen af GNSS-modtagerne begynder med at opstille de to basestationer, hvorefter opmålingen af de øvrige punkter begynder. Opmålingen af punkterne foregår ved, at der er to personer, der måler. Den ene går med Leica 500, og den anden med Leica 1200. Ved Leica 1200 og Leica 500 laves en opstilling og der måles først fire gange med GPS hvor der initialiseres mellem hver måling. Ved Leica 1200 måles herefter med GPS og GLONASS også fire gange og med initialiseringer mellem hver. Herefter flyttes der til næste punkt. Og således fortsætter opmålingen. Evt. bemærkninger er blevet noteret i målebogen, som kan ses i bilag G. Eftersom det er planlagt, at hver punkt skal besøges 13 gange, så kan det ikke nås at gennemføre alle målinger på én dag. Derfor er det planlagt, at første dag starter opmålingen med den korteste afstand til basestationen og herefter øges afstanden. De efterfølgende måledage skal der tages hensyn til, at opmålingen ikke falder med samme satellitkonstellation i hvert punkt.

Overvejelser i marken

Under markarbejdet var der flere tidspunkter, hvor det blæste mere end 10 m/s, hvilket fik hele antennestokken til at vibrere. I den forbindelse blev, der lavet overvejelser over, hvad det betød for præcisionen på koten.

Figur 8.7 illustrerer, hvordan libellen spiller ind under optimale forhold, og Figur 8.8 illustrerer, hvor libellen stod når den var i yderpositionen.

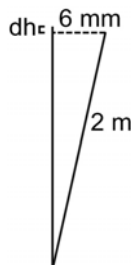


Figur 8.7: Illustration af libellen der spiller ind.



Figur 8.8: Illustration af hvor meget libellen kunne flytte sig under måling.

En måling af antennestokken viser, at antennen maksimalt flytter sig 6 mm i planen, jævnfør Figur 8.9, hvis libellen står i yderpositionen, jævnfør Figur 8.8.



Figur 8.9: Antennestokkens forskubning når libellen er i yderpositionen.

Ved simpel trekantsberegning fås at $dh = 2000\text{mm} - \sqrt{2000^2 - 6^2}\text{mm} = 0,009\text{mm}$. Ud fra disse overvejelser ses at vibrationerne i antennestokken er ubetydelige for præcisionen på koten. Igen kan det beregnes, hvor meget udsving der skal til, for at koten bliver 1 mm mindre, $\sqrt{2000^2 - 1999^2}\text{mm} = 63\text{mm}$. Antennen skal altså svinge lidt mere end 6 cm ud i planen, før koten bliver 1 mm mindre, hvilket aldrig vil ske pga. vindstød.

Supplerende test – 1 initialisering

Idet målingerne med Leica 500 blev hurtigere færdig end Leica 1200, blev der lavet en supplerende test. Testen blev lavet ved punkt 17 til 21, altså i afstandene fra 0,5-1,5 km fra masterstationen. Det gav et område på 1 km med et punkt for hver 250 meter. Det var ikke muligt at gennemføre testen over hele testfeltet, da der er steder, hvor mindre klynger af træer vil skygge for satellitsignalet, så modtageren vil miste initialiseringen.

Der blev initialiseret i punkt 17, hvorefter der blev målt fire gange. Herefter blev roveren flyttet til næste punkt uden, at initialiseringen blev mistet. Efter sidste måling ved punkt 21 blev forbindelsen afbrudt, og det hele blev gennemført igen fra punkt 17. Dette blev gjort 5 gange, hvilket giver 20 målinger ved hvert punkt.

8.4 Databearbejdning

Når dataene er indhentet, så skal de bearbejdes. Det første som blev gjort, det var at behandle det geometriske nivellement. Herefter kunne målingerne foretaget med de to GNSS-modtager behandles. For Leica 1200 med GLONASS er punkt 11 og 21, dog kun blevet målt 51 gange. For Leica 1200 uden GLONASS blev punkt 13 og 15 kun målt 51 gange, derudover blev der slettet 1 måling ved punkt 14, 2 ved punkt 15, 4 ved punkt 21 og 4 ved punkt 22, jf. målebogen. Herved blev punkt 21 og 22 de to med færrest målinger. Det betyder dog kun, at konfidensgraden kommer ned på 89,7 %.

Bearbejdning

Det geometriske nivellement blev beregnet i MatLab. Stigningerne bliver beregnet ved at tage gennemsnittet af alle tilbagesigterne, og subtrahere gennemsnittet af alle fremsigterne. Filerne med målingerne og MatLab scriptet til beregningerne kan ses i bilag G. MatLab scriptet genererer en tekstfil, Geometrisk nivellement.txt, som indeholder gabet, d , mellem to punkter, d_max , som er et udtryk for, hvad gabet højest må være, samt stigningen fra det ene punkt til det næste. d_max beregnes efter følgende formel:

$$d_max = \pm 3 \cdot \sigma_k \cdot \sqrt{2 \cdot L}, \text{ hvor}$$

σ_k er kilometerspredningen i mm/\sqrt{km}

L er længden af den nivellerede strækninger i km

[Jensen 2003a, s. 62]

Som det kan ses i filen Geometrisk nivellement.txt overskrides d_max ikke ved nogle af målingerne. Nivellementet må derfor anses for at være udført tilfredsstillende.

Efter det geometriske nivellement er færdigt kan behandlingen af GNSS-målingerne påbegyndes. Først skal der findes koordinater til de 13 punkter. Ligesom ved testen med de kommercielle referencestationer bliver der lavet middelkoordinater til Leica 500, samt til Leica 1200 med og uden GLONASS, altså tre sæt i alt. E- og N-koordinaten bliver fundet ved at lave et gennemsnit af alle målingerne. Koten bliver fundet ved at lave et gennemsnit af koten i punkt 11 og beregne koten til de resterende vha. det geometriske nivellement.

For at vurdere om der skulle være nogle systematiske fejl ved koten fundet vha. det geometriske nivellement, er alle residualer plottet på grafer, som kan ses i bilag G. Samtidig er der lavet en fil, Middel_residual.txt, hvor gennemsnittet af residualerne er beregnet, som også kan ses i Tabel 8.6. Ved flere af graferne i bilag G, der ser det ud til, at der er systematiske fejl. Grafen viser f.eks. for residualerne for punkt 22 målt med Leica 500, at hovedparten af GNSS-koterne ligger for højt.

Test med egen RTK-basestation

Punkt nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Leica 500 [mm]	0,0	3,6	3,2	1,9	-0,8	3,2	-0,2	0,4	0,9	2,4	5,5	4,0	7,0
Leica 1200 GPS [mm]	0,0	-0,4	3,4	0,2	-0,1	3,1	2,3	3,4	2,8	3,2	2,9	7,1	7,6
Leica 1200 GNSS [mm]	0,0	0,1	0,9	0,8	-0,2	2,8	3,0	3,3	4,6	2,5	3,8	6,5	8,3

Tabel 8.6: Middelresidualerne for koten fra filerne *Middel_residual.txt*.

Det fremgår af Tabel 8.6, at de fleste residualer ligger over 0. Da koterne er fundet ved at lave et gennemsnit af koterne til punkt 11, og derefter beregne de andre koter vha. det geometriske nivellement tyder det på, at GNSS-målingerne til punkt 11 er for lave i forhold til de andre.

En anden måde koterne kan bestemmes på, er ved at korrigere alle målingerne ved alle punkterne vha. nivellementet, således at punkterne har samme højde som punkt 11. Derefter laves der et gennemsnit alle af målingerne og denne værdi bruges som koten til punkt 11. Til sidst beregnes koterne til de andre punkter vha. nivellementet og den nye kote til punkt 11. Der er så beregnet nye middel residualer til de 13 punkter som kan ses i filerne *Middel_residual_v2.txt* og Tabel 8.7. Middel residualet til punkt 11 med Leica 500 er -2,4 mm, hvilket betyder, at koterne er sat 2,4 mm højere. Der er stadig systematiske fejl, men de er mindsket betydeligt. Det er disse residualer som benyttes, når nøjagtighederne skal beregnes.

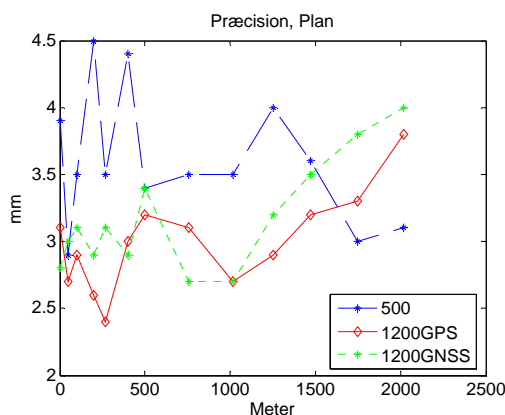
Punkt nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Leica 500 [mm]	-2,4	1,3	0,8	-0,5	-3,1	0,8	-2,6	-2,0	-1,5	0,0	3,1	1,6	4,6
Leica 1200 GPS [mm]	-2,8	-3,1	0,7	-2,5	-2,8	0,4	-0,5	0,6	0,0	0,5	0,2	4,4	4,9
Leica 1200 GNSS [mm]	-2,7	-2,7	-1,9	-2,0	-3,0	0,0	0,2	0,6	1,8	-0,3	1,0	3,7	5,5

Tabel 8.7: Middelresidualerne for koten fra filerne *Middel_residual_v2.txt*.

De beregnede præcisioner kan ses i nedenstående Tabel 8.8. En grafisk fremstilling af de beregnede værdier kan ses i nedenstående Figur 8.10 til Figur 8.12. Det er ikke overraskende, at der kan ses, at Leica 500 ligger over Leica 1200GPS og 1200GNSS. Ligesom ved tidligere test ser det ikke ud til, at kvaliteten af målingen bliver bedre af at benytte GLONASS satellitterne.

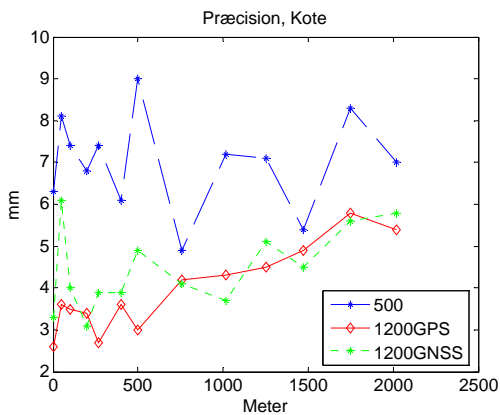
Pkt. nr.	Leica 500			Leica 1200GPS			Leica 1200GNSS		
	σ_{Plan} [mm]	σ_{Kote} [mm]	RMS_{Kote} [mm]	σ_{Plan} [mm]	σ_{Kote} [mm]	RMS_{Kote} [mm]	σ_{Plan} [mm]	σ_{Kote} [mm]	RMS_{Kote} [mm]
11	4,0	6,3	6,7	3,1	2,6	3,8	2,8	3,4	4,3
12	3,0	8,1	8,2	2,7	3,6	4,7	3,0	6,2	6,7
13	3,5	7,5	7,4	2,9	3,5	3,5	3,1	4,1	4,5
14	4,6	6,9	6,8	2,6	3,5	4,2	3,0	3,1	3,7
15	3,5	7,5	8,0	2,4	2,7	3,8	3,1	3,9	4,9
16	4,5	6,1	6,1	3,0	3,6	3,6	3,0	4,0	3,9
17	3,4	9,1	9,4	3,3	3,0	3,0	3,4	5,0	4,9
18	3,5	5,0	5,4	3,2	4,3	4,3	2,8	4,1	4,1
19	3,5	7,3	7,3	2,8	4,3	4,3	2,8	3,8	4,1
20	4,1	7,1	7,1	2,9	4,6	4,6	3,3	5,1	5,1
21	3,6	5,4	6,2	3,2	5,0	4,9	3,5	4,6	4,6
22	3,0	8,3	8,4	3,4	5,9	7,3	3,8	5,6	6,7
23	3,2	7,0	8,3	3,8	5,4	7,3	4,1	5,9	8,0

Tabel 8.8: Præcision og nøjagtighed ved måling med egen basestation.

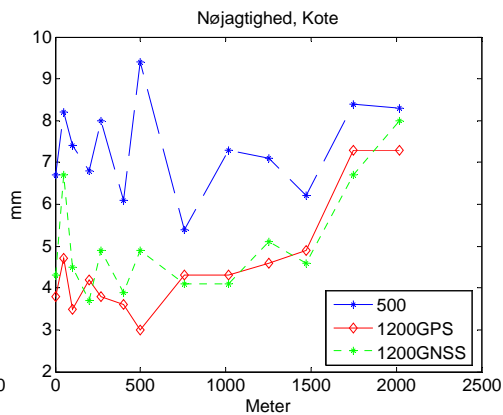


Figur 8.10: Præcisionen i planen.

