

Forord

Formålet med dette projekt er at undersøge mulighederne for anvendelsen af GPS til teknisk måling i en grønlands kommune. Projektet er udført som et eksamensprojekt ved Informatik og Matematisk Modellering, DTU i perioden 1. august 2002 til 1. februar 2003.

Gennem hele projektet har en lang række personer vist interesse for projektet og bidraget med både praktisk hjælp og gode idéer. Her skal især nævnes Finn Petterson, Sisimiut Kommune og Hans Wiggo Knudsen, Permagreen, der begge har bidraget med praktiske overvejelser og idéer. Der skal også lyde en tak til Center for Arktisk Teknologi, der har ydet en stor hjælp i forbindelse med opholdene i Sisimiut.

En stor tak skal gå til Fartato Olsen og hans familie, der i 6 uger stillede hus og hjerterum til rådighed.

Tak til Keld Dueholm, IMM, for mange gode råd og idéer i projektets indledende fase.

Endelige en stor tak til Professor Ole Jacobi, der har fungeret som vejleder på projektet. Undervejs har han stået bag mange spændende diskussioner og ydet moralsk opbakning, når der var behov for det.

Henrik Gosvig Thomsen
1. februar 2003

Abstract

The purpose of this thesis is to investigate the possibilities of using GPS for technical surveying in a Greenlandic municipality. In order to cover as many different types of jobs as possible, the focus is set on Real Time Kinematic (RTK) GPS.

The first chapters deals with basic terms and methods of GPS measuments and the theory behind the processing of GPS observations is introduced.

Then, based on practical experiments elements as accuracy, radio coverage and potential strengths and weaknesses are discussed.

The work includes setting up a permanent GPS reference station, testing the radio coverage of the reference station and the accuracy of RTK measuments, evaluating the accuracy of the excisting benchmarks and discussing the potential of RTK with local administrators and building contractors.

The main conclusion of this thesis is that Real Time Kinematic GPS is found to be a promising tool for technical surveying since it offers accuracies quite similar to traditional surveying and at the same time it is quicker and more manpower efficient

Indholdsfortegnelse

INDLEDNING	7
1 METODER OG BEGREBER	11
1.1 OPBYGNINGEN AF GPS	11
1.2 MÅLEMETODER	12
1.2.1 <i>Statiske målinger</i>	12
1.2.2 <i>Kinematiske målinger</i>	12
1.3 FEJLBIDRAG VED GPS-MÅLINGER	13
1.3.1 <i>Multipath</i>	13
1.3.2 <i>Antenne Fasecenter Flytning</i>	14
1.3.3 <i>Modtagerstøj</i>	15
1.4 DOP-BEGREBET	15
2 BEREGNINGSPRINCIPPER	17
2.1 DIFFERENSDANNELSER	17
2.1.1 <i>Enkelt differensen</i>	19
2.1.2 <i>Dobbeltdifferensen</i>	20
2.1.3 <i>Tripeldifferensen</i>	21
2.2 BESTEMMELSE AF PERIODEKONSTANTERNE	22
2.3 TO-FREKVENT FASEMÅLING	22
2.4 NØJAGTIGHED VED FASEMÅLING	23
2.5 KINEMATISK MÅLING	23
2.6 INITIALISERING	24
2.7 REAL-TIME KINEMATISK MÅLING	25
3 PROJEKTETS TILBLIVELSE	27
3.1 IDÉFASEN	27
3.2 OPBYGNING	27
3.3 ARBEJDET I SISIMIUT	28
4 BEHOVSANALYSE	29
4.1 BRUGERE I SISIMIUT	29
4.1.1 <i>Opgavetyper</i>	29
4.1.2 <i>Nøjagtighedskrav</i>	30
4.2 EKSEMPLER FRA DANMARK	30
4.3 DELKONKLUSION	32
5 TRIMBLE 5700 GPS RECIEVER	33
5.1 INSTRUMENTET	33

5.2	FUNKTIONER	33
5.2.1	<i>Auto Calibration</i>	34
5.2.2	<i>Stakeout</i>	34
5.2.3	<i>Roding</i>	34
5.2.4	<i>Cogo Functions</i>	34
5.3	EGNE ERFARINGER	35
6	FIKSPUNKTSNETTET I SISIMIUT	37
6.1	ETABLERING AF NETTET	37
6.1.1	<i>Oprindelse</i>	37
6.1.2	<i>Fikspunkterne i dag</i>	39
6.2	KOORDINATTRANSFORMATIONER	40
6.2.1	<i>Plane koordinater</i>	40
6.2.2	<i>Højder</i>	41
6.3	OPMÅLING AF FIKSPUNKTER	42
6.3.1	<i>Formål</i>	42
6.3.2	<i>Forsøgsbeskrivelse</i>	43
6.3.3	<i>Delkonklusion</i>	43
6.4	SAMMENLIGNING AF KOORDINATLISTER	43
6.4.1	<i>Asiaq REFGR96 – KMS</i>	45
6.4.2	<i>Asiaq REFGR96 – Asiaq lokal</i>	45
6.4.3	<i>Asiaq REFGR96 – HGT</i>	45
6.4.4	<i>KMS – HGT</i>	45
6.4.5	<i>Asiaq lokal – HGT</i>	46
6.4.6	<i>Delkonklusion</i>	46
6.4.7	<i>Ny plan Helmert-transformation for Sisimiut</i>	47
7	REFERENCESTATION I SISIMIUT	49
7.1	BESKRIVELSE AF PUNKT JHS3	50
7.2	INSTRUMENTERING AF JHS3.....	51
7.3	INDMÅLING AF JHS3	51
7.4	REMOTE ACCES	52
7.5	FORSØGSOPSTILLING.....	52
8	REFERENCESTATIONENS DÆKNINGSOMRÅDE .	53
8.1	FORMÅL	53
8.2	FORSØGSBESKRIVELSE.....	53
8.3	DELKONKLUSION.....	55
9	NØJAGTIGHEDSUNDERSØGELSE AF RTK.....	57
9.1	FORMÅL	57
9.2	FORSØGSBESKRIVELSE.....	57
9.3	DELKONKLUSION.....	61
10	REPRODUCERBARHED MED RTK.....	63

10.1	FORMÅL	63
10.2	FORSØGSBESKRIVELSE	63
10.2.1	<i>Forsøg A</i>	64
10.2.2	<i>Forsøg B</i>	68
10.2.3	<i>Forsøg C</i>	69
10.3	DELKONKLUSION	70
11	PERSPEKTIVERING.....	71
11.1	TEKNISKE MANGLER.....	71
11.2	EJERSKAB OG ADMINISTRATION.....	71
12	KONKLUSION	73

Bilagsoversigt

Bilag 1	Processing summary for statistisk indmåling af fikspunkter
Bilag 2	Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter
Bilag 3	Koordinatliste for 25 ny-indmålte fikspunkter
Bilag 4	Sammenligning af koordinatlister
Bilag 5	Sammenligning af Asiaq REFGR96 og KMS
Bilag 6	Sammenligning af Asiaq REFGR96 og Asiaq lokal
Bilag 7	Sammenligning af Asiaq REFGR96 og HGT
Bilag 8	Sammenligning af KMS og HGT
Bilag 9	Sammenligning af Asiaq lokal og HGT
Bilag 10	Ny transformations-beregning
Bilag 11	Processing report for indmålingen af JHS3
Bilag 12	RTK-dækning, hele byen
Bilag 13	RTK-dækning, udsnit af byen
Bilag 14	Observationer fra RTK-test
Bilag 15	Sammenligning af RTK og statiske målinger
Bilag 16	Afstandsafhængighed
Bilag 17	RTK-forsøg uden re-initialisering, plan
Bilag 18	RTK-forsøg med re-initialisering, plan
Bilag 19	RTK-forsøg uden re-initialisering, kote
Bilag 20	RTK-forsøg med re-initialisering, kote
Bilag 21	Dagsforsøg med RTK, plan
Bilag 22	Dagsforsøg med RTK, kote
Bilag 23	Vejledning til NetOp Remote Acces

Indledning

Anvendelsen af GPS er vokset markant i løbet af de senere år. Tidligere var det nødvendigt med lange observationstider og efterfølgende post processering. Men med udviklingen af Real Time Kinematisk (RTK) GPS er man nu i stand til at indsamle koordinater og udføre afsætninger i sand tid.

Både offentlige myndigheder og private virksomheder har taget RTK GPS til sig. Kort & Matrikelstyrelsen (KMS) oplyser, at de matrikulære målinger, som KMS modtager, i større og større grad bliver udført med GPS. Fra stort set ingen i 1994 til omkring 5% i 1997 og knap 40% i 1999, og andelen er klart stigende [Villadsen, jan. 2002].

Denne rapport er resultatet af et samarbejde med Sisimiut Kommune beliggende på Grønlands vestkyst. Kommunen var i vinteren 2002 ved at undersøge mulighederne for anvendelsen af GPS til forskellige opgaver og ville gerne vide mere om nøjagtigheder og anvendelser. Under de indledende samtaler blev det hurtigt klart, at RTK GPS var den mest optimale metode både med hensyn til nøjagtigheder og antallet af opgaver, der kunne løses. Derfor beskæftiger dette projekt sig udelukkende med RTK GPS.

Projektets formål er at undersøge *anvendeligheden af GPS til teknisk måling i en grønlandsk kommune*, herunder:

- Hvad skal der til af udstyr ?
- Hvor nøjagtigt kan man regne med at det er ?
- Hvad skal man tage højde for i forbindelse med etablering og brug ?
- Hvem kan få glæde af det og til hvilke opgaver ?

Asiaq har også vist interesse i projektet, idet de har overvejet mulighederne for at etablere permanente GPS-referencer i flere af de grønlandske byer.

Alle forsøg og opmålinger er lavet i Sisimiut og omegn. Det vil rapporten bære tydeligt præg af. Det forventes dog, at resultaterne i meget vid udstrækning også vil gælde andre steder.

Denne rapport starter med en introduktion til måling med GPS. Det er ikke tænkt som en lærebog, men det er med for at give en idé om hvilke faktorer, der skal tages hensyn til ved måling med GPS. Derefter kommer et teoretisk kapitel om beregningerne, der ligger til grund for positionsbestemmelse med GPS.

Den resterende del af rapporten beskæftiger sig med arbejdet i Sisimiut: Opstilling og test af referencestationen, mulige anvendelsesområder og samarbejder.