Test med egen RTK-basestation

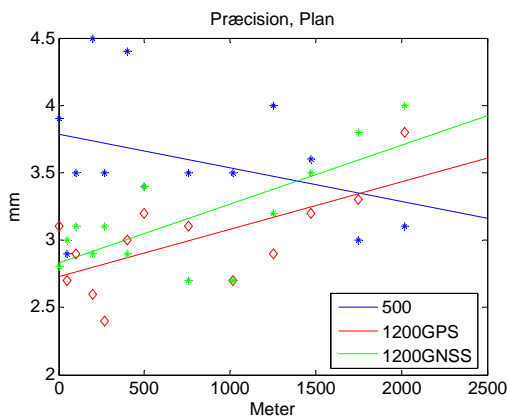


Figur 8.11: Præcisionen i koten.

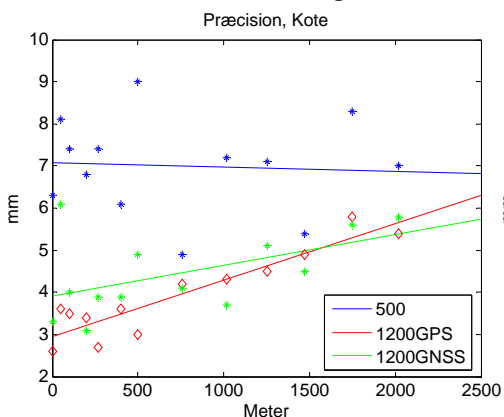


Figur 8.12: Nøjagtigheden i koten.

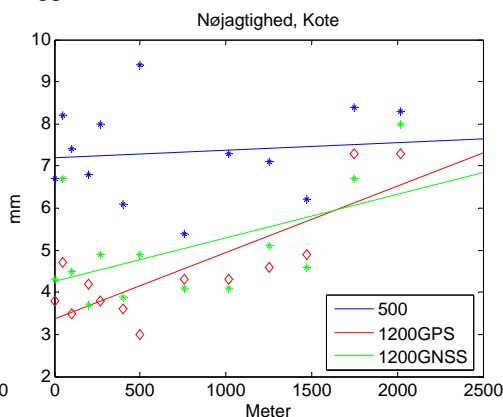
Nedenstående Figur 8.13 til Figur 8.15 viser de lineære approksimationer beregnet af MatLab. Ligningerne herfor kan ses i filen Lineær approksimation.txt i bilag G.



Figur 8.13: Lineær approksimation.



Figur 8.14: Lineær approksimation.



Figur 8.15: Lineær approksimation.

I nedenstående Tabel 8.9 og Tabel 8.10 ses de fundne præcisioner og nøjagtigheder.

	Plan, præcision			Kote, præcision		
	Middel- fejl [mm]	Grund- fejl [mm]	Afstands- afhængig fejl [ppm]	Middel- fejl [mm]	Grund- fejl [mm]	Afstands- afhængig fejl [ppm]
	500	3,6			7,1	
1200GPS	3,0	2,7	0,37	4,0	3,0	1,37
1200GNSS	3,2	2,9	0,46	4,5	4,0	0,72

Tabel 8.9: Præcisionen ved måling med egen basestation indenfor 2 km afstand.

	Kote, nøjagtighed		
	Middelfejl [mm]	Grundfejl [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]
500	7,3		
1200GPS	4,4	3,4	1,57
1200GNSS	5,0	4,3	1,04

Tabel 8.10: Nøjagtigheden i koten ved måling med egen basestation indenfor 2 km afstand.

8.5 Vurdering

Det kan ses, at linierne for Leica 500 er nedadgående ved de to første grafer for præcisionen, og er svagt stigende ved grafen for nøjagtigheden i koten. Målingerne har åbenbart ikke været tilstrækkelige til at kunne identificere en evt. afstandsafhængighed. Derfor er det bedste bare at komme med et gennemsnit af alle målingerne og sige, at det er præcisionen indenfor 2 km. Ved de to målesæt foretaget med Leica 1200 ser det dog lidt anderledes ud. Der ses en stigning i takt med afstanden til masteren øges. Stigningen er dog imidlertid meget stor i forhold til den, som blev fundet både med Leica 500 og Trimble R8 i testen med de kommercielle reference-tjenester, når der blev benyttet GPS Referencen. Her var den afstandsafhængige fejl på henholdsvis 0,27 og 0,22 mm/km i planen og 0,56 og 0,36 mm/km i koten. Den afstandsafhængige fejl med egen base er henholdsvis på med GPS 0,35 mm/km og med GPS/GLONASS 0,44 mm/km i planen og i koten med GPS 1,34 mm/km og med GPS/GLONASS 0,73 mm/km.

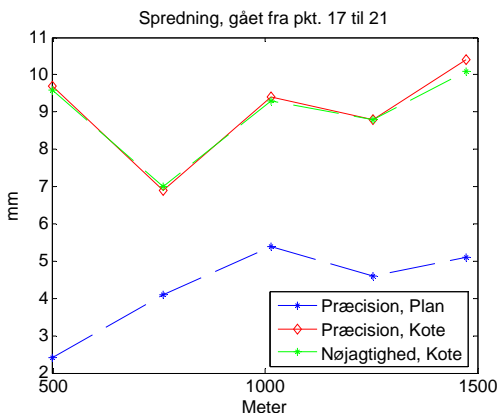
Præcisionen for planen er ikke så gal, men det er især koten, som er betænkelig, da den er dobbelt så stor. Det er selvfølgelig også svært at skulle finde en afstandsafhængig fejl, når afstandene er så små, som de er. Der vil immervæk blive lavet en bedre linie, når afstanden strækker sig over 20-40 km frem for 2 km. Derfor skal den beregnede afstandsafhængige fejl også benyttes med visse forbehold, og der

bliver ligeledes præcenteret en middelværdi uden hensyntagen til afstanden fra basestationen.

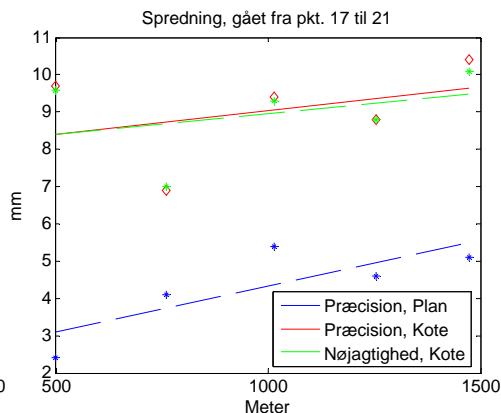
8.6 Databearbejdning af 1 initialisering

Da målingerne med Leica 500 blev hurtigere færdig end dem med Leica 1200, så blev der lavet et mindre og knapt så statistisk sikkert forsøg. Da forsøget blev lavet i tiden indtil målingerne med Leica 1200 blev færdiggjort, er der kun 20 målinger ved hvert punkt. Det giver dog stadig en konfidensgrad på 84 %. Forsøget går som tidligere nævnt ud på, at der bliver målt med samme initialisering ved fem punkter over knap 1 km strækning. Der bliver beregnet en præcision og nøjagtighed som tidligere. Dataene og beregningerne kan ses i bilag G.

Nedenstående Figur 8.16 og Figur 8.17 viser de beregnede værdier for præcisionen og nøjagtigheden, samt en lineær approksimation for værdierne. Det virker til, at der er en lille forringelse af kvaliteten af målingerne jo længere væk fra punkt 17, der bliver målt. Om dette skyldes den øgede afstand fra masteren eller om det er den øgede afstand fra, hvor der blev initialiseret, det er svært at sige.



Figur 8.16: Præcision ved 1 initialisering.



Figur 8.17: Lineær approksimation.

Hvis spredningerne for de enkelte punkter sammenholdes med spredningerne fundet tidligere hvor der blev geninitialiseret før hver måling, så burde forskellen mellem de to værdier i princippet skyldes, at GPS-modtageren er flyttet efter initialiseringen. I nedenstående Tabel 8.11 ses de beregnede præcisioner. Først kommer præcisionerne fundet tidligere, hvor der blev geninitialiseret før hver måling. Dernæst kommer præcisionerne, hvor punkterne blev målt med samme initialisering.

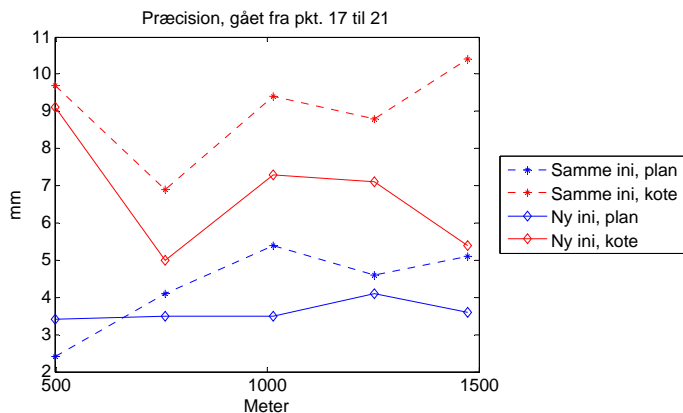
Pkt. nr.	Ny initialisering			Samme initialisering		
	σ_{Plan} [mm]	σ_{Kote} [mm]	RMS_{Kote} [mm]	σ_{Plan} [mm]	σ_{Kote} [mm]	RMS_{Kote} [mm]
17	3,4	9,1	9,4	2,4	9,7	9,6
18	3,5	5,0	5,4	4,1	6,9	7,0
19	3,5	7,3	7,3	5,4	9,4	9,3
20	4,1	7,1	7,1	4,6	8,8	8,8
21	3,6	5,4	6,2	5,1	10,4	10,1

Tabel 8.11 Præcisionen for punkt 17-21 hvor der er initialiseret for hver måling, samt hvor samme initialisering bruges ved alle punkterne.

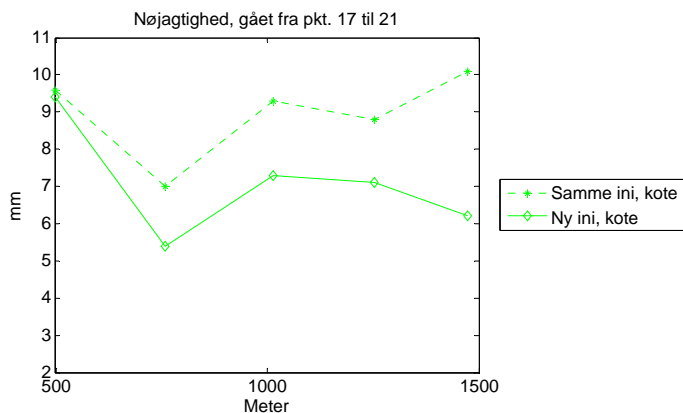
8.7 Vurdering af 1 initialisering

Præcisionen og nøjagtigheden er blevet dårligere af at bruge samme initialisering på nær, når det gælder præcisionen i planen ved punkt 17. Ved punkt nr. 17 burde der i princippet ikke være nogen forskel. At der så er en forskel, det kan skyldes flere ting. For det første blev målingerne udført med samme initialisering lavet sidst på dagen, hvorimod målingerne hvor der blev geninitialiseret hver gang, blev udført over hele dagen. Når der ses på graferne med PDOP værdierne er der en dårligere periode midt på dagen, og hvis målingerne udført med samme initialisering ikke har nogle målinger på dette tidspunkt, så har de måske et bedre udgangspunkt. Derudover har målingerne udført med samme initialisering ”kun” 20 målinger. Dermed har punkterne en dårligere konfidensgrad. På trods af alt dette ser det stadig ud som om, at kvaliteten af målingerne bliver dårligere når GPS-modtageren flyttes, efter der er initialiseret.

I nedenstående Figur 8.18 og Figur 8.19 ses værdierne fra Tabel 8.11. Ud fra figurerne og tabellen ser det ud til, at præcisionen og nøjagtigheden bliver dårlige efterhånden som afstanden til punkt 17 øges. Hvor langt væk man kan bevæge sig, før der bør geninitialiseres, det kommer meget an på, hvor god målingen skal være. Men det ser ud til, at målingerne bliver dårligere allerede efter nogle få hundrede meter. Løsningen kan være at geninitialisere oftere. Der er dog en vis usikkerhed om, hvorvidt en ny initialisering vil få målingerne til at passe dårligere sammen indbyrdes. Hvis præcisionen bliver dårligere af at geninitialisere, er det dog ikke i så stor en grad, at det ikke kan betale sig at geninitialisere, når man har flyttet sig. I og med præcisionen hvor der geninitialiseres før hver måling er bedre, er evt. forringelser ved at have flyttet sig større end evt. forringelser ved at have geninitialiseret.



Figur 8.18: Præcisionerne ved punkt 17-21 når der bruges samme initialisering og når der laves en ny initialisering før hver måling.



Figur 8.19: Nøjagtighederne ved punkt 17-21 når der bruges samme initialisering og når der laves en ny initialisering før hver måling

9 Test af initialiseringstid

Denne mindre test har til formål at undersøge, hvor lang tid det tager for en GNSS-modtager at initialisere. Der er mange måder, hvorpå initialiseringstiden kan defineres.

9.1 Definitioner og resultater fra tidligere test

I tidligere forsøg er initialiseringstiden defineret på forskellig vis:

KMS udførte i 2002 en test af netværks RTK og enkeltstations RTK, hvor de bl.a. testede tidsforbruget. I forsøget benyttede de en Leica 500 GPS-modtager. Her definerede de initialiseringstiden som, citat:

Den tid der blev registreret var tiden fra GSM-opkald til færdig initialisering, dvs. til instrumentet var klar til at måle. [Villadsen & Madsen 2003, s. 9]

Resultatet blev:

	GPSnet.dk	GPS Referencen
Gennemsnit	50 sek.	47 sek.

Tabel 9.1: Resultater for initialiseringstiden. [Villadsen & Madsen 2003, s. 9 og s. 15]

I 2004 blev der på landinspektørstudiet lavet et afgangprojekt om RTK-tjenester i Danmark, hvor der blev udført en test af om initialiseringstiden var afstandsafhængig. Ligesom i KMS's forsøg blev der ligeledes brugt en Leica 500 GPS-modtager til dette forsøg. Initialiseringstiden blev defineret som, citat:

I denne test defineres initialiseringstiden, som den tid der går, fra forbindelsen til referencestationen er opnået, og til opmålingen med centimeter nøjagtighed kan påbegyndes. [Andkjær et al. 2004, s. 92]

Resultatet blev:

	GPSnet.dk	GPS Referencen
Gennemsnit for test	21 sek.	27 sek.
Afstandsafhængig	Stabil	Svagt stigende

Tabel 9.2: Resultater for initialiseringstiden. [Andkjær et al. 2004, s. 93]

9.2 Definition af initialiseringstiden

I dette forsøg defineres initialiseringstiden som den tid det tager at geninitialisere. Det vil sige tiden der går fra der tages *geninitialiser* på terminalen, og til modtageren igen er klar til opmåling med centimeter nøjagtighed. GNSS-modtageren er

hermed allerede initialiseret og har forbindelse til referencetjenesten, da der trykkes på *geninitialiser*. Initialiseringstiden kunne også have været tiden det tager fra modtageren er slukket, til den er klar til at måle eller, hvor modtageren er tændt, men der endnu ikke er etableret forbindelse til referencetjenesten. Det tager sandsynligvis længere tid at initialisere første gang, men for at hver initialiseringstid bliver målt under så ens forudsætninger som muligt, og for at al tiden ikke skal gå med at tænde og slukke modtagerne, testes tiden for *geninitialisering*.

Der er flere ting, som kan få indflydelse på længden af initialiseringstiden. Det er ikke lige meget hvor mange satellitter der modtages signaler fra, fejlbidrag fra ionosfæren, om antennen er placeret nær træer, bygninger eller lignende. Derudover kan tiden svinge alt efter hvilken forbindelse, der er til referencestationen. Hvis der er problemer med mobilnettet, så kan initialiseringstiden blive længere hvis der benyttes et GSM modem. Samme overvejelser er også gældende, hvis forbindelsen er en UHF radioforbindelse eller en GPRS internetforbindelse.

I dette forsøg vil der blive undersøgt: indflydelsen af RTK-tjeneste og afstand til nærmeste referencestation. Både med egen basestation og kommercielle RTK-tjenester. Derudover vil der blive benyttet to forskellige GNSS-modtagere, for at identificere en evt. forskel mellem modtagerne.

9.3 Forberedelse af test

Dataindsamlingen vil blive foretaget sideløbende med Test med egen basestation, se afsnit 8 og Test med kommercielle RTK-tjenester, se afsnit 7. Da GNSS-modtagerne alligevel skal *geninitialiseres* før hver måling, indhentes dataene til denne test sideløbende med de to førnævnte. Der vil derfor blive indsamlet lige så mange initialiseringstider, som der måles punkter, hvorfor det statistiske grundlag er den samme som ved de to andre test.

Ved testen med de kommercielle referencetjenester vil initialiseringstiden blive noteret for en Leica 500, som får data fra GPS Referencen, GPSnet.dk og SpiderNet, samt en Trimble R8, som får data fra GPS Referencen, SpiderNet og GPSnet.dk med GPS og med GPS/GLONASS. Ved testen med egen basestation er det kun målingerne foretaget med Leica 500, som bliver benyttet. Grunden til initialiseringstiden ikke bliver noteret for Leica 1200 modtageren er, at det vurderes at det vil tage for lang tid, og Leica 1200 modtageren er kun til lån i en begrænset tidsperiode. Desuden ønskes det bare at illustrere om der er forskel mellem de enkelte GNSS-modtagere, hvilket kan gøres med Leica 500 og Trimble R8 modtagerne.

9.4 Markarbejde

Initialiseringstiden vil blive målt ved hjælp af et stopur, og antallet af hele sekunder vil blive noteret i et skema. At tiden bliver målt med et stopur giver naturligvis nogle menneskelige fejl. Men da reaktionstiden sikkert er nogenlunde den samme ved alle målingerne, samt det ikke antages relevant at registrere på mindre end sekund niveau, da vurderes det tilstrækkeligt at måle tiden på denne måde. Initialiseringstiderne registreres og noteres i et skema, jf. bilag H.

9.5 Databearbejdning

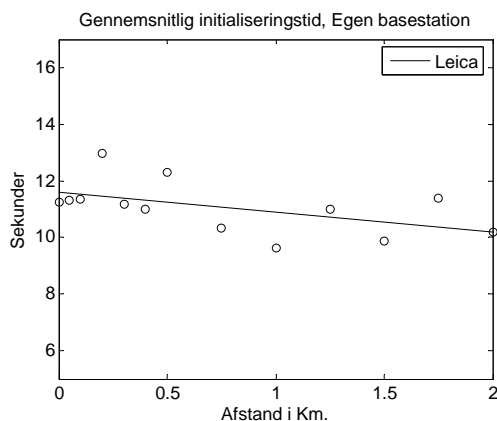
Efter data er indhentet skal de bearbejdes. Her vil der blive udregnet en gennemsnitlig initialiseringstid for hver af GNSS-modtagerene, RTK-tjenesterne og de forskellige afstande til nærmeste referencestation. Resultaterne vil blive præcenteret i form af grafer og tabeller.

De målte tider bliver skrevet ind i tekstfiler for derefter at blive bearbejdet i MatLab. Tekst filerne og MatLab scriptene kan ses i bilag H.

Da nogle af tiderne ved testen med de kommercielle referencetjenester var meget store, helt op til over to minutter, bliver alle tider over 40 sekunder sorteret fra. Der kan dog argumenteres mod dette, da der herved ikke bliver givet et helt korrekt billede på hvilke initialiseringstider, der kan opleves i marken. De bliver alligevel fjernet, da meget store værdier vil skævvride billedet af de gennemsnitlige tider, da de vil få for stor betydning, idet der kun laves 52 målinger. Desuden er det ikke alle målesættene, som har disse store tider, da de kun forekom enkelte gange. Ud af de syv datasæt er der kun blevet fjernet 19 initialiseringstider. Det vil sige, at der er fjernet 19 ud af 2.652 initialiseringstider eller 0,7 %.

De første tider som vil blive gennemgået, er dem fra testen med egen basestation. Ved testen blev der kun målt tider til Leica 500. Nedenstående Figur 9.1 viser de gennemsnitlige initialiseringstider samt den bedste rette linie genereret ud fra tiderne af MatLab. Det ses at tiderne ligger mellem ca. 9,5 og 13 sekunder. Man kan også se, at den lineære approksimerede linie falder efterhånden, som man kommer længere væk fra masteren.

Liniens ligning er beregnet til at være $y = -0,7x + 11,6$. Det betyder, at initialiseringstiden falder knap 1,5 sekunder over de 2 km.



Figur 9.1: Den gennemsnitlige geninitialiseringstid i afstande 0-2 km fra masteren.

Det findes ikke sandsynligt at initialiseringstiden skulle blive mindre jo længere væk fra masteren, der bliver målt. Faldet må da skyldes noget andet end afstanden. Det vurderes derfor, at der ikke er forskel i initialiseringstiden ved så korte afstande som 2 km. Forskellen er i hvert fald ikke stor nok til at blive synlig blandt de andre faktorer, som overskygger en evt. afstandsafhængig faktor. Den gennemsnitlige geninitialiseringstid for alle tiderne uanset afstand er 11,1 sekunder.

En evt. betydning af afstanden til referencestationen vil bedre kunne ses ved testen med de kommercielle RTK-tjenester, da afstandene kommer op på ca. 25 og 40 km. I nedenstående Figur 9.2 til Figur 9.5 ses geninitialiseringstiderne for målingerne med de kommercielle referencestationer. Gennemgående for alle sammen er det, at Trimble R8 er langt den hurtigste til at geninitialisere. Den ligger konstant ca. 4-5 sekunder lavere end Leica 500.

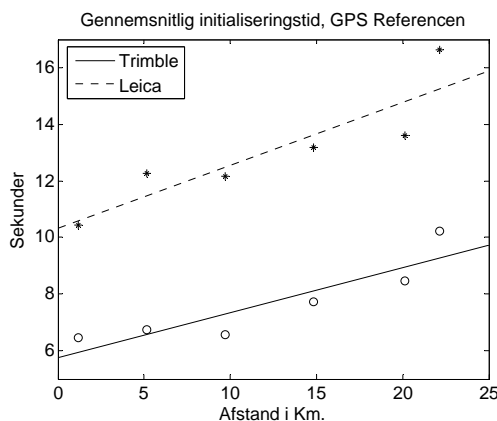
Nedenstående Figur 9.2 viser initialiseringstiderne for GPS Referencen. Både tiderne fra Leica 500 og Trimble R8 stiger jævnt gennem hele forløbet og de to grafer følges endda nogenlunde ad.

Ligningerne for de approksimerede linjer er:

$$\text{Leica 500: } y_L = 0,22x + 10,32$$

$$\text{Trimble R8: } y_T = 0,16x + 5,77.$$

Det ser da ud til, at geninitialiseringen når der benyttes GPS Referencen er afhængig af afstanden og, at den stiger med ca. 5,5 og 4 sekunder over en 25 km strækning for henholdsvis Leica 500 og Trimble R8.



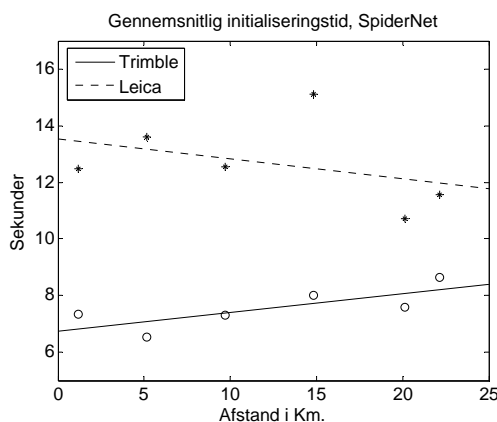
Figur 9.2: Den gennemsnitlige geninitialiseringstid for GPS Referencen.

I nedenstående Figur 9.3 ses tiderne for SpiderNet. Modsat GPS Referencen følges Leica 500 og Trimble R8 ikke ad, Leica 500 falder, mens Trimble R8 stiger med den øgede afstand. Ligesom ved tiderne med egen basestation findes det heller ikke her sandsynligt at geninitialiseringstiden skulle falde pga. af en øget afstand. Ligningerne for de to approksimerede linjer er:

Leica 500: $y_L = -0,07x + 13,53$

Trimble R8: $y_T = 0,07x + 6,76$

Hældningen på de to linier er lige store blot modsatrettede. Ud fra disse data vurderes det hermed at geninitialiseringstiden ikke er afhængig af afstanden og dermed konstant, eller at den i hvert fald er så lille, at det ikke kan ses. Den gennemsnitlige initialiseringstid for alle tiderne er for Leica 500 12,7 sekunder og for Trimble R8 7,6 sekunder.