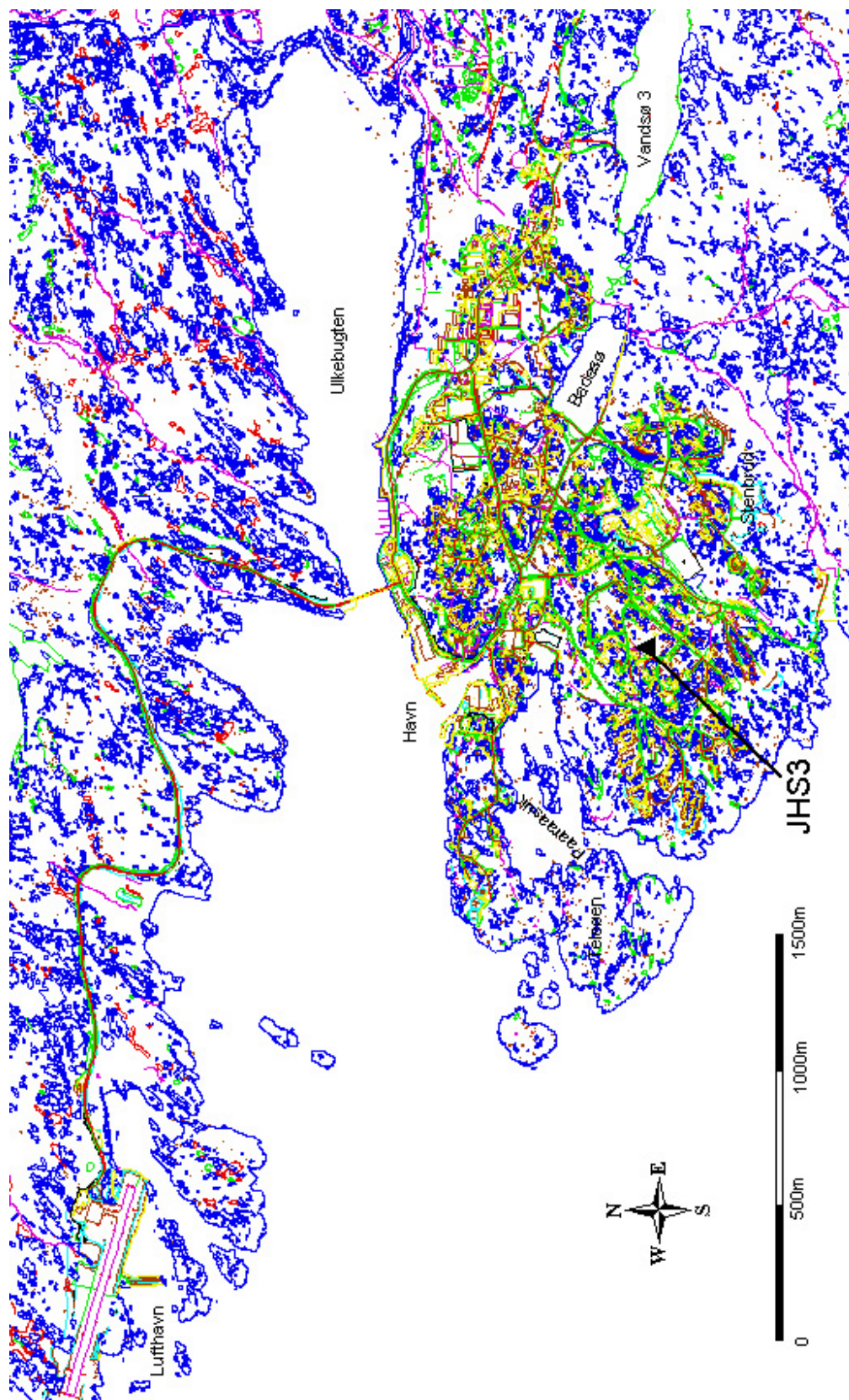
Når koordinater, opmålinger osv. bliver sammenlignet, vil der ofte blive vist en tabel med en oversigt over samtlige observationer. Her vil være oplysninger om gennemsnittet, spredningen samt den største afvigelse til begge sider (benævnt henholdsvis *Min. afvigelse* og *Max. afvigelse*).

De største afvigelser er medtaget for at vise, "hvor galt det kan gå". Det har stor betydning, idet RTK-målinger bygger på ganske få observationer og – i praksis – sjældent kontrolleres.

Projektet har kørt i 2002, og til trods for at der tales meget om den europæiske pendant til NAVSTAR GPS, *Galileo*¹, er det ikke inkluderet i projektet. En kombineret NAVSTAR/Galileo-modtager må forventes at få langt bedre satellitdækning og dermed bedre nøjagtigheder, men det er ikke medregnet her.

Et andet aspekt, der ikke vil blive berørt, er økonomi. Prisrammen afhænger meget af den løsning, man vælger. Dertil kommer, at det ikke har været muligt at få oplysninger fra de mulige brugere om, hvor mange og hvor store deres hidtidige opmålingsopgaver har været. Så en sammenligning har ikke været mulig.

¹ Læs om Galileo på http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm (28. januar 2003)



Figur 1: Sisimiut og nærmeste omegn

1 Metoder og begreber

Dette kapitel vil give en kort introduktion til måling med GPS (Global Positioning System). Forskellige metoder vil blive gennemgået, og centrale begreber vil blive forklaret. Det er kun tænkt som en introduktion til de efterfølgende kapitler samt en indikation af hvilke aspekter, der spiller ind, når man bruger GPS. For en grundig indføring i emnet henvises til [Dueholm et al., 2002].

1.1 Opbygningen af GPS

NAVSTAR GPS består af godt 25 satellitter, hvoraf mindst 21 er aktive. De bevæger sig omkring jorden med en omløbstid på 12 timer (målt i stjernetid²) og en afstand til jordens overflade på ca. 20.200 km. Satellitterne er fordelt i seks baneplaner med hver 4 satellitter. Baneplanerne er forskudt 60° i forhold til hinanden, og det enkelte baneplan hælder 55° i forhold til ækvator. Med denne fordeling sikres, at der til ethvert tidspunkt er mindst 4 satellitter synlige overalt på jorden. Ofte vil der være mange flere synlige af gangen.

GPS bygger på tidsmålinger. Derfor er satellitterne forsynet med meget nøjagtige atomure.

Samtidig er det vigtigt at kende den enkelte satellits position på måletidspunktet. Derfor foretages der løbende kontrol af satelliternes ure og baner fra kontrolstationer på jorden. Kontrolstationerne sender korrektioner til banepositionerne (de såkaldte efemerider) til hver enkelt satellit, der herefter lader det indgå i satellittens navigationssignal, der kan opfanges af alle GPS-modtagere. På den måde er det altid de mest opdaterede positioner, der benyttes.

Fordelen ved at benytte GPS-målinger til stedbestemmelse er, at det er meget lidt arbejdskrævende sammenlignet med traditionelle landmålingsmetoder. Derudover er man helt uafhængig af vind og vejr. Med GPS kan man sagtens lave gode målinger, uanset om det regner, er tåget eller sner. På samme måde er der ikke nogen hindring i at måle om natten. Man behøver nemlig heller ikke at kunne se fra det ene instrument til det andet.

Der er dog også enkelte ulemper ved GPS. Der skal være helt eller delvis frit udsyn til himmelrummet, for at man kan måle til satellitterne. Samtidig er GPS-målinger stadig ikke helt så nøjagtige som de traditionelle landmålingsmetoder over korte afstande.

² Et stjernetid døgnet er ca. 4 minutter kortere end et "normalt" døgnet. Det betyder, at satellitterne set fra jorden har samme placering på himmelen efter ca. 23 timer og 56 minutter.

1.2 Målemetoder

Grundlæggende er der to forskellige metoder i forbindelse med GPS-målinger: Kodemåling og fasemåling.

Kodemålingen benyttes primært til navigation, og nøjagtigheden ligger typisk på 1-40 m [Dueholm et al., 2002]. Det afhænger meget af det valgte udstyr og de aktuelle atmosfæreforhold. Nøjagtigheden kan forbedres ved at benytte sig af *differentiel GPS (DGPS)*. På den måde kan man komme ned på en nøjagtighed³ på ca. 30 cm. Det er tilstrækkeligt til mange opgaver, men det er sjældent nok til tekniske målinger.

I kodemålinger bruger man de signaler, der udsendes fra satellitterne, til at beregne *pseudoafstande* mellem modtageren og de enkelte satellitter. Denne afstand måles ved at tælle antallet af bølgelængder på det udsendte signal mellem satellit og modtager. Man kan måle sig til den sidste brøkdel af signalets bølgelængde, men antallet af hele bølgelængder findes ved "et kvalificeret gæt" og en efterfølgende elementudjævning.

Kodemålinger behandles ikke yderligere i denne rapport.

Fasemålingen har nøjagtigheder, der typisk er bedre end 5 cm. Ofte fås nøjagtigheder på millimeterniveau, og fasemålingen er derfor yderst interessant i forbindelse med mange former for tekniske målinger. Ved fasemåling måles direkte på bærebølgen, idet man bestemmer faseforskellen mellem bærebølgen fra satellitten og en kopi af denne bølge genereret i modtageren. Man inddrager altid observationer fra to modtagere, og resultatet består af en rumlig vektor, kaldet en *basislinie*, mellem de to modtagere. Den ene modtager, kaldet *masterstation* eller *referencestation*, er placeret i et kendt punkt, og dermed kan man beregne positionen af den anden modtager, kaldet *roveren*.

Man inddeler fasemålinger i to kategorier: *Statiske* og *kinematiske* GPS-målinger. Hver metode har sine styrker og begrænsninger.

1.2.1 Statiske målinger

Statiske målinger betyder, at flere på hinanden følgende faseobservationer benyttes til beregning af en enkelt position. Det er det, der gør at man kan bringe nøjagtigheden helt ned på millimeterniveau. Således er statiske måling den mest nøjagtige metode, men ulempen er, at målingen tager væsentlig længere tid.

1.2.2 Kinematiske målinger

Kinematiske målinger beregner en position for hver observation, der er foretaget med GPS-modtageren. Med det GPS-udstyr, der er på markedet i dag, er det muligt at observere og beregne op til 20 positioner pr. sekund alt afhængig af modtagertype.

³ Casper Jepsen, Kort & Matrikelstyrelsen

Under optimale forhold med gode modtagere, god satellitdækning og korte basislinier, kan man med kinematiske målinger forvente en nøjagtighed på mellem 1 og 10 cm.

1.3 Fejlbidrag ved GPS-målinger

Ved måling med GPS er der en række fejlkilder, der kan påvirke nøjagtigheden af målingen. Mange af disse fejlkilder elimineres ved databehandlingen – enten rent matematisk eller ved at man modellerer fejls størrelse. Der er dog stadig enkelte fejlkilder, der ikke kan elimineres, og bidragene herfra er derfor med til at reducere nøjagtigheden af målingen.

De restfejl, der ikke elimineres, er hovedsageligt *multipath*, *antenne fasecenter flytning* og *modtagerstøj* [Laurentzius, 1999]. Fælles for de tre fejltyper er, at de er unikke fra opstilling til opstilling, og netop derfor kan de ikke fjernes ved differensdannelse mellem observationer fra to forskellige opstillinger.

1.3.1 Multipath

Multipath regnes for at være den største enkeltstående fejlkilde ved GPS-måling. Flere undersøgelser peger på, at multipath udgør mindst 90% af de restfejl, der ikke elimineres ved differensdannelse [Laurentzius, 1999].

Multipath består i et eller flere reflekterede signaler opfanges af GPS-antennen sammen med det direkte signal. Det betyder, at afstanden til den satellit, hvor det reflekterede signal kommer fra, opfattes som værende længere end den egentlig er, se Figur 1.1.