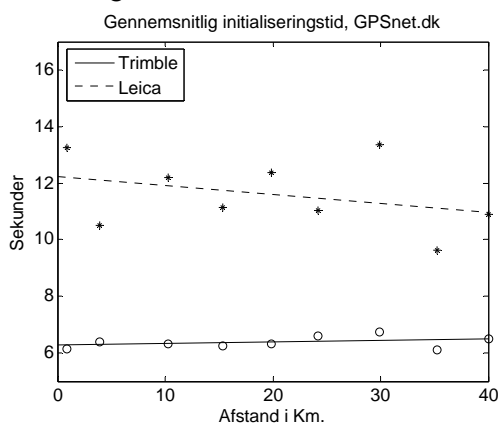
Figur 9.3: Den gennemsnitlige geninitialiseringstid for SpiderNet

I nedenstående Figur 9.4 ses geninitialiseringstiderne for GPSnet.dk og i Figur 9.5 tiderne for GPSnet.dk med GLONASS. Af Figur 9.4 fremgår det ligesom ved SpiderNet, at tiderne ved Leica 500 falder ganske langsomt, mens Trimble R8 stiger ganske langsomt. Ligningerne for de to approksimerede linier er:

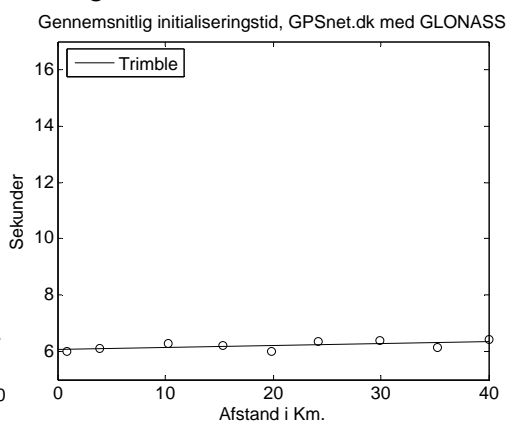
Leica 500: $y_L = -0,03x + 12,23$

Trimble R8: $y_T = 0,01x + 6,27$

I begge tilfælde er hældningerne meget små og modsatrettede. Den lineære approksimation for tiderne målt med GLONASS vist på Figur 9.5 er $y_T = 0,01x + 6,08$. Stigningen er den samme som når GLONASS satellitterne ikke benyttes, linien er blot forskudt en smule. Det vurderes derfor at afstanden enten ikke har betydning for initialiseringstiderne, eller betydningen er så lille, at den ikke kan identificeres ved disse data. De gennemsnitlige geninitialiseringstider er for Leica 500 11,6 sekunder og for Trimble R8 uden GLONASS 6,4 og med GLONASS 6,2 sekunder.



Figur 9.4: Den gennemsnitlige geninitialiseringstid for GPSnet.dk.



Figur 9.5: Den gennemsnitlige geninitialiseringstid for GPSnet.dk med GLONASS.

9.6 Vurdering

Der er blevet testet geninitialiseringstider for de tre tilgængelige kommercielle referencesystemer. Ved to af disse referencesystemer blev det ikke fundet, at afstanden til den nærmeste referencestation havde betydning for geninitialiseringstiden. I nedenstående Tabel 9.3 ses geninitialiseringstiderne for SpiderNet og GPSnet.dk med og uden GLONASS. Det ses at GPSnet.dk er en smule hurtigere end SpiderNet ca. 1 sekund. Der er en lille forskel om der benyttes GLONASS satellitter eller ej. Men da det kun er 0,2 sekunder, skal der nok ikke ligges noget i det resultat. I og med tiderne bare er målt med et stopur, og kun er noteret med hele sekunder, er forskellen så lille, at de to initialiseringstider må anses for at være af samme størrelse.

Modtager	SpiderNet	GPSnet.dk	GPSnet.dk med GLONASS
Leica 500	12,7 sek.	11,6 sek.	
Trimble R8	7,6 sek.	6,4 sek.	6,2 sek.

Tabel 9.3: Gennemsnitlige geninitialiseringstider.

GPS Referencen er som den eneste afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Den har således en grundtid T_g og en afstandsafhængig tid T_a . Geninitialiseringstiden kan således defineres som $T = T_g + S \cdot T_a$, hvor S er afstanden til referencestationen. I nedenstående Tabel 9.4 ses grundtiden, den afstandsafhængige tid og den gennemsnitlige tid for de to benyttede GNSS-modtagere.

Modtager	Grundtid T_g	Afstandsfhængig tid T_a	Gennemsnit
Leica 500	10,3 [sek.]	0,22 [sek./km]	13,0 [sek.]
Trimble R8	5,8 [sek.]	0,16 [sek. /km]	7,7 [sek.]

Tabel 9.4: Grundtiden og den afstandsfhængige tid for de to benyttede modtagere, samt et gennemsnit af de målte geninitialiseringstider for GPS Referencen.

Som nævnt tidligere er alle Trimble tiderne ca. 4-5 sekunder mindre end de tilsvarende fra Leica. For selve geninitialiseringstiden er dette det rigtige billede. Det virkede dog som om, at hvis tiden det tog at starte GNSS-modtagerne op, samt at ringe til referencetjenesterne blev medregnet, så var Leica modtageren langt den hurtigste. Dette blev dog ikke testet, og der blev ikke målt nogen tider for disse tilfælde. Det blev dog observeret, at målingerne med Leica modtageren nok var lavet næsten dobbelt så hurtigt som med Trimble modtageren på trods af, at der kun blev lavet tre sæt målinger med Leica modtageren (GPS Referencen, SpiderNet og GPSnet.dk) og fire med Trimble modtageren (GPS Referencen, SpiderNet, GPSnet.dk og GPSnet.dk med GLONASS). Det vil dog kræve en decideret test af dette, hvis der skal kunne siges noget med sikkerhed.

De to tidligere tests blev lavet med en Leica 500 GPS-modtager. Ved begge tests blev der benyttet RTK-tjenesterne GPS Referencen og GPSnet.dk. Initialiseringstiden blev dog ikke defineret på samme måde, som den er gjort i dette projekt, hvorfor tallene ikke direkte kan sammenlignes. Ved den første test fra 2003 blev det fundet, at den gennemsnitlige initialiseringstid var 50 sekunder for GPSnet.dk og 47 sekunder for GPS Referencen. Ved det andet forsøg fra 2004 var det dog GPSnet.dk, som var hurtigst til at initialisere med 21 mod GPS Referencens 27 sekunder. Ved begge tests, dog især den første, ligger de gennemsnitlige tider tæt på hinanden. Ved forsøgene udført ved dette projekt ligger geninitialiseringstiderne

Test af initialiseringstid

også tæt på hinanden, dog er GPS Referencen en smule langsommere til at geninitialisere end GPSnet.dk.

Geninitialiseringstiderne fra dette projekt stemmer godt overens med de to tidligere test. Selvom GPSnet.dk virker til at være en smule hurtigere, er forskellen dog så lille, at det nok ikke vil få nogen reel indflydelse på en normal arbejdsgang, hvor der ikke konstant geninitialiseres.

10 Konklusion

Formålet med dette kapitel er at komme med en konklusion på projektet, og dermed samle op på de resultater, der er fremkommet gennem projektet. Endvidere er formålet at svare på problemformuleringen.

I Danmark findes der tre kommercielle RTK-tjenester, som alle har et netværk af referencestationer. RTK-tjenesterne er overordnet bygget op på to forskellige metoder. GPS Referencen er en enkeltstations RTK-tjeneste, mens GPSnet.dk og SpiderNet er netværkstjenester. GPSnet.dk bygger på metoden VRS, og SpiderNet på i-MAX.

Et alternativ til at benytte kommercielle RTK-tjenester er at opstille egen RTK-basestation. Fordelen ved dette er den korte afstand mellem master og rover, mens ulempen er at det kræver to GNSS-modtagere, og der skal bruges tid til at stille masterstationen op.

I landinspektørbranchen er der forskellige krav til kvaliteten af målinger, derfor er det vigtigt at have dokumentation for kvaliteten af de forskellige målemetoder. I denne sammenhæng er det derfor interessant at gennemføre en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK-måling.

I problemformuleringen blev der fremsat fire problemstillinger:

- I) *Hvor mange epoker skal én GPS-måling bestå af for at have en passende kvalitet?*
- II) *Hvordan er præcisionen ved opmåling med GPS eller GPS/GLONASS når der anvendes en kommerciel RTK-tjeneste?*
- III) *Hvordan er præcisionen ved opmåling med GPS eller GPS/GLONASS når der anvendes egen basestation? Og hvilken nøjagtighed i koten kan opnås indbyrdes mellem punkterne?*
- IV) *Afhænger initialiseringstiden af hvilken RTK-tjeneste, der anvendes og/eller afstanden til nærmeste referencestation?*

I det følgende vil der blive konkluderet individuelt på hvert af de fire spørgsmål.

Ad I) Test af observationstid

Til denne test er der anvendt tre Leica 500 og en Trimble R8 GNSS-modtager. Til de tre Leica 500 GPS-modtagere anvendes én antenne hvorefter signalet splittes ud

til alle tre modtagere. Trimble R8 og den ene Leica 500 måler med korrektionsdata fra GPSnet.dk, mens de to andre Leica 500 måler til henholdsvis SpiderNet og GPS Referencen. Antennerne er sat op i to faste punkter, hvorefter der automatisk bliver foretaget en måling hver epoke. Disse ét epoke målinger bliver inddelt i intervaller. På baggrund af intervallerne bliver der lavet en vurdering ud fra maksimums afvigelser og præcisionen.

Den største forbedring sker indenfor de første 5 sekunder, hvorefter forbedringerne aftager og efter 10 epoker er forbedringerne minimale.

GPSnet.dk er hurtigere til at stabilisere sig omkring en bestemt præcision end både SpiderNet og GPS Referencen. Ved GPSnet.dk sker der ikke store forbedringer efter 5 epoker, mens GPS Referencen ser større forbedringer indtil 10 epoker, og SpiderNet indtil 15 epoker.

Det konkluderes, at der er en markant fordel ved at bruge flere epoker til hver måling, og at præcisionen ikke bliver signifikant bedre efter de 10 epoker. Det vurderes derfor at 10 epoker er det optimale antal epoker for én GPS-måling. Dette resultat anvendes derfor i de følgende tests.

Ad II) Test med kommercielle RTK-tjenester

Til denne test blev der anvendt to GNSS-modtagere en Leica 500 og en Trimble R8. Begge modtagere skulle måle til de tre RTK-tjenester, mens Trimble R8 også skulle måle til GPSnet.dk med GPS/GLONASS.

Testen foregik i området mellem Hals og Frederikshavn i Nordjylland, hvor der kunne opnås afstande på op til 25 km for GPS Referencen og SpiderNet, og op til 40 km for GPSnet.dk.

Der er mange forhold, der påvirker resultaterne. Ved forsøget er der blevet anvendt en Leica 500 og en Trimble R8, mens andre modtagere kan give et anderledes resultat. Ligeledes har valg af område, måletidspunkt på dagen og tid på året betydning for testens resultat.

Det kan konkluderes, at alle RTK-tjenesterne er afstandsafhængige. Det er GPS Referencen og SpiderNet, der bliver påvirket i størst omfang af afstanden til nærmeste reference station. Ved alle RTK-tjenesterne er der fundet, at det er præcisionen i koten, der bliver påvirket mest af afstanden. Tabel 10.1 viser grund- og afstandsafhængig fejl ved test af præcision.

Reference-tjeneste	Plan		Kote	
	Grundfejl [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]	Grundfejl [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]
GPS Referencen	2,7	0,23	5,0	0,36
SpiderNet	2,1	0,19	4,7	0,33
GPSnet.dk	3,0	0,06	5,7	0,21
GPSnet.dk med GPS/GLONASS	2,9	0,09	5,1	0,19

Tabel 10.1: Grund- og afstandsafhængig fejl ved test af præcision.

Ud fra testens resultater er det muligt at lave en lineær regression, der beskriver, hvordan præcisionen ændrer sig som funktion af afstanden til referencestationen. Dette er et matematisk udtryk for, hvilken præcision der kan forventes. At den afstandsafhængige fejl og grundfejlen angives med 2 og 1 decimal betyder ikke, at den forventede præcision kan angives så godt. Der er dog ikke foretaget yderligere afrundinger, da det vil få for stor betydning ved store afstande.

Præcisionen i planen og koten kan beregnes ud fra følgende formler:

$$\sigma_P = \sigma_{g\ plan} + S \cdot \sigma_{a\ plan}$$

$$\sigma_H = \sigma_{g\ kote} + S \cdot \sigma_{a\ kote}, \text{ hvor}$$

σ_g er grundfejlen i millimeter for henholdsvis plan og kote

S er afstanden i kilometer fra referencestationen

σ_a er den afstandsafhængige fejl i millimeter pr. kilometer for henholdsvis plan og kote

Det bør dog bemærkes at præcisionen i planen er defineret som:

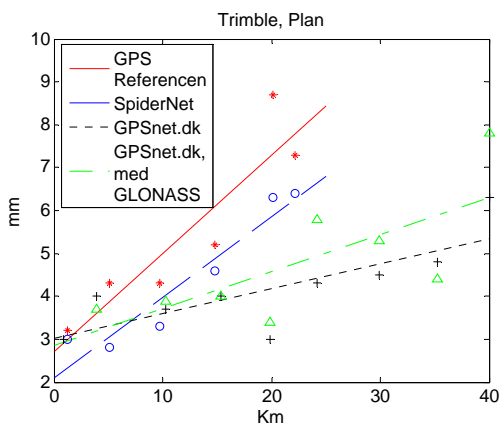
$$\sigma_P = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}}, \text{ hvor}$$

σ_E er spredningen på E-koordinaten

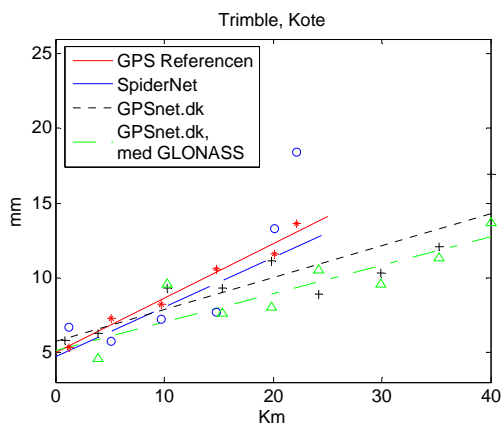
σ_N er spredningen på N-koordinaten

GPS Referencen og SpiderNet har en bedre præcision ved korte afstande end GPSnet.dk.

Konklusion



Figur 10.1: Lineær approksimation for planen (med Trimble).



Figur 10.2: Lineær approksimation for koten (med Trimble).

Af Figur 10.1 og Figur 10.2 kan det ses, at SpiderNet har den bedste præcision i planen, op til en afstand fra referencestationen på 7 km. I koten er præcisionen bedst indtil 3 km. GPSnet.dk med GPS har den bedste præcision i planen fra 7 km fra, mens det er GPSnet.dk med GPS/GLONASS, der har den bedste præcision i koten fra 3 km fra. Grunden hertil er, at GPSnet.dk har den største grundfejl, men GPS Referencen og SpiderNet har større afstandsafhængige fejl.

Ad III) Test med egen RTK-basestation

Til denne test blev der anvendt to sæt GNSS-modtagere: Leica 500 og Leica 1200.

Testen foregik i en afstand op til 2 km fra masterstationen. I første del af testen blev der initialiseret mellem hver måling.

Ud fra testen kan konkluderes, at målingerne med Leica 1200 viser en afstandsafhængighed, hvilket ikke er tilfældet for målingerne med Leica 500. Teorien siger, at målinger med enkeltstations RTK er afhængige af afstanden mellem master og rover, på grund af påvirkningen af de atmosfæriske fejl. Leica 500 efterviser ikke teorien, hvorved der kun kan beregnes en middelfejl for præcisionen og nøjagtigheden. Dette kan skyldes, at afstanden mellem master og rover ikke er på mere end 2 km, hvilket gør det svært at identificere en afstandsafhængig fejl. For så at kunne sammenligne tallene fra Leica 500 med Leica 1200, bliver der også beregnet en middelfejl for Leica 1200.

Tabel 8.9 og Tabel 8.10 viser præcisionen og nøjagtigheden ved forsøget med egen basestation.

	Plan, præcision			Kote, præcision		
	Middel- fejl [mm]	Grund- fejl [mm]	Afstands- afhængig fejl [ppm]	Middel- fejl [mm]	Grund- fejl [mm]	Afstands- afhængig fejl [ppm]
500	3,6			7,1		
1200GPS	3,0	2,7	0,35	4,0	3,0	1,34
1200GNSS	3,2	2,8	0,44	4,6	3,9	0,73

Tabel 10.2: Præcisionen ved måling med egen basestation indenfor 2 km afstand.

	Kote, nøjagtighed		
	Middelfejl [mm]	Grundfejll [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]
500	7,4		
1200GPS	4,7	3,4	1,57
1200GNSS	5,2	4,3	1,04

Tabel 10.3: Nøjagtigheden i koten ved måling med egen basestation indenfor 2 km afstand.

Ud fra resultaterne fra Leica 1200 kan der beregnes en lineær regression, der beskriver, hvordan præcisionen og nøjagtigheden ændrer sig som funktion af afstanden. Beregningsformlerne er tilsvarende forrige afsnit.

For Leica 1200 der har målinger både med GPS og GPS/GLONASS, kan det ses at præcisionen ikke bliver bedre i planen ved at inkludere GLONASS i løsningen. Med en afstand på mere end 1,5 km til masterstationen så bliver præcisionen i koten bedre når der inkluderes GLONASS i løsningen. Nøjagtigheden i koten bliver bedre fra 1,7 km.

Ses der kun på middelfejlen for præcisionen og nøjagtigheden ved Leica 1200 er forskellen mellem om der anvendes GPS eller GPS/GLONASS kun på 0,5 mm. Denne forskel er ikke stor nok til at kunne konkludere, hvorvidt det er GPS eller GPS/GLONASS, der er bedst.

I anden del af testen skulle der identificeres om præcisionen blev dårligere ved at bevæge sig væk fra det sted, hvor der blev initialiseret. Testen viste, at allerede efter få hundrede meter blev præcisionen og nøjagtigheden væsentligt dårligere.

Herved kan det konkluderes, at hvis man bevæger sig væk fra initialiseringsstedet, så kan det svare sig at initialiserer oftere, da præcisionen og nøjagtigheden derigen-nem bliver bedre.

Ad IV) Test af initialiseringstid

Sideløbende med de to forrige tests: Test af kommercielle RTK-tjenester og Test med egen RTK-basestation blev initialiseringstiden testet. Initialiseringstiden i dette projekt bliver defineret, som den tid det tager at geninitialisere.

Testene viser, at initialiseringstiden er afhængig af hvilken GNSS-modtager der anvendes. Her ses det tydeligt at Leica 500 tager længere tid om at geninitialisere, end Trimble R8.

Af RTK-tjenester er det kun GPS Referencen, der er afhængig af afstanden til referencestationen. Der er ikke stor forskel i initialiseringstiden alt efter hvilken RTK-tjeneste der anvendes. Der er kun 1,5 sekund i forskel mellem den hurtigste og langsomste. Det virker til, at valg af GNSS-modtager har større indflydelse på initialiseringstiden.

Modtager	SpiderNet	GPSnet.dk	GPSnet.dk med GLONASS
Leica 500	12,7 sek.	11,6 sek.	
Trimble R8	7,6 sek.	6,4 sek.	6,2 sek.

Tabel 10.4: Gennemsnitlige geninitialiseringstider for Spidernet og GPSnet.dk med og uden GLONASS.

Modtager	Grundtid T_g	Afstandsafhængig tid T_a	Gennemsnit
Leica 500	10,3 sek.	0,22 sek./km	13,0 sek.
Trimble R8	5,8 sek.	0,16 sek./km	7,7 sek.

Tabel 10.5: Grundtiden og den afstandsafhængige tid for de to benyttede modtagere, samt et gennemsnit af de målte geninitialiseringstider for GPS Referencen.

Initialiseringstiden for GPS Referencen kan beregnes som:

$$T = T_g + S \cdot T_a, \text{ hvor}$$

T_g er grundtiden i sekunder

T_a er den afstandsafhængige tid i sekunder pr. kilometer

S er afstanden til referencestationen målt i kilometer

Tidsmæssigt betyder ovenstående resultater formentligt ikke noget for effektiviteten af hverken RTK-tjeneste eller GNSS-modtager, da forskellene er så relativt små.

10.1 Generelle betragtninger

I foranalysen blev det gjort klart, at landinspektører efterspørger dokumentation for, om GNSS RTK-måling kan overholde en præcision på $\frac{1}{3}$ cm for både planen og koten. Der er dog usikkerhed om, hvorvidt præcisionen i planen bliver defineret på

samme måde som i denne rapport, eller om den bliver defineret som

$$\sigma_{Plan} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}.$$

Hvis præcisionen i planen defineres som i denne rapport kan grænsen på $\frac{1}{3}$ cm godt overholdes ved de kommercielle RTK-tjenester når der måles tæt ved referencestationen, hvilket kan ses af Figur 10.1 Ulempen er, at der ikke er mange steder i landet, hvor afstanden til referencestationen er korte nok. Hvis de $\frac{1}{3}$ cm derimod er en σ_{Plan} , så er måling med de kommercielle RTK-tjenester ikke god nok.

Måles der med egen RTK-basestation kan præcisionen på $\frac{1}{3}$ cm kun overholdes i planen, hvis præcisionen i planen bliver defineret på samme måde som i denne rapport. Præcisionen i koten kan dog ikke overholdes. I koten kan det så overvejes at kombinere målingerne med et geometrisk nivellement for at opfylde kravet til præcisionen i koten. Et andet alternativ er at måle punkterne flere gange, da det gælder, at præcisionen bliver \sqrt{n} gange bedre, hvor n er antallet af målinger. For at bringe målingerne med Leica 1200 ned under kravet på $\frac{1}{3}$ cm skal hvert punkt måles 2 gange med uafhængige målinger. Det vurderes at selvom punkterne skal besøges to gange, så vil det ofte være tidsbesparende frem for at kombinere målingerne med andre målemetoder, som eksempelvis måling med totalstation.

Som det fremgår af foranalysen er kravet på $\frac{1}{3}$ cm med henblik på at måle et hovedpunktsnet. Det er derfor usandsynligt at punkterne ikke bliver målt mere end én gang, da der så ikke ville kunne identificeres evt. grove fejl. Så selv om GNSS-målingerne kunne overholde præcisionen ved kun én måling, så ville punkterne nok blive målt minimum to gange alligevel.

Igennem testene i projektet er det observeret, at middelkoordinaterne ikke er ens selvom, det er samme punkt, der er målt. Forskellen mellem middelkoordinaterne er på et par centimeter. Valget af den kommercielle RTK-tjeneste har større betydning for middelkoordinaten end valg af GNSS-modtager. Dette kan konkluderes, idet der er mindre forskel mellem målinger fra samme referencetjeneste med to forskellige GNSS-modtagere, end mellem målinger på tværs af RTK-tjenesterne. Det er derfor ikke lige meget, når målinger der er foretaget med to forskellige RTK-tjenester sammenholdes.

Som afslutning på projektet kan det konkluderes, at præcisionen afhænger af, hvilken RTK-tjeneste der er anvendt, samt afstanden til nærmeste referencestation. Ligeledes har valget af udstyr også betydning for præcisionen.

11 Perspektivering

Udviklingen indenfor GNSS er foregået med stor hast, og denne udvikling ser ud til at fortsætte. Over hele verdenen sker der udvikling inden for satellitnavigationssystemer.