Refleksionen kan stamme fra såvel lodrette, vandrette som skrå overflade, og generelt gælder det, at glatte overflader giver kraftigere multipath end ru overflader [Laurentzius, 1999].

Eksempler på objekter, der kan forårsage multipath er vejbelægninger, hustage, bygningsfacader, vand, biler, træer, fjeldsider og lignende. I meget ekstreme tilfælde kan multipath give fejl på op mod en halv meter [Warming et al., 2001]. Normalt ligger fejlen dog på nogle millimeter eller få centimeter.

Der arbejdes hele tiden på at udvikle metoder til at begrænse virkningen fra multipath. Oftest resulterer det i nye antenntyper. Det har hidtil været i form af fx *choke ring antenner* (Figur 1.2) eller antenner med *groundplane* (Figur 1.3). Begge typer er beregnet til stationære opstillinger, da de er noget større og tungere end "normale" GPS-



Figur 1.1: Princippet i multipath

antenner. Den seneste udvikling går mod at bruge *stealth*-teknologi⁴ i kombination med *groundplanes*.

Der bliver også udviklet nye og bedre GPS-antenner til "mobile" opmålinger. Trimble's *Zephyr* antenne har, ifølge Trimble, lige så gode multipath-egenskaber som en traditionel *choke ring* antenne⁵.

Forskellige filtre i antenne og modtager forsøger også at fjerne multipath-signalerne fx ved at udnytte, at GPS-signalet er polariseret ved en cirkulær polarisering. Hver gang signalet rammer en overflade, vendes polariseringen. På den måde kan man frasortere de signaler, der ikke vender rigtigt.

Som bruger kan man selv gøre meget for at minimere påvirkningen fra multipath. Det drejer sig primært om at undgå kraftigt reflekterende objekter i nærheden. Det kan selvfølgelig ikke altid lade sig gøre i praksis. Derudover kan man øge observationstiden. Det vil mindske påvirkningen fra den enkelte refleksion.



Figur 1.2: Trimble choke ring antenne. De uønskede signaler fanges mellem de lodretstående lameller. Billede fra [<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml>] (23. januar 2003)]



Figur 1.3: Trimble antenne med groundplane. Metalskiven skal forhindre, at signaler reflekteret fra jorden, vandet eller lignende skal nå frem til antennen. Billede fra [<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml>] (23. januar 2003)]

1.3.2 Antenne Fasecenter Flytning

Fasecenteret for en GPS-antenne er det punkt, hvor GPS-observationerne refererer til. Principielt er det det mekaniske centrum af antennen, men i praksis kan det ikke lade sig gøre at lave en antenne, hvor fasecenteret kan defineres ved et fysisk punkt. Antennens fasecenter bevæger sig i tre dimensioner som en funktion af signalets retning og indfaldsvinkel.

For nye antenner er problemet ikke så stort. Her drejer det sig om flytninger på under en millimeter. Men det er vigtigt at få defineret den benyttede antenne korrekt i opsætningen af GPS-softwaren. Ellers kan

⁴ Stealth-teknologi kendes også fra fx fly, hvor man giver flyet en overflade, der "absorberer" alle indkomne elektroniske signaler.

⁵ [Http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-10124/ZephyrWhitePaper.pdf](http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-10124/ZephyrWhitePaper.pdf) (17. januar 2003)

der blive tale om fejl på flere centimeter [Thomsen, 2002]. Til dette formål bliver der løbende lavet kalibreringer af forskellige antenntyper. Læs mere om kalibreringerne på <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml> (23. januar 2003).

1.3.3 Modtagerstøj

Kun i ganske få tilfælde udgør modtagerstøj et egentligt problem ved GPS-målinger. For gode fasemodtagere vil støjen for det meste ligge under 1 mm på den enkelte observation.

Derudover anses fejlen for at være tilfældigt fordelt, og dermed vil den have meget lille indflydelse på GPS-målingens nøjagtighed.

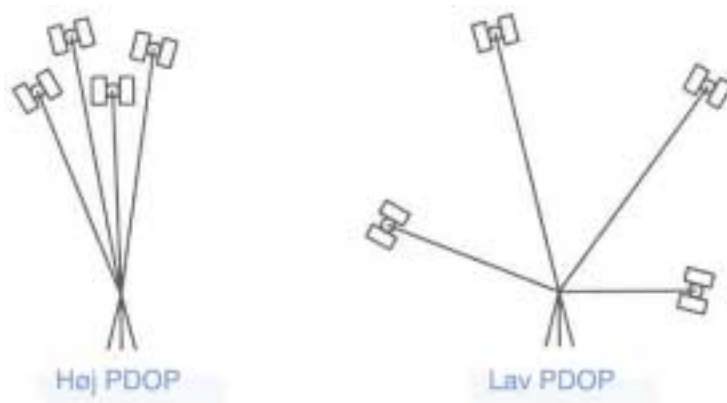
Som på alle andre områder findes der dog både gode og dårlige instrumenter. Det er et spørgsmål om pris.

1.4 DOP-begrebet

Det er ikke kun det benyttede udstyr og miljøet omkring, der har indflydelse på den opnåede nøjagtighed. En anden vigtig faktor er satelliternes konstellation i forhold til modtageren.

Man taler om den såkaldte *Dilution of Precision*, der udtrykkes ved forskellige DOP-værdier. Definitionen af de enkelte DOP-værdier vil ikke blive forklaret her, men der henvises i stedet til fx [Dueholm et al., 2002].

Den vigtigste DOP-værdi skal dog fremhæves her. Det er PDOP-værdien. Det er den værdi, der bruges til vurdering af forholdene ved en bestemt satellitkonstellation. Man kan illustrere PDOP ved at forestille sig volumenet af en figur udspændt af modtageren og de benyttede satellitter. Et stort volumen betyder lav PDOP-værdi. Når volumenet bliver stort, er satellitterne spredt godt ud, og der er en god opmålingsgeometri.



Figur 1.4: Satellitkonstellationer ved høj og lav PDOP

DOP-værdierne bruges til at planlægge målingerne, så man kan finde de optimale måletidspunkter og – langt vigtigere – udelukke perioder, hvor der ikke kan måles. Normalt siger man, at hvis PDOP er under 4, er der gode måleforhold. Hvis PDOP er mellem 4 og 6 skal man være meget opmærksom og gerne forlænge observationstiden.

Det sker næsten dagligt, at der er kortere perioder af 10 til 20 minutter, hvor PDOP'en er over 6. Det er ikke anbefalelsesværdigt, at måle i disse perioder.

I de fleste softwarepakker til processering af GPS-data er der et planlægningsværktøj, hvor man på forhånd kan se, hvordan satellitkonstellationen og DOP-værdierne ser ud et bestemt sted til et ønsket tidspunkt. Denne planlægning kan spare mange forgæves opmålingsforsøg.

2 Beregningsprincipper

Når man skal behandle faseobservationer fra GPS, arbejder man primært med to metoder: Enten med udifferentierede observationer, hvor fejlkilder som urfejl i både modtager og satellit estimeres, eller med differentierede observationer, hvor fejlkilderne elimineres i dobbeltdifferencen (se afsnit 2.1).

Her tages udgangspunkt i metoden med dobbeltdifferencer, da det er den, der benyttes i de fleste kommercielle programmer.

I afsnit 2.1 til 2.2 er beregningsprincippet forklaret for en-frekvente modtagere. Beskrivelsen tager udgangspunkt i [Dueholm et al., 2002] og [Laurentzius, 1999]. En grundigere matematisk beskrivelse findes i [Hoffmann-Wellenhof et al., 1997] og [Borre, 1994]

2.1 Differensdannelser

Faseobservationerne opsamles i to modtagere samtidig, og beregningerne udføres efterfølgende på grundlag af observationer fra begge modtagere.

Observationerne opsamles med et fast tidsinterval, der kaldes en epoke. Under databehandlingen dannes der differenser mellem målinger fra samme epoke.

Først betragtes faseobservationen mellem modtager k og satellit p til tiden t_0 , illustreret ved Figur 2.1 og Formel 2.1.

$$\Gamma_k^p(t_0) = \varphi_k^p(t_0) + N_k^p(t_0) \quad \text{Formel 2.1}$$

Γ er antallet af bærebølger mellem satellit og modtager.

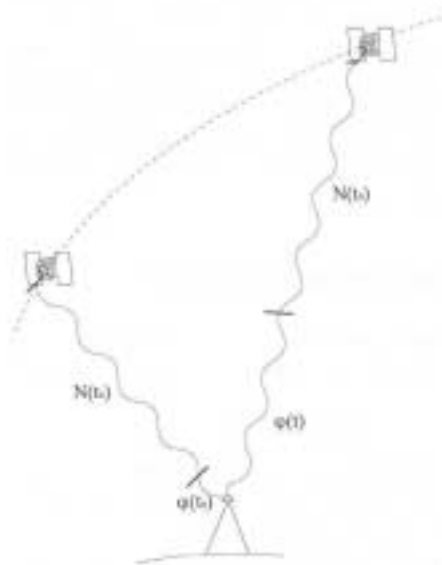
Det kan udtrykkes som en brøkdelen af en hel bølge φ_k^p og en sum af antallet af hele bølger N_k^p (også kaldet periodekonstanten).

Modtageren låser sig fast på bærebølgen og er derefter i stand til løbende at opdatere den samlede faseændring. Den generelle observation til tidspunktet t vil være givet ved Formel 2.2 og Figur 2.2.

$$\Gamma_k^p(t) = \varphi_k^p(t) + N_k^p(t_0) \quad \text{Formel 2.2}$$

I Formel 2.2 er det i leddet $\varphi_k^p(t)$, at den samlede faseændring opdateres. $\varphi_k^p(t)$ er altså selve observationen fra GPS-modtageren. Ved at gange igennem med bærebølgens længde λ , kan den teoretiske afstand Φ mellem satellit p og modtager k udtrykkes ved Formel 2.3.

$$\Phi_k^p(t) = \lambda \cdot \varphi_k^p(t) + \lambda \cdot N_k^p(t_0) \quad \text{Formel 2.3}$$

Figur 2.1: Observationen til tiden t_0 Figur 2.2: Observationen til tiden t

Formel 2.3 kan betragtes som en slags idealiseret observationsligning. Men den afspejler ikke de faktiske forhold, idet der ikke er taget højde for fejlbidragene fra urene i både modtager og satellit, signalets forsinkelse gennem henholdsvis ionosfæren og troposfæren, multipath, antennens fasecenterfejl og modtagerstøj.