GPS udvikles stadig og en ny generation af satellitter er efterhånden på vej, hvilket sker i takt med, at den løbende vedligeholdelse af systemet sker. Ligeledes er det russiske GLONASS ved at blive opgraderet. Det russiske rumagentur har bedt om yderligere økonomiske bevillinger, så de kan opprioritere GLONASS. [Geoteam 2008d]

I de seneste år er der kommet flere operatører på banen med planer om satellitnavigationssystemer. I Europa er navigationssystemet Galileo under udvikling igennem et samarbejde mellem European Space Agency (ESA) og European Union (EU). Det er planen, at når Galileo er fuldt operationelt, så vil der være 30 satellitter i kredsløb. Projektet har været hæmmet af uenighed i EU i forhold til økonomien til projektet. Ved sidste budgetforhandlinger i EU i december 2007 blev der afsat 3,7 mia. € til fortsat udvikling af projektet, som forventes at være operationelt i 2013. [Europa-Parlamentet 2007]

Andre lande er også i gang med at udvikle satellitsystemer. Eksempelvis i Kina udvikles der på et satellitnavigationssystem, hvor det første del af systemet Beidou-1, består af tre geostationære satellitter og et kontrolsegment på jorden. [Hofmann-Wellenhof et al. 2008, s. 409] Det er planen at videreudvikle systemet til at dække globalt. Systemet kaldes Beidou-2 eller Compass og skal bestå af 35 satellitter, hvoraf 5 skal være geostationære satellitter, mens de øvrige er i kredsløb. De første satellitter er opsendt. [Chinese Defence Today 2007]

Som det er i dag, så er det kun GPSnet.dk, der kan anvende GPS/GLONASS i RTK løsningen. Dette betyder, at der er flere synlige satellitter, og at der dermed kan måles på steder, hvor det ellers ikke er muligt pga. for få satellitter. Når Galileo bliver fuldt operationelt, vil antallet af satellitter øges endnu mere. Nyere GNSS-modtagere er forberedt til at kunne inkludere Galileo i løsningen.

Inden for RTK området er det svært at forudsige om de ekstra satellitter, der kommer med Galileo vil få betydning for kvaliteten af målinger.

Forslag til fremtidige undersøgelser

Der er mange tests, som ikke er medtaget i projektet og der er test som kunne udbygges, men som alle kan have interesse for landinspektørfaget.

Initialisering

I dette projekt er der, som en supplerende test, undersøgt betydningen af forskellen mellem målinger hvor der initialiseres mellem hver, og hvor målingerne bliver foretaget på samme initialisering. Det kan være interessant at gennemføre en dybere undersøgelse af, hvilken betydning initialisering har. Hvad er forskellen i kvaliteten af en række målinger, der er foretaget på én initialisering, frem for målinger hvor der initialiseres mellem hver? En sådan test er interessant at gennemføre, både for målinger med kommercielle RTK-tjenester og med egen RTK-basestation.

Betydning af RTK-tjeneste for koordinat

I dette projekt blev det observeret, at middelkoordinaterne for målinger af samme punkt men med forskellig RTK-tjeneste ikke er ens. I dette projekt blev denne problemstilling ikke undersøgt til bunds. Derfor kan det være interessant at lave yderligere tests for at undersøge, hvilken betydning valg af RTK-tjeneste har for koordinaten.

Korrelation

En test der kunne være interessant at gennemføre er, hvorledes positioner der er bestemt ved hjælp af GNSS-målinger, er korrelerede. Testen skal fastslå, hvor lang tid korrelationen varer. Resultatet kan anvendes til at finde ud af, hvor lang tid der skal gå for at få uafhængige målinger.

Der er efter projektgruppens viden ikke lavet tilbundsående forsøg i Danmark til at belyse denne problematik. På trods af, at det er nok så relevant. Hvis GNSS-målingerne f.eks. skal bruges til et hovedpunktsnet så kræver det minimum to målinger til hvert punkt, for dermed at kunne identificere evt. grove fejl. Her er det naturligvis ikke lige meget, om målingerne af de samme punkter er korrelerede.

RTK-tjenester

Der vil løbende ske udvikling af RTK-tjenesterne, hvorved en tilsvarende test vil være interessant at gennemføre igen.

I fremtiden er det forventet at SpiderNet opgraderes til at anvende en anden metode til netværks RTK, nemlig MAX. Ved samme opgradering vil GLONASS og senere Galileo formentligt også blive en del af løsningen. Herefter vil en kvalitetstest af RTK-tjenester igen være interessant at gennemføre.

Tilgængelige satellitter

Længere ude i fremtiden når GPS er blevet moderniseret, GLONASS er blevet gjort tidssvarende og Galileo er blevet fuldt operationel, vil der være mange satellitter tilgængelige. Hvad har det af betydning for nøjagtighed og præcision?

Svenske forsøg har vist at implementeringen af GLONASS især kommer til sin ret, ved steder, hvor der bliver skygget for satellitsignalet, f.eks. op ad bygninger eller træer. Lignende test kan være interessant efterhånden, som GLONASS bliver udbygget, og når Galileo engang bliver tilgængeligt. Hvis de ekstra satellitter kan gøre, at opmåling kan foretages tæt på obstruktioner, så vil GNSS opmåling kunne benyttes ved betydelig flere målejobs og opgavetyper.

Opmålingstidspunkt

Når der ses på grafer for PDOP værdier er det allerede klart, at kvaliteten af GNSS-målinger svinger i løbet af dagen. Der er tider på dagen, hvor der kan opnås en bedre nøjagtighed end andre. Derfor kan en test af sammenhængen mellem tidspunktet på dagen og kvaliteten af målingerne, være relevant at gennemføre. Ligeledes kan det være interessant at undersøge, om der er tidspunkter på året, hvor det er bedre at måle end andre.

12 Litteraturliste

[Andersen 2005]

Andersen, I. 2005, *Den skinbarlige virkelighed – Vidensproduktion for samfundsvidenskaberne*, 3. Udgave, ISBN: 87-593-1140-1, Forlaget Samfundslitteratur 2005, Frederiksberg.

[Andkjær et al. 2004]

Andkjær, L., Jensen, H. P. og Sørensen, M. M. 2004, *RTK-tjenester i Danmark: en anvendelsesorienteret undersøgelse*, hentet: 15. februar 2008, fra <http://projekter.aau.dk/projekter/retrieve/6145455?format=application/pdf>.

[Bahl 2008]

Bahl, L. 2008, *Norm for RTK-tjenester: Det 60. Nyborgmøde*, Session B, Foredrag ved Fagligt møde 01-02-2008.

[Bech 2006]

Bech, C. 2006, Landmålings kurset, 11. september 2006, Lektion 1, slides, hentet: 5. september 2006, fra <http://www.lsn.aau.dk>.

[BEK nr. 291 af 25/04/2005]

Bekendtgørelse om matrikulære arbejder, BEK nr. 291 af 25/04/2005.

[BEK nr. 1529 af 14/12/2006]

Bekendtgørelse om IT- og Telestyrelsens gebyrer og afgifter i 2007, BEK nr. 1529 af 14/12/2006.

[Cederholm 2005]

Cederholm, J. P. 2005, GPS kurset, Lektion 6, 10. november 2005, slides hentet: 7. september 2005, fra <http://www.land.aau.dk/~pce/kursus.htm>.

[Chinese Defence Today 2007]

Chinese Defence Today, 2007, *Compass Navigation Satellite System (BeiDou 2)*, hentet: 11. april 2008, fra <http://www.sinodefence.com/strategic/spacecraft/beidou2.asp>.

[Christensen 2008]

Christensen, K. S. 2008, *Kombineret GNSS: GLONASS's indflydelse på præcisionen*, hentet: 2. maj 2008, fra <http://projekter.aau.dk/projekter/retrieve/13625896?format=application/pdf>.

[Danmarks Miljøportal 2008]

Danmarks Miljøportal, *Danmarks Arealinformation*, hentet: 17. marts 2008, fra <http://kort.arealinfo.dk/>.

[Dansk Standard 1994]

Dansk Standard, 1994, DS 462, *Norm for registrering af ledninger*, Godkendt: 1994-11-02, 2. udgave.

[Dueholm et al. 2005]

Dueholm, K., Laurentzius, M. og Jensen, A. B. O. 2005, *GPS*, 3. udgave, ISBN: 87-571-2555-4, Nyt Teknisk Forlag, København.

[Eriksen & Lauritzen 2004]

Eriksen, P. S. og Lauritzen, S. L. 2004, *Teknisk Måling: Statistik*, Institut for matematiske fag, Aalborg Universitet, hentet: 4. september 2006, fra <http://www.math.aau.dk/~malene/Undervisning/L7/nyltpnoter.pdf>.

[Europa-Parlamentet 2007]

Europa-Parlamentet, 2007, *Budget 2008 vedtaget: Mere til Galileo og udenrigspolitik*, hentet: 10. april 2008, fra http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/034-15283-344-12-50-905-20071213IPR15281-10-12-2007-2007-true/default_da.htm.

[Geoteam 2006]

Geoteam, 2006, *Mindre ændringer i korrektionsformatet på GPSnet.dk*, hentet: 21. maj 2008, fra <http://www.gpsnet.dk/showcontent.php?nID=288&showSingle=1>.

[Geoteam 2007]

Geoteam, 2007, *GPS og GLONASS på GPSnet.dk*, hentet: 21. maj 2008, fra <http://www.gpsnet.dk/showcontent.php?nID=295&showSingle=1>.

[Geoteam 2008a]

Geoteam, 2008, *Dækningskort*, hentet: 6. maj 2008, fra <http://www.gpsnet.dk/daekning.php>.

[Geoteam 2008b]

Geoteam, 2008, *Om GPSnet.dk*, hentet: 6. maj 2008, fra <http://www.gpsnet.dk/showpage.php?nID=194>.

[Geoteam 2008c]

Geoteam, 2008, *Priser*, hentet: 6. maj 2008, fra <http://www.gpsnet.dk/showpage.php?nID=115>.

[Geoteam 2008d]

Geoteam, 2008, *Rusland opprioriterer GLONASS*, hentet: 19. maj 2008, fra <http://www.geoteam.dk/showcontent.php?nID=322&showSingle=1>.

[Geoteam 2008e]

Geoteam, 2008, *GPSnet.dk & kvalitet*, hentet: 22. maj 2008, fra <http://www.gpsnet.dk/showpage.php?nID=267>.

- [GPS Networking 2008]
GPS Networking, 2008, *GPS Antenna Splitters*, hentet: 7. april 2008, fra <http://gpsnetworking.com/GPS-antenna-splitters.asp>.
- [GPS Referencen 2001]
GPS Referencen, 2001, *Vedtægter*, hentet: 22. maj 2008, fra <http://www.referencen.dk/>.
- [GPS Referencen 2008a]
GPS Referencen, 2008, *Vigtige informationer*, hentet: 17. marts 2008, fra www.referencen.dk.
- [GPS Referencen 2008b]
GPS Referencen, 2008, *Stationer*, hentet: 6. maj 2008, fra <http://www.referencen.dk/>.
- [GPS Referencen 2008c]
GPS Referencen, 2008, *KMS beregning*, hentet: 22. maj 2008, fra <http://www.referencen.dk/>.
- [GPS Referencen 2008d]
GPS Referencen, 2008, *Nøjagtighed*, hentet: 6. maj 2008, fra <http://www.referencen.dk/>.
- [Hansen 2008]
Hansen, B. T. 2008, e-mail, Leica Geosystems A/S, modtaget: 8. maj 2008
- [Hofmann-Wellenhof et al. 2008]
Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. og Wasle, E. 2008, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more*, ISBN: 978-3-211-73012-6, SpringerWienNewYork, Wien.
- [Højbjerg 2006]
Højbjerg, M. 2006, Statistik kurset, Lektion 2, 13. september 2006, slides hentet: 3. september 2006, fra <http://www.math.aau.dk/~malene/Undervisning/L7>.
- [Jensen 2003a]
Jensen, K., 2003, *Landmåling i Teori og Praksis*, ISBN: 87-90893-42-5, Laboratoriet for Geoinformatik, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet.
- [Jensen 2003b]
Jensen, K., 2003, *Øvelser i landmåling*, ISSN: 1397-3169, Laboratoriet for Geoinformatik, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet.

[Jensen & Jepsen 2004]

Jensen, H. V. og Jepsen, C. 2004, *Højdenøjagtighed med GPS – Hvad kan vi forvente?* Landinspektøren, nr. 3, s. 132-139.

[Johnsson & Wallerström 2007]

Johnsson, F. og Wallerström, M. 2007, *En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS*, hentet: 6. marts 2008, fra <http://www.diva-portal.org/hig/abstract.xsql?dbid=130>.

[Kraak.dk 2008]

Kraaks Forlag AS, 2008, hentet: 24. marts 2008, fra <http://www.kraak.dk/Kort.aspx>.

[KMS 2007]

Kort- og Matrikelstyrelsen, 2007, *Bekendtgørelse om matrikulære arbejder - høring af relevante myndigheder, myndigheder m.m.*, hentet: 29. februar 2008, fra http://borger.dk/forside/lovgivning/hoeringsportalen/faktaside?p_hoeringid=1152000079.

[KMS 2008]

Kort- og Matrikelstyrelsen, 2008, *Forslag til norm for RTK-tjenester version v.5: Norm for RTK-tjenester*.