Tilføjes disse fejlbidrag, kan den geometriske afstand mellem satellit p og modtager k skrives som i Formel 2.4, hvor ρ altså er den geometriske afstand.

$$\rho_k^p(t) = \lambda \cdot \phi_k^p(t) + \lambda \cdot N_k^p(t_0) - c \cdot dT_k - c \cdot dt^p - d_{ion}(t) - d_{trop}(t) - d_k^p(t) \quad \text{Formel 2.4}$$

hvor c er lysets hastighed i vakuum,

dT_k er modtagerens urfejl,

dt^p er satellitets fejl,

$d_{ion}(t)$ er afstandskorrektion for ionosfærefejlen,

$d_{trop}(t)$ er afstandskorrektion for troposfærefejlen og

$d_k^p(t)$ er fælles betegnelse for fejlene i modtageren (multipath, fasecenterflytning og modtagerstøj)

Hvis vi så erstatter leddet med den observerede størrelse $\lambda \cdot \phi_k^p(t)$

med $\phi_k^p(t)$, får vi i Formel 2.5 en egentlig observationsligning for en observation mellem modtager k og satellit p , hvor venstresiden udgør selve observationen (med enheden meter).

$$\begin{aligned} \phi_k^p(t) = & \rho_k^p(t) - \lambda \cdot N_k^p(t_0) \\ & + c \cdot dT_k + c \cdot dt^p + d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + d_k^p(t) \end{aligned} \quad \text{Formel 2.5}$$

2.1.1 Enkeltdifferensen

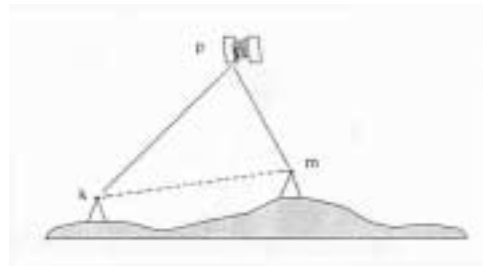
Formel 2.5 er observationsligningen for en faseobservation til tiden t . Som det ses, er der indeholdt en række fejlbidrag, der imidlertid kan elimineres i den følgende databehandling.

Hvis man samtidig måler til den samme satellit p fra to modtagere k og m , kan man opstille endnu en observationsligning. Princippet er det samme som for modtageren k , så observationsligningen for observationen mellem modtager m og satellit p bliver derfor som det fremgår af Formel 2.6.

$$\begin{aligned} \phi_m^p(t) = & \rho_m^p(t) - \lambda \cdot N_m^p(t_0) \\ & + c \cdot dT_m + c \cdot dt^p + d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + d_m^p(t) \end{aligned} \quad \text{Formel 2.6}$$

Ved at trække de to observationsligninger for modtagerne k og m til satellitten p til tiden t fra hinanden, fås enkeltdifferensen, Figur 2.3.

Da observationerne fra både k og m er sket til den samme satellit p , er satelliturfejlen dt^p den samme i de to ligninger og udgår dermed ved differensdannelsen. Hvis afstanden mellem de to modtagere er tilstrækkelig lille, er atmosfæren tilnærmelsesvis ens for de to målinger. Herved udgår også atmosfærebidragene d_{ion} og d_{trop} ved differensdannelsen. Således kommer enkeltdifferensen til at se ud som Formel 2.7.



Figur 2.3: Enkeltdifferensen mellem modtager k og m

$$\begin{aligned} \phi_{km}^p(t) = & \rho_k^p(t) - \rho_m^p(t) - \lambda \cdot (N_k^p(t_0) - N_m^p(t_0)) \\ & + c \cdot (dT_k - dT_m) + d_k^p(t) - d_m^p(t) \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Formel} \\ 2.7 \end{array}$$

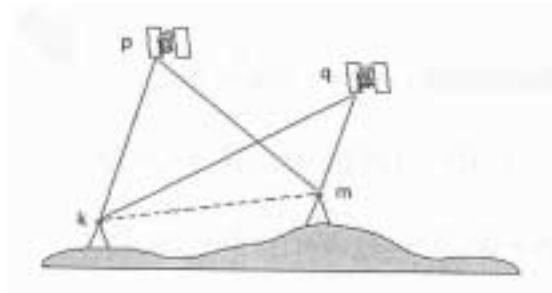
Hvis afstanden mellem de to modtagere bliver større, kan de atmosfæriske bidrag elimineres (eller i hvert fald reduceres) ved at bruge to-frekvente modtagere. Ved at måle på begge frekvenser, L1 og L2, kan man danne en såkaldt ionosfærefri kombination. Derudover kan man benytte forskellige matematiske modeller for ionosfæren og troposfæren til korrektion af observationerne.

2.1.2 Dobbeldifferensen

Måler man samtidigt til to satellitter p og q fra begge modtagere (Figur 2.4), kan man danne to enkeltdifferenser. Enkeltdifferensen til satellit q (Formel 2.8) fremkommer på samme måde som enkeltdifferensen til satellit p .

$$\begin{aligned} \phi_{km}^q(t) &= \rho_k^q(t) - \rho_m^q(t) - \lambda \cdot (N_k^q(t_0) - N_m^q(t_0)) \\ &+ c \cdot (dT_k - dT_m) + d_k^q(t) - d_m^q(t) \end{aligned} \quad \text{Formel 2.8}$$

Dobbeldifferensen fås ved at trække Formel 2.8 fra Formel 2.7. Det ses, at urfejlene i modtagerne, dT_k og dT_m , elimineres ved denne differens. Dobbeldifferensen ser herefter ud som Formel 2.9.



Figur 2.4: Dobbeldifferensen mellem modtager k og m , satellit p og q

$$\begin{aligned} \phi_{km}^{pq}(t) &= \rho_k^p(t) - \rho_m^p(t) - \rho_k^q(t) + \rho_m^q(t) \\ &- \lambda \cdot (N_k^p(t_0) - N_m^p(t_0) - N_k^q(t_0) + N_m^q(t_0)) \\ &+ d_k^p(t) - d_m^p(t) - d_k^q(t) + d_m^q(t) \end{aligned} \quad \text{Formel 2.9}$$

For at gøre Formel 2.9 mere overskuelig indføres Formel 2.10, Formel 2.11 og Formel 2.12.

$$\rho_{km}^{pq}(t) = \rho_k^p(t) - \rho_m^p(t) - \rho_k^q(t) + \rho_m^q(t) \quad \text{Formel 2.10}$$

$$N_{km}^{pq}(t_0) = N_k^p(t_0) - N_m^p(t_0) - N_k^q(t_0) + N_m^q(t_0) \quad \text{Formel 2.11}$$

$$d_{km}^{pq}(t) = d_k^p(t) - d_m^p(t) - d_k^q(t) + d_m^q(t) \quad \text{Formel 2.12}$$

Derefter kan dobbeldifferensen mellem modtagerne k og m og satellitterne p og q endelig skrives som Formel 2.13.

$$\phi_{km}^{pq}(t) = \rho_{km}^{pq}(t) - \lambda \cdot N_{km}^{pq}(t_0) + d_{km}^{pq}(t) \quad \text{Formel 2.13}$$

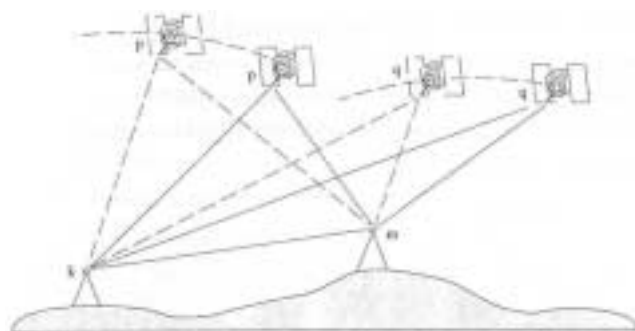
- $\phi_{km}^{pq}(t)$ består udelukkende af observerede størrelser, nemlig de målte faseforskelle til tiden t .
- $\rho_{km}^{pq}(t)$ er differencen mellem de geometriske afstande fra de to opstillinger k og m til satellitterne p og q til tiden t . Satellitternes position kendes fra efemeriderne, så der er nu tre ubekendte i $\rho_{km}^{pq}(t)$, der kan udtrykkes ved den rummelige vektor $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$, kaldet basislinien.
- $N_{km}^{pq}(t_0)$ er en kombination af de fire heltallige periodekonstanter. Dermed er $N_{km}^{pq}(t_0)$ også et heltal.
- $d_{km}^{pq}(t)$ er restfejlene. De stammer primært fra multipath, antenne fasecenterflytning og modtagerstøj. Normalt anses denne fejl for at være en tilfældig fejl, og det er den, der er hovedårsagen til de residualer, der angives i resultatet af basislinieberegningen.

Det betyder altså, at hvis der ses bort fra $d_{km}^{pq}(t)$ i Formel 2.13, indeholder dobbeltdifferensen i alt fire ubekendte: Basislinien $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ og periodekonstanten $N_{km}^{pq}(t_0)$.

2.1.3 Tripeldifferensen

Hvis man måler i to epoker til tiderne t_1 og t_2 , kan man danne en tripeldifferens ved at subtrahere de to dobbeltdifferenser, se Figur 2.5.

Som nævnt tidligere ændres periodekonstanterne ikke under målingen, idet den observerede størrelse $\phi_{km}^{pq}(t)$ indeholder hele faseændringen. Dermed udgår periodekonstanterne i tripeldifferensen, Formel 2.14.



Figur 2.5: Tripeldifferensen mellem modtager k og m og satellit p og q til tiden t_1 og t_2

$$\phi_{km}^{pq}(t_1, t_2) = \rho_{km}^{pq}(t_2) - \rho_{km}^{pq}(t_1) + d_{km}^{pq}(t_2) - d_{km}^{pq}(t_1) \quad \text{Formel 2.14}$$

Her ser man ofte bort fra restfejlene, og benytter i de indledende beregningstrin tripeldifferensen til at finde grove fejl i observationerne. Den egentlige beregning af basisliniens koordinater sker ud fra dobbeltdifferenserne.

2.2 Bestemmelse af periodekonstanterne

I praksis måler man over mange epoker til så mange satellitter som muligt. Beregningsprogrammet vælger så en "referencesatellit" og beregner dobbeltdifferenser mellem denne og alle de øvrige satellitter. For hver ny satellit indføres der et nyt sæt periodekonstanter, også kaldet ambiguity.

Hvis man måler til n satellitter, bliver der ved opstilling af dobbeltdifferenser for alle målingerne følgende ubekendte:

- basislinien ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
- de $n-1$ sæt periodekonstanter

Er der fx fra to modtagere observeret til 8 satellitter, kan der opstilles 7 uafhængige dobbeltdifferenser, der indeholder i alt 10 ubekendte (basislinien og 7 sæt periodekonstanter).

Hvis der er observeret til de 8 satellitter i 30 minutter med et epokeinterval på 15 sekunder, er der observeret i alt 120 epoker ($4 \cdot 30 = 120$). Det betyder, at der kan opstilles 840 observationsligninger ($7 \cdot 120 = 840$) til løsning af de 10 ubekendte. Dette store ligningssystem læses ved en elementudjævning, hvor de foreløbige værdier fås ved en kodemåling, der automatisk sker samtidig med faseobservationerne.

2.3 To-frekvent fasemåling

I det foregående er det kun en-frekvente målinger, der er behandlet. Princippet for to-frekvente målinger er det samme. Her udnytter man, at satellitterne sender to bærebølger med forskellig frekvens. Ved at sammenligne fasen på de to signaler, kan man beregne hovedparten af ionosfærens indflydelse på målingen. På den måde øges nøjagtigheden på lange basislinier væsentligt.