[Knudsen 2005]

Knudsen, M. B. 2005, *Undersøgelse af RTK Teknikker*, hentet: 5. februar 2008, fra http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/4159/pdf/imm4159.pdf.

[Leica 1999]

Leica Geosystems, 1999, *GPS Surveying – System 500*, hentet: 27. maj 2008, fra http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/downloads/lgs_page_catalog.htm?cid=2703.

[Leica 2002]

Leica Geosystems, 2002, *GPS system 500: Technical Reference Manual: Version 4.0*, English.

[Leica 2004]

Leica Geosystems, 2004, *Leica Sprinter: Brugervejledning: Version 1.1*, Dansk.

[Leica 2005]

Leica Geosystems, 2005, *GPS SpiderNET – Take it to the MAX*, hentet: 3. marts 2008, fra <http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=5367>.

[Leica 2006]

Leica Geosystems, 2006, *Leica DNA digital levels: Advantages that move you ahead*, hentet: 7. april 2008, fra http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/products/levels/lgs_5287.htm.

[Leica 2007]

Leica Geosystems, 2007, *Leica GPS1200 Series - Technical Data*, hentet: 18. marts 2008, fra http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/products/total_stations/lgs_4521.htm.

[Leica 2008a]

Leica Geosystems, 2008, *System 1200 Newsletter No. 52: RTK Networks – An Introduction*, hentet: 28. februar 2008, fra www.leica-geosystems.com/corporate/en/support/lgs_page_catalog.htm?cid=4660.

[Leica 2008b]

Leica Geosystems, 2008, *System 1200 Newsletter No. 53: RTK Networks – Different Methods*, hentet: 15. februar 2008, fra http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/support/lgs_page_catalog.htm?cid=3272.

[Leica 2008c]

Leica Geosystems, 2008, *Leica GPS1200 series: GNSS systemet med høj ydeevne*, hentet: 27. maj 2008, fra http://www.leica-geosystems.com/dk/da/SmartRover_Brochure.pdf.

[Lov nr. 749 af 07/12/1988]

Lov om Kort- og matrikelstyrelsen, Lov nr. 749 af 07/12/1988.

[Madsen et al. 2007]

Madsen, S. A. Nielsen, L. T. og Aaen, M. B. 2007, *Kombineret GNSS – Giver det nye anvendelsesmuligheder?* hentet: 2. maj 2008, fra <http://projekter.aau.dk/projekter/retrieve/13982276?format=application/pdf>.

[Madsen 2008]

Madsen, T. N. 2008, *Præcision og nøjagtighed*, hentet: 4. juni 2008, fra http://www1.sdu.dk/Nat/Chem/research/environ/courses_info/KA69/KA69_F06-Præcision_og_noejagtighed.pdf.

[NOAA 2008]

NOAA Space Environment Center 2008, *Solar Cycle 24 Prediction*, hentet: 10. april 2008, fra <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/SC24/index.html>.

[PNT 2008]

Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, The National Executive Committee, 2008, hentet: 5. juni 2008, fra http://pnt.gov/public/images/IIR-M_2.jpg.

[Referencenet 2007]

Rådet for Danmarks Geografiske Referencenet 2007, *Om GPS-referencen*, hentet: 15. februar 2008, fra www.referencenet.dk/GNSS_erfaringer/RTK_tjenester/om_gps_referencen.htm.

[SGT JD 2008]

SGT JD, 2008, hentet: 5. juni 2008, fra <http://www.sgtjd.com/Star%20Shots/Stars%201.JPG>.

[SIDC 2008]

SIDC – Solar Influence Data Analysis Center, 2008, *Sunspot index graphics*, hentet: 10. april 2008, fra http://sidc.oma.be/sunspot-index-graphics/sidc_graphics.php.

[The Village Voice 2008]

The Village Voice, 2008, hentet: 5. juni 2008, fra <http://blogs.villagevoice.com/runninscared/Earth.jpg>.

[Trimble 2008]

Trimble 2008, *Trimble R8 GNSS system Datablad*, hentet: 19. maj 2008, fra http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-324311/022543-079F-DK_TrimbleR8GNSS_DS_0507_lr.pdf

[VEJ nr. 46 af 18/04/2001]

Vejledning om matrikulære arbejder, VEJ nr. 46 af 18/04/2001.

[Villadsen & Madsen 2002]

Villadsen, S. S. og Madsen, K. 2002, *RTK test udført ved Kort og Matrikelstyrelsen*, hentet: 5. februar 2008, fra ftp2.kms.dk/download/pdf/RTKtest_samlerapport.pdf.

[Villadsen & Madsen 2003]

Villadsen, S. S. og Madsen, K. 2003, *Test af Netværks RTK og Enkelstati-
ons RTK*, hentet: 5. februar 2008, fra <ftp2.kms.dk/download/pdf/rtktest082002.pdf>.

[Vollath et al. 2002a]

Vollath, U., Landau, H. og Chen, X. 2002, *Network RTK – Concept and Performance*, hentet: 5. februar 2008, fra <http://gpsnet.dk/showimg.php?ID=371>.

[Vollath et al. 2002b]

Vollath, U., Landau, H., Chen, X., Doucet, K. og Pagels, C. 2002, *Network RTK Versus Single Base RTK – Understanding the Error Characteristics*, hentet: 5. februar 2008, fra <http://gpsnet.dk/showimg.php?ID=372>.

[Wanninger 2006a]

Wanninger, L. 2006, *Introduktion to Network RTK*, hentet: 19. maj 2008, fra <http://www.network-rtk.info/intro/introduction.html>.

[Wanninger 2006b]

Wanninger, L. 2006, *Concepts of Networked DGPS/RTK and User Communication Link Options*, Slides fra: NTRIP Symposium: Streaming GNSS Data via Internet – 6. /7. February 2006, Frankfurt am Main, Germany.

[Wübbena et al. 2001]

Wübbena, G., Bagge, A. og Schmitz, M. 2001, *Network-Based Techniques for RTK Applications*, hentet: 18. februar 2008, fra http://www.geopp.de/download/gpsjin01_p.pdf.

Bilagsoversigt

Bilag A, Præsentation af udstyr.....	B3
Bilag B, Databehandling_obs.tid.....	B7
Bilag C, Sammenligning af middelkoordinater.....	B11
Bilag D, Interview	CD
Bilag E, Observationstid.....	CD
Bilag F, RTK-tjenester	CD
Bilag G, Egen base	CD
Bilag H, Initialiseringstid	CD
Bilag I, Litteratur.....	CD
Bilag J, Rapport.....	CD

CD oversigt

- [-] Bilag CD
 - [-] Bilag A, Præsentation af udstyr
 - [-] Bilag B, Databehandling_obs.tid
 - [-] Bilag C, Sammenligning af middelkoordinater
 - [-] Bilag D, Interview
 - [-] Bilag E, Observationstid
 - [-] Datafiler og MatLab scripts
 - [-] GPSnet.dk
 - [-] GPSnet.dk, Trimble
 - [-] Referencen
 - [-] SpiderNet
 - [-] Rådatafiler
 - [-] Leica
 - [-] 0310net
 - [-] 0310netb
 - [-] 0310ref
 - [-] 0310refb
 - [-] 0310spider
 - [-] 0310spiderb
 - [-] Trimble
 - [-] Bilag F, RTK-tjenester
 - [-] Datafiler og MatLab scripts
 - [-] Leica
 - [-] Har fjernet grove fejl
 - [-] Med grove fejl
 - [-] Trimble
 - [-] Har fjernet grove fejl
 - [-] Uden grove fejl
 - [-] Rådatafiler
 - [-] Leica
 - [-] Trimble
- [-] Bilag G, Egen base
 - [-] Datafiler og MatLab scripts
 - [-] 1ini
 - [-] 500GPS
 - [-] Kote plot
 - [-] Midlet over alle pkt
 - [-] Midlet over pkt 11
 - [-] 1200GNSS
 - [-] Kote plot
 - [-] Midlet over alle pkt
 - [-] Midlet over pkt 11
 - [-] 1200GPS
 - [-] Kote plot
 - [-] Midlet over alle pkt
 - [-] Midlet over pkt 11
 - [-] Geometrisk nivellement
 - [-] PDOP og antal satellitter
 - [-] Rådatafiler
 - [-] Leica 500
 - [-] Leica 1200
- [-] Bilag H, Initialiseringstid
 - [-] Egen base
 - [-] Referencestation
- [-] Bilag I, Litteratur
- [-] Bilag J, Rapport

Bilag A

Præsentation af udstyr

I dette afsnit bliver det udstyr, der anvendes i testene præsenteret. Der bliver i dette projekt brugt tre forskellige typer GNSS-modtagere, en antennesplitter og et nivel-instrument.

Trimble R8

Trimble R8 er en flerkanals multi-frekvens geodætisk GNSS-modtager. Antennen er en R8 model 2 antenne. Den benytter en TSC2 terminal som får data fra antennen ved en bluetooth forbindelse.

Til kommunikation med andre modtagere kan benyttes en indbygget GSM/GPRS modem eller 450 MHz radiomodem, hvor der i dette projekt bliver brugt en GSM forbindelse. [Trimble 2008]



Figur A.1: Trimble R8 antenne og terminal.

Leica GPS System 500

Der bliver benyttet tre Leica GPS-modtagere af GPS System 500, som er en to frekvent geodætisk GPS-modtager. Det består af en SR530 modtager, en AT502 antenne og en TR500 terminal. GPS-modtageren kan kommunikere med andre modtagere med et GSM modem eller et radiomodem. I dette forsøg bruges GSM modemet. Fremover vil denne GPS-modtager blive benævnt som Leica 500.



Figur A.2: Leica 500. [Leica 2002, s. 11]

Leica GPS1200

Leica 1200 base/rover system med GLONASS er venligst er udlånt af Leica Geosystems i Herlev.

Roveren består af en RX1250T terminal med en ATX1230 GG antenne og en GHT56 holder. Figur A.3 viser et billede af antennen og terminalen.

Roverens antenne og terminal kan anbringes på en 2 m antennestok.



Figur A.3: Leica GPS1200.

Basen er af modellen GX1230GG med en AX1202GG antenne og en RX1210T terminal. Figur A.4 viser GNSS-modtageren med antenne og terminal.

Basens antenne kan anbringes på en antennebærer inkl. fodstykke.



Figur A.4: Leica GPS1200. [Leica 2008c]

Både basens og roverens antenne kan måle til både GPS og GLONASS satellitter. Til modtagerne hører et GSM modem med tilhørende antenne og SIM kort. Data bliver lagret på et CF datakort.

Begge GNSS-modtagere er dobbeltfrekvente geodætiske modtagere, der kan måle på 72 kanaler. [Leica 2007, s. 3]

Fremover vil disse GNSS-modtagere blive benævnt som Leica 1200.

De tre modtagere har forskellige specifikationer for, hvilke signaler de kan modtage. Der er tre bærebølger: L1, L2 og L5, hvorpå navigationsmeddelelsen og de forskellige koder er påmoduleret. Tabel A.1 viser, hvilke signaler de forskellige GNSS-modtagere kan modtage signaler fra.

Bærebølge	Koder	Leica 500		Leica 1200		Trimble R8	
		GPS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	
L1	C/A	X	X	X	X	X	
	P	X	X			X	
L2	P	X	X	X		X	
	L2C		X		X		
L5	L5C		X		X		

Tabel A.1: Oversigt over de signaler GNSS-modtagerne kan modtage. [Leica 1999][Leica 2007][Trimble 2008]

Antennesplitter

Da der kun vil blive brugt én antenne til tre Leica 500 modtagere benyttes en antennesplitter fra GPS Networking. Splitteren er en LDCBS1X4 GPS Amplified Splitter, som kan dele et enkelt indgående signal i fire. Splitteren kan håndtere signaler fra GPS og GLONASS. I den normale opsætning leverer GNSS-modtageren i indgang J1 strøm til splitteren, som skal bruge det til antennen og den indbyggede signalforstærker. Figur A.5 viser et billede af splitteren. [GPS Networking 2008]



Figur A.5: LDCBS1X4 GPS Amplified Splitter. [GPS Networking 2008]

Leica DNA 03

Leica DNA 03 er et digitalt præcisions nivellerinstrument. Når instrumentet bliver anvendt med et invarstadie og elektronisk måling, så kan nøjagtigheden på højdemålingen overholde en standardafvigelse pr. km. dobbeltforløb på 0,3 mm.

Instrumentet har indbygget elektrooptisk distancemåler. Afstanden mellem instrument og stadie er anbefalet til at være mellem 1,8 m og 60 m. Den kan dog måle op til 110 m.