Derudover kan to-frekvente målinger hjælpe til med en hurtigere bestemmelse af periodekonstanterne, den såkaldte initialisering. Det betyder, at observationstiden kan reduceres betragteligt.

[Dueholm et al., 2002] forklarer mere detaljeret, hvordan man udnytter faseforskellen på de to frekvenser.

I praksis følger man ikke altid den her beskrevne beregningsmetode fuldstændigt. Alle producenterne har deres egne beregningsprocedurer, og mange af dem kombinerer både kode- og fasemåling for at få elimineret eller estimeret forskellige fejl.

Det er meget svært at få detaljerede oplysninger om et specifikt beregningsprogram. Den slags information betragtes som en

konkurrenceparameter, og derfor holder producenterne den tæt til kroppen.

2.4 Nøjagtighed ved fasemåling

Ved statiske fasemålinger samler man data i de to modtagere i mellem 20 og 60 minutter, afhængig af blandt andet PDOP og basisliniens længde. Nøjagtigheden af målingen afhænger instrumentet, basisliniens længde, antennerne, opstillingsnøjagtigheden og multipath.

Fasemålinger med en-frekvente modtagere er mindre nøjagtig end med to-frekvente modtagere, når der måles over længere afstande. Det skyldes først og fremmest som beskrevet i afsnit 2.3, at to-frekvente modtagere bruger de forskellige frekvenser til "eliminering" af ionosfærefejlen.

Måling med to-frekvente modtagere introducerer på den anden side et dobbelt fejlbidrag fra modtagerstøjen. Dette ekstra bidrag skal holdes op mod elimineringen af ionosfærefejlen. Typisk regner man med, at basislinien skal være over 5 km, før to-frekvente målinger er mere nøjagtige end en-frekvente.

Samtidig skal man dog huske på den anden store fordel ved to-frekvente målinger, nemlig den noget hurtigere initialisering.

Modtagertype	σ_g [mm]	σ_a [ppm]
En-frekvent	3,0	0,8
To-frekvent	2,0	0,1

Tabel 2.1: Forventede spredninger på basislinier

Hvis grundfejlen kaldes σ_g og den afstandsafhængige fejl σ_a , kan man som håndregel forvente de i Tabel 2.1 nævnte spredninger på selve basislinien [Dueholm et al., 2002]. Dertil kommer opstillingsfejl.

De forskellige softwarepakker, der findes til processing af GPS-data, har forskellige måder at "kvalitetsvurdere" beregningen på. [Dueholm et al., 2002] forklarer generelt om flere af begreberne, og derudover henvises der til softwaredokumentationen og manualer fra de respektive leverendører.

2.5 Kinematisk måling

Som ved statisk måling forbliver masteren i samme punkt under hele målingen. Forskellen er, at roveren holdes tændt, når man bevæger sig fra et målepunkt til det næste.

Instrumentet kan efter en indledende initialisering holde styr på periodekonstanternes ændringer, så disse ikke længere er ubekendte. Når periodekonstanterne er kendte, kan man efterfølgende finde en

løsning (koordinaterne til basislinien) ved bare at måle en epoke i hvert punkt. Det eneste krav er, at der hele tiden modtages signal fra mindst fire satellitter.

Kinematiske målinger kan foretages på flere måder. Her beskrives de to mest almindelige:

- *Stop-and-go*: Roveren bevæger sig fra punkt til punkt. I de enkelte punkter stopper man og måler i et antal epoker. Man kan vælge at måle et bestemt antal epoker, en bestemt tid eller indtil man har opnået en på forhånd fastsat nøjagtighed.
- *Kontinuert måling*: Ved denne metode betragtes hver enkelt epoke som et nyt punkt. Man kan vælge, om man vil gemme alle positioner, eller om man kun vil gemme positioner med et bestemt tids- eller afstandsinterval.

2.6 Initialisering

Som nævnt ovenfor skal der altid initialiseres i forbindelse med en kinematisk måling. Afhængigt af det anvendte udstyr og målingens karakter kan initialiseringen foretages før, under eller efter selve målingen. Her skal man dog huske på, at man kun kan benytte observationer, der er foretaget i forbindelse med en initialisering. Det betyder, at hvis man af en eller anden årsag mister forbindelsen til satellitterne (cycle slip), inden en initialisering har fundet sted, er de foregående observationer gået tabt. Så det er god praksis at lave initialiseringen inden selve målingerne.

Initialiseringen kan foretages på flere måder:

- *Statisk måling*: Man kan inddrage en almindelig statisk måling i sessionen.
- *Kendt punkt*: Man kan lave en måling i et kendt punkt, og på den måde "regne baglæns" og finde periodekonstanterne.
- *On-the-fly*: Hvis modtageren har kontakt til mindst fem satellitter over et passende stykke tid, kan man lave en initialisering på grundlag af data, der er opsamlet, mens roveren er i bevægelse.

Initialiseringstiden vil variere fra under et minut op til en time. Det afhænger af den valgte metode, afstanden til basisstationen, satellitkonstellationen og om der benyttes en- eller to-frekvent udstyr. I visse situationer med urolige atmosfæreforhold kan det være helt umuligt at initialisere på selv korte afstande.

2.7 Real-Time Kinematisk måling

Real-Time Kinematisk måling (RTK) er en kinematisk målemetode. Det specielle er, at beregningerne foretages løbende, så den helt aktuelle position øjeblikkeligt kan vises på modtagerens display.

Ved en RTK-måling placerer man masteren i et kendt punkt og forbinder den til en radiosender, der løbende kan udsende masterens faseobservationer. Roveren (eller roverne...) har en indbygget radiomodtager, der kan modtage faseobservationerne fra masteren. I roveren bliver disse observationer kombineret med roverens egne, og beregningerne kan foretages øjeblikkeligt.

Datalinket mellem master og rover kan også etableres via en GSM forbindelse (mobiltelefon). Det giver ofte større rækkevidde end radioen, men det koster noget mere.

Fordelen ved RTK-målinger er, at de kan foretages hurtigt. Derfor benytter man oftest to-frekvente modtagere. Det giver for det meste initialiseringstider på under et minut.

Hvor det er muligt, benytter man sig gerne af permanente referencestationer (masterstationer). På den måde slipper man for at skulle finde eller etablere et kendt punkt før hver RTK-måling.

Det er et eksempel på sådan en permanent referencestation, der er beskrevet i kapitel 7.

3 Projektets tilblivelse

3.1 Idéfasen

Samarbejdet med Sisimiut Kommune kom i stand i forbindelse med DTU's undervisning i landmåling på Center for Arktisk Teknologi⁶ i december 2001.

Sisimiut Kommune var interesseret i en diskussion om anvendelsen af GPS til løsning af nogle af opgaverne i Teknik- og Miljøforvaltningen. Indledningsvis drejede det sig mest om hvilke muligheder, der var med forskellige instrumenter og målemetoder. Kommunen havde specielt brug for en metode til opdatering af deres nuværende kortmateriale, og da man samtidig overvejede at overgå til Asiaq's nye digitale kort, var det oplagt at undersøge mulighederne for at benytte GPS.

Det viste sig ret hurtigt, at der fra forvaltningens side ikke var økonomi til at anskaffe det nødvendige udstyr. Derfor kom det på tale at lave en slags pilotprojekt, der kunne vise hvilke muligheder, der kunne være relevante.

Et halvt år forinden (i sommeren 2001) havde Center for Arktisk Teknologi købt udstyr til en GPS-referencestation til brug for Centerets uddannelses- og forskningsaktiviteter. Samtidig havde IMM⁷ anskaffet et komplet sæt RTK-udstyr med både referencestation, radiolink og rover. Dermed var der skabt mulighed for at gennemføre et projekt, der meget konkret undersøgte mulighederne for brug af RTK-GPS til teknisk måling.

Formålet med projektet blev at undersøge mulighederne for brug af RTK-GPS til teknisk måling i en grønlandsk kommune. Der skulle både ses på de praktiske opgaver i forbindelse med etableringen af systemet samt på den opnåede nøjagtighed og anvendelighed.

3.2 Opbygning

Projektet skulle udføres som et eksamensprojekt ved IMM. Som indledning til dette blev der defineret og udarbejdet et forprojekt, der skulle arbejde bredt med RTK [Thomsen, 2002]. Herunder skulle forprojektet give kendskab til udstyr og målemetoder samt give et praj om, hvilke praktiske problemer, der kunne opstå ved opstilling af referencestationen, brug af radio osv. Forprojektet blev afleveret i november 2002.

⁶ Center for Arktisk Teknologi er et samarbejde mellem DTU og Sanaartornermik Ilinniarfik (Bygge- og Anlægsskolen) i Sisimiut. Centerets opgave er at uddanne og efteruddanne grønlandske og danske studerende og erhvervsfolk i arktisk teknologi [<http://www.arktiskcenter.gl/1-hvad.html> (21. januar 2003)] .

⁷ IMM (Informatik og Matematisk Modellering) er det institut på DTU, der varetager undervisning og forskning indenfor GPS og landmåling.

Selve hovedprojektet, eksamensprojektet, skulle tage det praktiske udgangspunkt i Sisimiut. Her skulle der etableres en referencestation til brug for blandt andet RTK-målinger. Dette indebar opstilling og indmåling af referencestationen, ansøgning om tilladelse til brug af radiosender og efterfølgende den egentlige opstilling af senderen, test af radioens dækningsområde og RTK-systemets nøjagtighed samt sikring af den daglige drift af referencestationen. Derudover skulle brugernes ønsker og behov undersøges i samarbejde med kommunen, entreprenører og hvem der ellers kunne tænkes at få glæde af sådan en facilitet.

3.3 Arbejdet i Sisimiut

Projektet indebar to rejser til Sisimiut. Af praktiske årsager viste det sig mest hensigtsmæssigt at dele det praktiske arbejde i to dele. Under den første tur (i juli/august 2002) blev mulighederne for placering af referencestationen undersøgt, selve punktet blev etableret, og det indledende arbejde med opbygningen af et testområde blev startet.

Det andet ophold i Sisimiut (september/oktober 2002) blev primært brugt på opbygningen af testområdet og de egentlige tests af radiodækning og målenøjagtigheder. Derudover var der kontakt til et bredt udsnit af de potentielle brugere. Der blev fx udført et par konkrete opmålings- og afsætningsopgaver for en af byens store entreprenørfirmaer for at demonstrere de mange anvendelsesmuligheder. I samarbejde med Center for Arktisk Teknologi blev der arrangeret et informationsmøde, hvor måleprincipper, forventede nøjagtigheder og anvendelsesmuligheder blev præsenteret. Deltagerne var repræsentanter for Sisimiut Kommune, Rambøll Grønland (rådg.ing.) samt entreprenørerne Permagreen, B.J. Entreprise og Christian Lennart. Derudover var de lokale afdelinger af Nukissiorfiit (Grønlands Energiforsyning), Tele Greenland og ingeniørfirmaet Sanati samt entreprenøren Gustav Hansen inviteret. På mødet blev mulighederne for et samarbejde omkring et eventuelt fælles udstyrsindkøb desuden diskuteret. Tanken var, at ved at et antal virksomheder gik sammen om indkøb af et instrument, ville økonomien være langt mere overskuelig, og en permanentgørelse af pilotprojektet ville være noget mere realistisk.

Efter hjemkomsten var der tilbage at få processeret alle de indhentede data. De efterfølgende kapitler vil beskrive de udførte testmålinger, resultater og de erfaringer, der blev høstet undervejs.

4 Behovsanalyse

Når ny teknologi skaber nye muligheder, er det svært på forhånd at beskrive, hvem der vil komme til at drage nytte af det, og dermed hvilke opgaver teknologien vil være med til at løse. Derfor er det også svært at stille veldefinerede krav til ydeevnen.

I samarbejde med potentielle brugere i Sisimiut og nuværende brugere i Danmark er der herunder nævnt en række eksempler på opgaver, der kan løses / ønskes løst med GPS-måling.

4.1 Brugere i Sisimiut

I Sisimiut er der en række oplagte brugere af RTK-GPS. Det kunne være Sisimiut Kommune, de største entreprenører, rådgivende ingeniørfirmaer, Tele Greenland, Nukissiorfiit (Grønlands Energiforsyning) og måske Mittarfeqarfiit (Grønlands Lufthavnsvesen).

Alt afhængig af hvem der er tale om, har de alle sammen forskellige behov både hvad angår opgavetype og mængde, men det er alle sammen virksomheder, der løbende har forskellige opmålingsopgaver.

4.1.1 Opgavetyper

Sisimiut Kommune (primært Teknik- og Miljøforvaltningen) har meget forskelligartede opgaver, og mange af dem involverer opmåling i en eller anden grad. Det kunne fx være i forbindelse med

- Opførsel af og tilsyn med veje og bygninger
- Lokal- og kommuneplanlægning
- Byggetilladelser og bygningsregistrering
- Opdatering af det eksisterende kortgrundlag (evt. GIS⁸) fx i forbindelse med tilladelser til arealanvendelse

For entreprenører og rådgivere kan der primært blive tale om opgaver inden for byggeriet. Det er altså opgaver, man tidligere har udført med traditionelle landmålingsmetoder – eller med tommestok og øjemål !!

- Etablering af nye fikspunkter (hvis der stadig løses opgaver med fx totalstation)
- Opmåling af dårligt kortlagte områder
- Opmåling af eksisterende kortgrundlag (evt. GIS) fx i forbindelse med projekteringsopgaver
- Afsætning
- Mængdeberegninger

⁸ Geografiske Informations Systemer. Sisimiut Kommune har overvejet at overgå til Asiaq's nye digitale kort

- Kvalitetssikring
- Tilsyn

Specielt for entreprenørerne gælder det, at de i mange tilfælde vil kunne få opgaven overdraget fra fx kommunen. Der er derfor stort overlap mellem de ovenstående lister.

Ledningsejere som Tele Greenland og Nukissiorfiit (Grønlands Energiforsyning) har mange opgaver indenfor blandt andet

- Ledningsregistrering
- Opdatering af eksisterende kortgrundlag (evt. GIS) fx i forbindelse med projektering af nye ledninger

Fælles for mange af de nævnte opgaver er, at de normalt slet ikke bliver løst. Der er ikke tid og mandskab til det. Her kunne man håbe på, at der med andre mindre mandskabskrævende metoder (fx brug af GPS) ville ske en ændring.

4.1.2 Nøjagtighedskrav

Der er stor forskel på nøjagtighedskravene til opgaverne listet i forrige afsnit. Arbejdet med lokal- og kommuneplaner, ledningsregistrering og meget kortopdatering kræver ikke nøjagtigheder bedre en knap en halv meter.

Derimod kræver afsætningsopgaver og etablering af nye fikspunkter "størst mulig" nøjagtighed. Udgangspunktet i Sisimiut har vist sig at være usikkerheder på fikspunkterne på op til knap 5 cm (se kapitel 1) – bedre end det kan man i hvert fald ikke gøre det på nuværende tidspunkt. Så i første omgang må det også være minimumskravet til et nyt system. Det vil selvfølgelig være nærliggende, at indførslen af nye metoder og udstyr vil øge nøjagtigheden, men en nøjagtighed på 3 – 4 cm vil være ganske realistisk.

Enkelte opgaver som fx afsætning af et elementbyggeri, kræver ofte relative nøjagtigheder på under 1 cm. Det er ikke så meget i forhold til fikspunkter og overordnede koordinatsystemer, men ved et elementbyggeri er det meget vigtigt, at alle afsatte punkter stemmer overens i forhold til hinanden, da de enkelte elementer har meget små tolerancer. Antallet af den slags opgaver vurderes dog at være temmelig begrænsede.

4.2 Eksempler fra Danmark

For at få et indtryk af, hvad man konkret bruger RTK til i Danmark, er der skabt kontakt til en række af brugerne af GPSnet.dk. GPSnet.dk er en netværks-RTK tjeneste, der udbydes af en af de store leverandører indenfor opmålingsudstyr i Danmark, Trimble Center Danmark.

Fællesforsyningen i Nakskov Kommune købte RTK-udstyr i forbindelse med en ny fjernvarmeplan i april 2001. Udstyret bliver primært benyttet til

- Ledningsregistrering i forbindelse med nye nedgravninger
- Afsætning af veje og brønde
- Fladenivellementer i forbindelse med jordreguleringer

Erfaringen fra Nakskov er, at det giver en bedre planlægning, når man "kan selv". Fællesforsyningen hjælper de andre kommunale afdelinger med tilsvarende opgaver.

I Christiansfeld Kommune har forsyningsafdelingen rådet over RTK-udstyr siden december 2001. Det er en lille kommune med et forholdsvis dårligt kort- og registreringsgrundlag. Derfor er udstyret primært indkøbt til

- Ledningsregistrering
- Vandløbsregistrering
- Opmåling af veje

Erfaringerne med RTK er ikke så store, men kommunen forventer, at udstyret har betalt sig selv tilbage i løbet af et par år. Det løser opgaver, som ellers skulle være købt eksternt og derfor ikke ville blive løst på grund af manglende økonomi.

Jord- og vandafdelingen i Københavns Amt har benyttet RTK i flere år. Her benyttes RTK primært i forbindelse med miljøopgaver

- Indmåling af vandboringer
- Fladenivellementer blandt andet til brug for vandløbsmodellering
- Opdatering og udbygning af GIS

Der er endvidere planer om at også vejafdelingen skal til at bruge RTK til indmåling og registrering.

Ligesom i Christiansfeld er der Amtets erfaring, at RTK generelt bruges til opgaver, der ellers skulle laves af eksterne eller slet ikke ville blive udført.

Sidste eksempel er fra vejafdelingen i Vestsjællands Amt. Her er RTK en integreret del af arbejdet. De RTK-relaterede opgaver omfatter

- Kontrolmålinger til nyt GIS
- Afsætning af fx nye vejprojekter
- Registrering af veje, vejskilte og signaler
- Registrering af arealer og ruter til fx græsslåning og snerydning
- Arealopmåling og terrænmodeller
- Udstikning af fredningslinier mv.

Erfaringen er, at det er tidsbesparende, og at de praktiske forhold er nemmere, når man selv råder over udstyret.

4.3 Delkonklusion

Selvom de offentlige opgaver er lidt forskellige i Grønland og Danmark, er der stort overlap mellem de opgaver, man i Sisimiut kunne bruge GPS til og de opgaver, der allerede løses med GPS i danske amter og kommuner. Det er derfor ganske sandsynligt, at man kunne gøre det samme i Grønland.

Man kan diskutere hvilke målemetoder og udstyr, der vil være mest anvendelige. I Grønland er der selvfølgelig ikke mulighed for at benytte netværks-RTK. Men den "almindelige" enkeltstations-RTK kan etableres forholdsvis enkelt.

Andre muligheder kunne være DGPS (real-time kodemålinger) og statiske faseobservationer (ikke real-time). Det ville gøre indkøbet af GPS-udstyr mere økonomisk overkommeligt.

Problemet med DGPS er, at man – selv med gode instrumenter – kun har nøjagtigheder på omkring 30 – 40 cm. Som beskrevet ovenfor er det godt nok til nogle få af opgaverne. Men det vil begrænse anvendelsesområderne væsentligt, og det er der ikke "råd" til i så lille et samfund.

Det samme gælder for statiske målinger, der skal beregnes efterfølgende (post processing). Nøjagtigheden på post processerede målinger kan være god nok, men antallet af opgaver, der kan løses, er begrænset. Alle former for afsætning og kontrol af opmålingen i marken er fx udelukket. Det begrænser også anvendelsen væsentligt. Derfor har denne rapport udelukkende koncentreret sig om mulighederne med RTK-GPS, som både giver tilfredsstillende nøjagtighed og produktivitet.

5 Trimble 5700 GPS Reciever

I hele dette projekt er der til alle RTK-målinger benyttet en *Trimble 5700* GPS-modtager. IMM anskaffede i sommeren 2001 en *Trimble 5700* samt udstyr til en tilhørende referencestation. Dette afsnit vil kort beskrive de muligheder instrumentet indeholder samt de erfaringer, der er gjort gennem projektet.

5.1 Instrumentet

Instrument-sættet består af selve *Trimble 5700* GPS-modtageren, en *Zephyr* GPS-antenne og en *TSC1*, *Trimble Survey Controller*. Antennen opfanger signaler fra satellitterne, modtageren behandler signalerne og beregner en position, og *TSC1*'eren lagrer og viderebearbejder de beregnede positioner.

TSC1'eren kan bruges til mange forskellige opmålingsinstrumenter, men den vil kun blive beskrevet i forbindelse med *Trimble 5700*.

Til modtagelse af data fra referencestationen er der i den benyttede model af GPS-modtageren en indbygget radio. Der findes flere forskellige antenntyper til denne radio. Her er der benyttet en *whip*-antenne, der skrues direkte på bøsningen på modtageren.

Når der skrives *Trimble 5700* i denne rapport, refereres der til hele instrumentsættet samlet. Der skelnes altså ikke mellem hvilken del, der udfører den enkelte opgave.

5.2 Funktioner

I instrumentet (mere specifikt i *TSC1*'eren) er der indbygget et antal funktioner, der kan behandle de beregnede positioner. De mest benyttede funktioner er beskrevet i det følgende. De engelske betegnelser er bibeholdt for ikke at give anledning til misforståelser.

Afsnittet skal ikke ses som en brugervejledning eller anbefaling af præcis dette instrument, men derimod



Figur 5.1: Trimble 5700 klar til brug. Antennen og *TSC1*'eren sidder på en 2 m lang kulfiberstok, og modtager med batterier osv ligger i rygsækken

give et indtryk af, hvad et instrument som *Trimble 5700* kan. Tilsvarende instrumenter fra andre leverandører kan nogenlunde det samme. Det kan dog godt være, at man skal købe en ekstra software-pakke.