Kompensatoren er en magnetdæmpet pendul-kompensator med elektronisk rækkeviddeovervågning. Figur A.6 viser et billede af instrumentet. [Leica 2006]



Figur A.6: Leica DNA 03.

Bilag B

Databehandling, Test af observationstid

Det var fra starten meningen, at alt data fra hver GPS-modtager skulle lagres i samme job. Memorykortet ved én af Leica GPS-modtagerne blev imidlertid fyldt op sidst på dagen, hvorfor de allerede indsamlede data fra de tre Leica modtagere blev lagt ind på en computer, så memorykortene kunne formateres og målingerne fortsættes. Derfor ligger dataene fra Leica modtagerne i to jobs, mens dataene fra Trimble modtageren ligger i samme job. Jobbene hedder følgende:

Trimble: gpsnet0310.gps
Leica: 0310ref og 0310refb
 0310net og 0310netb
 0310spider og 0310spiderb.

Målingerne med Leica modtagerne er foretaget i Kp2000j og DVR90, mens målingerne med Trimble modtageren er foretaget i UTM32/EUREF89 og DVR90. At det er i to forskellige koordinatsystemer har ingen betydning, da koordinaterne fra Leica modtagerne og Trimble modtageren alligevel ikke skal sammenlignes.

På GPS Referencens hjemmeside står der, at der har været problemer med en ny satellit når der benyttes en Leica 500. Der kan opstå problemer med at opnå en tilstrækkelig nøjagtighed, hvilket kan løses ved at deaktivere den nye satellit. Efter kort tids måling opstod der også problemer med nøjagtigheden, hvorfor satellit 32 blev deaktiveret efter den vejledning, som ligeledes lå på hjemmesiden. Efter satellitten blev deaktiveret, så var der ikke problemer med at opnå tilstrækkelig nøjagtighed. [GPS Referencen 2008a]

Databearbejdning

Efter målingerne er indhentet, skal dataene behandles. Først skal data eksporteres fra GPS-modtagerne. Det var meningen at Leica modtagernes konverteringsfunktion skulle benyttes, men da der var flere målinger med samme punktnummer, da måtte rådatafilerne konverteres i programmet LEICA Geo Office (LGO).

Når koordinatfilerne er klargjort kan databehandlingen påbegyndes. Databehandlingen er foretaget i programmet MatLab. Her beregnes en middelkoordinat for alle målingerne og en afstand hertil for alle målingerne. Herefter grupperes punkterne i intervaller for derefter at beregne, hvor mange epoker det er mest hensigtsmæssigt at bruge.

Konvertering

Som nævnt var der ved målingerne med Leica modtagerne flere punkter med samme nummer. For at komme omkring dette problem, blev rådatafilerne konverteret vha. LGO.

For at undgå at LGO lavede et middel af punkterne med samme nummer, blev grænsen sat ned til 0,000 m, for hvornår LGO automatisk lavede et middel af koordinaterne. Herefter skulle dataene konverteres til et håndterbart format. Hertil benyttes funktionen *Export ASCII data*, hvor filerne blev gemt som txt filer. Herunder er der mulighed for at opsætte hvilke data, der skal gemmes i den txt fil. Opsætningen kan ses i bilag E, men i hovedtræk blev LGO sat op til at gemme punkt nr., E- og N-koordinaten, koten, standardafvigelsen i E, N og H, samt tiden for den enkelte måling. Koordinaterne blev gemt i Kp2000j og DVR90. Rådatafilerne ligger i bilag E. De konverterede txt filer ligger i bilag E og er navngivet:

0310ref_A.txt og 0310ref_B.txt

0310net_A.txt og 0310net_B.txt

0310spider_A.txt og 0310spider_B.txt.

Der var ikke samme problem med punktnumrene fra målingerne foretaget med Trimble modtageren, hvorfor målingerne kunne eksporteres direkte fra modtageren. Dataene ligger som en csv-fil og hedder gpsnet0310.gps.csv, som kan ses i bilag E.

Databehandling

Efter filerne var konverteret kunne selve databehandlingen påbegyndes. Dataene fra Leica modtagerne og Trimble modtageren blev behandlet lidt forskelligt, hvorfor de indledende bliver beskrevet hver for sig.

Data fra Leica 500 modtagerne

Det første som blev gjort, var at samle de to tekst filer fra konverteringen til én, hvor den nye fil kom til at hedde f.eks. 0310ref_A+B.txt. Samlingen blev gjort ved, at målingerne i fil B blev kopieret ind efter målingerne i fil A. Herefter fjernes alle punkter hvor standardafvigelsen i E eller N var over 5 cm.

Efter konverteringen i LGO indeholdt tekstfilerne tiden udtrykt i dato/måned/år og timer/minutter/sekunder. For nemmere at kunne arbejde med målingerne blev timer/minutter/sekunder omdannet til sekunder. Dette blev gjort i Excel i filerne: Tid_ref.xls, Tid_net.xls og Tid_spider.xls.

Herefter blev tiden udtrykt i sekunder kopieret tilbage i filen 0310ref_A+B.txt mv. Til sidst blev målingerne sorteret efter tiden udtrykt i sekunder vha. tekstbehandlingsprogrammet TextPad.

Da der var flere tidshuller i datasættene fra Leica modtagerne, var det nødvendigt, at kunne sortere dem efter tid og opdele dataene i flere filer, hvor hver fil indeholdt en ubrudt målestreng. Tidshullerne blev fundet ved at kopiere tiden i sekunder ind i et excelark i samme fil som før. Herefter blev tidsdifferencen mellem to efterfølgende målinger beregnet og alle steder hvor differencen var over 30 sekunder blev fundet. Den oprindelige fil 0310ref_A+B.txt kunne så opdeles i flere filer, som blev kaldt 0310ref_A+B_1.txt, 0310ref_A+B_2.txt osv., hvor der så ikke er tidshuller på mere end 30 sekunder.

Data fra Trimble R8 modtageren

Der var kun ét tidspunkt, hvor der opstod et tidshul, hvilket var da batteriet blev skiftet, hvor punktnummeret som modtageren var nået til blev noteret. Dataene er derfor kun delt op i to filer: gpsnet0310.gps_1.txt og gpsnet0310.gps_2.txt.

Videre databehandling

Efter de opsplittede filer var lavet kunne de reelle beregninger foretages. Først blev der beregnet en middellokation for hver referencetjeneste, som målingerne kunne holdes op imod. Beregningen blev foretaget i MatLab med scriptet: `Middel_koordinat.m`. Koordinaten var beregnet som et middel af E, N og H fra filerne 0310ref_A+B.txt mv. Dvs. der var én "sand" koordinat til hver referencetjeneste på nær ved målingerne foretaget med Trimble modtageren. For at kunne skifte batteriet på Trimble modtageren var det nødvendigt at tage antennen ned. Her var der tvivl om, hvorvidt antennen var placeret eksakt samme sted, hvilket vil give en anden koordinat. Derfor blev der beregnet to "sande" koordinater, én til hver tekstfil. Senere, da der var blevet beregnet koordinatdifferencer, blev de dog samlet under ét. Herefter kunne koordinatdifferencerne beregnes. Målingerne blev delt op i intervaller på 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105 og 120 sekunder. Differencerne blev beregnet med MatLab scripterne: `Differens_1_sekund.m`, `Differens_5_sekund.m` osv. Hvert script beregnede afstande i planen og koten og gemte dem i tekst filerne: `Differens_1_sekunder.txt` osv. Herefter blev der beregnet en præcision med scriptet: `Praecision.m` og en maksimum-, minimum- og middelfastand med scriptet `MAX_MIN_Middeldifferens.m`. Alle MatLab scriptene og beregningsfilerne kan ses i bilag E.

Bilag C

Fra: Sammenligning af middelkoordinater.txt
 Middelkoordinater/sande koordinater til hver punkt opdelt efter referencetjeneste og GPS-modtager,
 fratrukket en konstant svarende til midlingen af middelkoordinaterne for hvert punkt.

	Pkt.1	Pkt.2	Pkt.3	Pkt.4	Pkt.5	Pkt.6	Pkt.7	Pkt.8	Pkt.9
	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]	[E,N,H] [mm]
GPS Referencen, Leica	(1,-21, 9)	(1,-12, 2)	(-1,-12, -4)	(2,-11, -4)	(2,-6, -5)	(1,-1, -5)			
GPS Referencen, Trimble	(4,-13, 2)	(-1,-14, 8)	(-0, -3, -5)	(-2, -4,-11)	(-1,-3,-10)	(1,-0,-10)			
SpiderNet, Leica	(-0, 2,-7)	(2, 6,-7)	(2, -1,-5)	(4, -2, -5)	(3,-1, -4)	(1,-3, 3)			
SpiderNet, Trimble	(2, 5,-7)	(2, 5, 1)	(2, 3, 5)	(1, 3, 7)	(1,-0, 4)	(2,-2, 12)			
GPSnet.dk, Leica	(-2, 9, 7)	(-1, 8, 3)	(1, 1, 4)	(1, 2, 11)	(1, 3, 8)	(-0, 1, 0)	(1,-2, 5)	(-2, 1,-27)	(2, 1,-28)
GPSnet.dk, Trimble	(-2, 9,-1)	(-1, 4,-5)	(-2, 7, 2)	(-2, 6, 3)	(-2, 4, 2)	(-0, 1, -2)	(0, 0,-3)	(2,-2, 13)	(-1,-3, 11)
GPSnet.dk med GLONASS, Trimble	(-1, 10,-3)	(-2, 3,-3)	(-2, 6, 3)	(-5, 7, 1)	(-4, 3, 4)	(-4, 4, 2)	(-1, 2,-2)	(0, 1, 13)	(-1, 3, 16)
Maksimal difference	(6, 30,16)	(4, 22,14)	(4, 19, 10)	(9, 18, 22)	(8,10, 17)	(5, 6, 23)	(2, 4, 7)	(4, 4, 40)	(4, 6, 44)

Forskellen mellem Leica- og Trimbe-målingerne fordelt efter referencetjeneste (Leica minus Trimble)

GPS Referencen	(-3, -8, 7)	(1, 2,-5)	(-1, -9, 0)	(4, -7, 7)	(2,-3, 5)	(-0,-0, 5)			
Spidernet	(-2, -3, 1)	(0, 1,-8)	(-0, -4,-10)	(3, -5,-12)	(2,-0,-8)	(-0,-1,-10)			
GPSnet.dk	(0, 0, 8)	(-0, 3, 7)	(3, -6, 3)	(4, -3, 8)	(3,-2, 6)	(0,-0, 2)	(0,-2, 7)	(-4, 4,-40)	(3, 4,-39)
GPSnet.dk, Trimble minus	(-1,-1, 2)	(1, 1,-2)	(1, 1,-1)	(2,-1, 2)	(2, 1, -2)	(3,-2,-4)	(2,-2,-1)	(2,-3, 0)	(1,-6, -5)
GPSnet.dk med GLONASS, Trimble									

I projektet bliver der lavet en kvalitetsundersøgelse af GNSS RTK måling.

Foranalysen belyser, hvordan GNSS RTK fungerer og der ses på hvilke kommercielle RTK tjenester, der er i Danmark. Ved interview med tre landinspektorer belyses deres brug af GNSS RTK-måling, samt håb for fremtidige anvendelsesmuligheder.

I projektets hovedanalyse tages der udgangspunkt i fire problemstillinger. For det første undersøges, hvor mange epoker en GNSS måling skal bestå af. Det findes at 10 epoker er det optimale for en måling.

For det andet undersøges, hvilken indflydelse afstanden til nærmeste reference-station har på præcisionen, når der anvendes kommercielle RTK tjenester. Alle RTK tjenesterne blev påvirket af afstanden i større eller mindre grad. Det blev fundet, at SpiderNet er bedst ved korte afstande. GPSnet.dk med GPS er bedst i planen fra 7 km, og GPSnet.dk med GPS/GLONASS er bedst i koten fra 3 km.

For det tredje undersøges præcisionen ved måling med GPS eller GPS/GLONASS med egen basestation. Målingerne blev ikke bedre ved at bruge GPS/GLONASS. Fordelen ved at anvende egen basestation frem for en kommerciel RTK-tjeneste er, at de korte afstande giver en bedre præcision.

Til sidst undersøges om initialiseringstiden påvirkes af RTK-tjenesten og/eller afstanden til referencestationen. GPS Referencen er den eneste, hvor tiden steg med afstanden. Desuden var GPS Referencen langsomt og GPSnet.dk hurtigst, dog var forskellen beskedent.