5.2.1 Auto Calibration

Denne funktion gør det muligt at beregne koordinater i et lokalt koordinatsystem. Selve stedbestemmelsen sker altid i WGS84-datamet, men ved at lave en GPS-måling i 4 punkter og indtaste punkternes koordinater i det lokale system, kan instrumentet lave en tredimensionel transformation. Denne transformation kan siden hen benyttes til at angive alle indtastede og opmålte koordinater.

Som standard findes der flere forskellige lokale systemer. Fx er det muligt at få angivet sine målinger direkte i det danske System 34 eller i Sisimiuts lokale koordinatsystem.

5.2.2 Stakeout

Her er der hjælp til at afsætte et kendt punkt. Man indtaster de tredimensionelle koordinater til det ønskede punkt, og derefter vises afstand og retning til punktet i displayet. Oplysningerne opdateres så hurtigt, at det ikke opleves som ventetid under afsætningen.

Der er yderligere hjælpefunktioner, hvis man skal afsætte en linie, en kurve, en cirkel eller andet.

Generelt kan punkter altid overføres både til og fra instrumentet. Selve overførslen skal ske fra Trimble's eget software, men med det som mellemlid kan der bruges filer fra fx CAD- og GIS-programmer, ascii-filer og meget andet.

Det er også muligt at indtaste koordinaterne direkte på TSC1'eren.

5.2.3 Roding

Til brug for arbejdet med anlæggelse af veje, er der lavet et antal hjælpefunktioner. De kan bruges både i forbindelse med opmåling og afsætning.

Alle oplysninger om vejforløbet, hældninger, kurver, skæringer med andre veje osv. indlæses i TSC1'eren. Herefter kan alle enkeltdele af vejprojektet, fx den aktuelle afstand til skæringen med en anden vej, bestemmes hurtigt i marken. Det er også muligt at afsætte en række punkter i et forløb parallelt med vejen.

5.2.4 Cogo Functions

Her er samlet en række geometrisk orienterede funktioner. Det er alle sammen funktioner, der letter arbejdet i marken. Med disse funktioner er det muligt at konstruere sig frem til mange af de afsætningsopgaver,

der følger med et byggeri, uden at man skal sætte sig ind og optage samtlige koordinater fra en tegning.

- Man kan beregne afstande og vinkler mellem forskellige punkter og linier samt forlænge linier.
- Man kan beregne forskellige skæringer mellem kompasretninger, linier, cirkler og andre elementer, der er indlagt i projektet.
- Man kan inddеле linier, kurver osv. i et bestemt antal dele, i dele af en bestemt længde eller efter en bestemt vinkel.
- Man kan beregne arealet af et område defineret ved indtastede eller opmålte koordinater.

5.3 Egne erfaringer

Under projektet er der naturligvis blevet arbejdet en del med *Trimble 5700*. Det er langt fra alle funktionerne, der er blevet testet, men det grundlæggende er grundigt gennemprøvet.

Det altovervejende indtryk er, at der er gjort meget for at fremme brugervenligheden. Der er et meget funktionelt display og en logisk menu-opbygning. Det tager ikke lang tid at sætte sig ind i brugen af instrumentet, på trods af at der som nævnt ovenfor er mange forskellige muligheder.

Selve måleproceduren – hvad enten det drejer sig om opmåling eller afsætning – er adskilt fra både lagring, databearbejdelse, indstilling af instrumentparametre osv. På den måde kommer man ikke i tvivl om, hvor langt man er kommet.

Batterikapaciteten er ikke helt tilfredsstillende. Med de to indbyggede batterier er der kapacitet til godt 3 timers kontinuert RTK-måling. I de fleste tilfælde er det dog sjældent, at man måler konstant i 3 timer. Derfor vil det for det meste opleves som en noget større kapacitet. Men det skete flere gange, at der ikke var strøm nok til en hel dag – især når temperaturen begynder at falde. Der er dog mulighed for at tilslutte eksterne batterier.

Datakapaciteten er i orden. Det viste sig problemfrit at have 2 – 3 dages observationer i den indbyggede hukommelse. Ønskes større datalager kan der indsættes et almindeligt *flash card*. Overførsel af data fra pc til instrument er simpel og ligetil.

I forbindelse med RTK-målinger har de oplevede initialiseringstider ligget på mellem 5 sekunder og et par minutter. De lange initialiseringstider hænger ofte sammen med en dårlig satellitkonstellation, men det er dog ikke altid, at man umiddelbart kan finde en logisk forklaring på initialiseringsproblemerne. Enkelte gange kunne det slet ikke lade sig gøre at initialisere. I disse tilfælde var det dog tydeligt, at årsagen var en dårlig satellitkonstellation. Sådanne situationer vil opstå for alle, der arbejder med GPS uanset instrumenttype- og fabrikat. Man kan kun vente til satellitterne har flyttet sig lidt. Typisk drejer det sig om ½-1 time.

Trimble 5700 angiver flere forskellige mål for nøjagtigheden af den øjeblikkelige position. Erfaringerne fra dette samt et tidligere projekt [Thomsen, 2002] giver anledning til at rejse tvivl om kvaliteten af disse angivelser. Det er ikke noget, der er arbejdet videre med i denne rapport, men det kunne være interessant at undersøge, hvordan nøjagtighedsangivelserne bliver beregnet, samt hvordan de stemmer overens med virkeligheden.

Kort & Matrikelstyrelsen har gjort sig lignende overvejelser i forbindelse med udarbejdelsen af [Villadsen, aug. 2002].

Det vil også være interessant at undersøge betydningen af den 2 m lange kulfiberstok (*range pole*), som antennen monteres på. Kan man placere den nøjagtigt nok, og kan den holdes lodret? Det kan have stor betydning fx i forbindelse med en afsætningsopgave.

6 Fikspunktsnettet i Sisimiut

6.1 Etablering af nettet

Dette afsnit omhandler opbygningen af fikspunktsnettet primært i Sisimiut – men det meste er også gældende for resten af Grønland. Afsnit 6.1.1 er skrevet på baggrund af en samtale med professor Ole Jacobi, DTU samt et kapitel om Grønlandsopmålingen i [Kejlsø, 1978]. Afsnit 0 er mere baseret på egne erfaringer.

6.1.1 Oprindelse

Indtil slutningen af 1920'erne var der kun få og skitse-mæssige kort over Grønland. Først efter oprettelsen af Geodætisk Institut i 1928 begyndte man en egentlig kortlægning med etablering af en 1. ordens kæde på vestkysten. I 1950 gik denne 1. ordens kæde fra Kap Farvel i syd til Thule i nord, ligesom den var blevet udbygget til også at gå et stykke op langs østkysten.

Grønlandsopmålingen var væsentlig forskellig fra opmålingen i Danmark. Der var meget vanskelige transportforhold, og sammenholdt med opgavens størrelse samt den klare luft og de store højder, hvori stationerne kunne lægges, valgte man at lave trekantsiderne meget lange. Det gjorde det svært at identificere de stationer, der skulle indmåles. Markeringen af stationerne var næsten altid en 2-3 m høj varde centreret over stationen. Sådanne varde kan være svære at genfinde, især hvis baggrunden er fjeld. Senere indførte man derfor også specielt konstruerede lygter som sigteobjekter.

Triangulationen blev næsten kun udført med kortlægning for øje. Kun i et meget lille omfang blev der udført lokale opmålinger. Man definerede et nyt datum, kaldet Qornoq, og lavede en samlet udjævning af 1. ordens nettet. De ellipsoide koordinater blev transformeret til en konform konisk kegleprojektion, hvor en kegle dækkede området indenfor 3 breddegrader. Hele Grønland kunne på den måde dækkes af 8 kegler.

Med udgangspunkt i 1. ordens nettet kunne Grønlands Tekniske Organisation, GTO fortætte nettet i byer og bygder i 1950'erne og 1960'erne. Denne fortætning blev udført af en blandet skare af teknikere og især studerende, hvoraf mange ikke havde ret meget erfaring med landmåling. Man opmålte et mindre byområde ad gangen, og der blev sjældent lavet en samlet udjævning. Eksisterende forhold blev opmålt, og der blev afmærket et stort antal nye fikspunkter. Det er disse fikspunkter, der danner grundlag for al senere teknisk opmåling.

Det svage led i triangulationen var afstandsmålingerne. Efter amerikanerne omkring 1970 gennemførte et projekt, hvor de benyttede sig af satellitmålinger til at forbinde det amerikanske og det europæiske system, og hvor tre grønlandske stationer også indgik, viste det sig, at der var store uoverensstemmelser mellem disse resultater og den klassiske triangulation langs Grønlands vestkyst. Derfor blev det besluttet at styrke afstandsinformationerne i kæden, og i løbet af to sommerkampagner blev en næsten ubrudt polygonlinie i 1. ordens nettet indmålt med Tellurometer⁹. Herefter kunne man lave en ny beregning, og på denne måde blev hele den lange triangulationskæde justeret, og 1. ordens punkterne fik nye koordinater. I området ved Sisimiut drejede det sig om flytninger på 5-7 m.

I stedet for at lave nye opmålinger eller transformere de eksisterende koordinater til det "nye" og korrekte system, valgte man at lade de lokale fikspunkter i byerne og bygderne beholde deres koordinater. Herefter hænger de lokale fikspunkter ikke fast på triangulationskæden. Det betyder, at hver eneste by og lille bygd har fået sit eget lokale koordinatsystem uden direkte tilknytning til hverken de andre byer eller selve Qornoq-datumet. Indenfor den enkelte by eller bygd giver dette ingen problemer. Men så snart det drejer sig om større opgaver, der involverer flere områder med hvert sit koordinatsystem, skal der laves individuelle transformationer for netop det lokalområde.



Figur 6.1: Fikspunkt markeret med et 3 cm boret hul i fjeldet.



Figur 6.2: Fikspunkt markeret med GI-plade. Diameter ca. 8 cm. Læg mærke til de mange slagmærker i centrum.



Figur 6.3: Fikspunkt markeret med et søm i fjeldet.

⁹ Afstandsmåling ved hjælp af radiobølger

6.1.2 Fikspunkterne i dag

Fikspunkterne i Sisimiut er for de flestes vedkomne udformet som et boret hul i fjeldet, se Figur 6.1. Hullets diameter er for det meste ca. 3 cm – enkelte har dog kun den halve diameter.

Der findes også omkring en halv snes såkaldte GI-punkter, som Geodætisk Institut etablerede i forbindelse med triangulationskæden, se

Figur 6.2. De er lavet som en messingplade med en diameter på ca. 8 cm, der er støbt fast i fjeldet.

Kort & Matrikelstyrelsen har også etableret nogle få fikspunkter i Sisimiut. De er markeret med et søm i fjeldet, se Figur 6.3.

Tre steder i byen er der lavet fikspunkter specielt beregnet til GPS-målinger. I fjeldet er der faststøbt en bolt med et gevind, der passer til en GPS-antenne, se Figur 6.4. På den måde kan man skrue antennen direkte på punktet, og dermed lave en tvangscentrering.



Figur 6.4: Fikspunkt defineret med en GPS-bolt



Figur 6.5: Eksempel på et dårligt defineret fikspunkt

Langt de fleste af fikspunkterne er – udover selve punktmarkeringen – markeret med et stort, hvidt, malet kryds på fjeldet for at de kan ses på luftfotos og bruges som paspunkter i forbindelse med en fotogrammetrisk kortlægning.

De fikspunkter, der er markeret med søm eller GPS-bolt, er generelt i god stand. GPS-boltene er også først blevet benyttet gennem de seneste år. De fleste af GI-punkterne er også stadig intakte og veldefinerede. Der er dog flere, der bærer præg af at have været udsat for en hårdhændet behandling. Enkelte GI-plader er helt fjernet fra punkterne. Det står dog værst til med de borede huller. Vand og frost har mange steder slidt så hårdt på fjeldet, at borehullerne efterhånden er meget dårligt definerede. Se eksemplet på Figur 6.5, hvor hullet ved punkt 6668 med tiden har fået en diameter på 5-6 cm. I dette tilfælde er der stadig tydelig markering af det oprindelige hul længere nede, men andre fikspunkter kan ikke identificeres bedre end med ca. 5 cm usikkerhed. Dertil kommer så usikkerheden på koordinaterne.

Enkelte fikspunkter forsvinder også i tidens løb. Området skal måske bebygges, og så må et eventuelt fikspunkt lade livet. Desværre er det også tilfældet, når en hundeflok eller andet skal fastgøres. Så det er en god idé at kontrollere, om et givet fikspunkt stadig eksisterer, inden man tilrettelægger sit projekt efter det.

Det er Asiaq, der er ansvarlig for fikspunkternes etablering og vedligeholdelse.

Til mange af de daglige afsætningsopgaver benytter man ofte et tæt net af 2. ordens punkter, der typisk er defineret ved hushjørner, fundamentkanter osv. Nøjagtigheden på disse 2. ordens punkter kendes ikke, men det må forventes, at den er noget ringere end på 1. ordens punkterne.

6.2 Koordinattransformationer

Der eksisterer et antal forskellige koordinatlistes for fikspunkterne i Sisimiut. Listerne indeholder ikke altid de samme punkter, de er beregnet i forskellige datum og koordinatsystemer, og det fremgår sjældent, hvornår og hvordan opmålinger og beregninger er lavet. Derfor kan man ikke på baggrund af listerne alene vurdere fx hvilke fikspunkter, der har en given nøjagtighed.

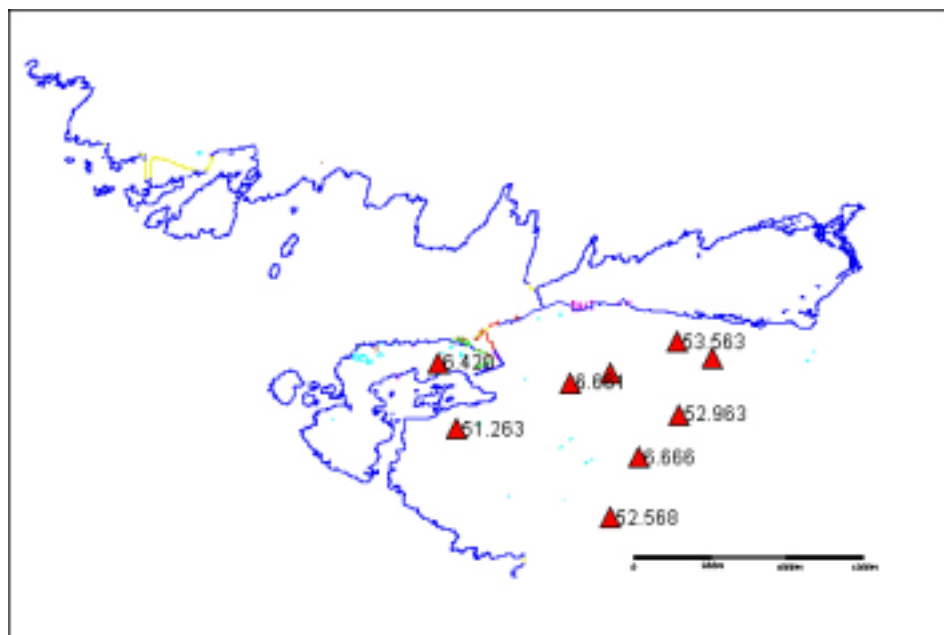
Til dette projekt er der indsamlet koordinatlistes fra Kort & Matrikelstyrelsen og Asiaq.

- KMS's liste indeholder 50 punkter med plane koordinater og koter på 42 af dem. Koordinaterne er angivet i REFGR96 UTM zone 22, og den anvendte geoidemodel er gr96. Listen er fra 18. marts 2002.
- Fra Asiaq findes to listes:
 1. En listes over 48 punkter, der blev brugt i forbindelse med nykortlægningen af Sisimiut i 2000. Fikspunkterne er angivet med geografiske koordinater i WGS84 samt ellipsoidehøjder. Listen er fra maj 2000.
 2. Den anden listes indeholder godt 220 punkter angivet i byens helt lokale koordinatsystem og en kote. Dertil kommer et lige så stort antal 2. ordens punkter. Listen er fra juni 1997.

6.2.1 Plane koordinater

Ovennævnte listes kan ikke umiddelbart sammenlignes, da der ikke er brugt samme koordinatsystem og datum. Det er i dette projekt valgt at regne alle koordinater om til REFGR96 UTM zone 22 samt at angive højder i koter (højde over middelvandstanden).

Denne omregning er ikke helt problemfri. Transformationen mellem geografiske koordinater og UTM-projektionen er simpel og – langt vigtigere – entydig [Jacobi, 1997]. Man "mister" altså ikke noget ved at lave denne transformation. Det gør man derimod ved at transformere mellem de lokale koordinater og WGS84/REFGR96. Til denne transformation er der lavet en plan Helmert-transformation. Den kan kun benyttes i det område, der omkranses af de fællespunkter, der er benyttet til at beregne transformationsparametrene. Det vil i dette tilfælde sige den "centrale" del af Sisimiut by afgrænset mod vest af



Figur 6.6: Helmert-transformationens overførselspunkter

Paaraasuk, mod nord af Ulkebugten, mod øst af Vandsø 3 og mod syd af det tidligere stenbrud, se Figur 6.6. I dette område er den benyttede transformation ganske nøjagtig (selv transformationen har en spredning på 41 mm), men det er ikke en eksakt omregning. Udenfor vokser unøjagtigheden med afstanden til området.

Asiaq har meddelt, at der fremover ikke vil blive lavet kort eller andre produkter med de lokale koordinatsystemer. Det betyder, at når man arbejder med nye kort, vil man hele tiden skulle transformere frem og tilbage mellem de forskellige koordinatsystemer. Det kan gøres løbende, eller man kan vælge at overgå til REFGR96 en gang for alle. I alle tilfælde skal der laves en transformation, der kan bruges over hele byen og gerne dens opland, se eventuelt afsnit 6.4.7.

6.2.2 Højder

Heller ikke omregningerne mellem ellipsoidehøjder og koter er lige til. Det burde den ellers være, idet man med en geoidemodel skulle kunne transformere frem og tilbage mellem ellipsoidehøjder og koter. Problemet her er, at Kort & Matrikelstyrelsens geoidemodel ikke passer perfekt til Sisimiut. Det er en god relativ model, men den ligger ca. 8 cm "for højt". Det betyder altså, at hvis man omregner ellipsoidehøjder til koter ved hjælp af KMS's nyeste geoidemodel *gr2000*, vil de beregnede koter ligge ca. 8 cm for højt i forhold til de "sande" koter.

Asiaq har valgt at korrigere for denne forskel. Det gør de ved at tage udgangspunkt i punkt 6420 (på den nordøstlige del af Teleøen). Mellem dette punkt og et vandstandsbræt på

Model-kote	35,297 m
Sand kote (nivelleret)	35,220 m
"Offset"	0,077 m

Tabel 6.1: Beregning af "offset" i punkt 6420 med gr2000.

havnen er der lavet et nivellement, således at højdeforskellen er kendt. Ved vandstandsbrættet er der aflæst vandstand over en periode på 44 måneder, og på den måde er den lokale middelvandstand defineret. Dermed mener Asiaq at have fundet den "sande kote" til punkt 6420.

Derefter er der lavet en GPS-måling i punkt 6420, og ved hjælp af geoidmodellen er ellipsoidehøjden omregnet til det, man kan kalde en "model-kote". Den sande kote og model-koten bør være sammenfaldende – hvis ellers geoidmodellen er korrekt. Det er den ikke helt.

Hvis man bruger Kort og Matrikelstyrelsens nyeste geoidmodel, *gr2000*, fås et "offset" på 7,7 cm., som det er vist i Tabel 6.1. Det betyder altså, at koter, der fremkommer ved hjælp af GPS-målinger og geoidmodellen *gr2000*, kommer til at ligge 7,7 cm for højt i forhold til de nivellerede koter. Hvis man bruger KMS's tidligere model, *gr96*, er offsettet på 8,3 cm.

Asiaq har, som tidligere nævnt, valgt at korrigere for dette offset. Når der er lavet en GPS-måling, bliver ellipsoidehøjden omregnet til en "model-kote" ved hjælp af *gr2000*, og derefter trækkes der yderligere 7,7 cm fra.

Det er i dette projekt valgt at følge samme princip – altså at arbejde med en slags korrigerede koter. Valget er truffet alene for at kunne lave en fornuftig sammenligning af koordinater.

6.3 Opmåling af fikspunkter

De forskellige koordinatlistor giver hver deres bud på koordinater til de mange fikspunkter, der er i Sisimiut og omegn. Samtidig er det fra flere sider blevet antydnet, at der på trods af det relativt lille geografiske område og dermed meget korte afstande er fejl på op til 10 cm eller mere i de opgivne koordinater.

Derfor er der i det følgende lavet en undersøgelse af nøjagtigheden af et antal fikspunkter.

6.3.1 Formål

Formålet med forsøget er at undersøge nøjagtigheden af de opgivne fikspunkters koordinater.

6.3.2 Forsøgsbeskrivelse

Der er udvalgt 26 fikspunkter i Sisimiut by og omegn. Alle disse fikspunkter er opmålt med statisk GPS i sessioner af mindst 30 minutter. Som basisstation for målingerne er der så vidt muligt både benyttet JHS1/61494 og JHS3. Derefter er der lavet en samlet udjævning af alle observationerne med JHS1/61494 og JHS3 fastholdt.

Til forsøget er der brugt en-frekvente *Trimble 4600 LS* GPS-modtagere som rovere. I JHS1/61494 blev der brugt en to-frekvent *Trimble 5700* GPS-modtager med *Zephyr*-antenne, og i JHS3 blev referencestationen beskrevet i afsnit 7.2 benyttet. Alle GPS-beregninger er udført med en-frekvente data. Basislinierne er i alle tilfælde under 3 km.

Næsten alle opstillinger i fikspunkter er lavet med instrumentstativ og optisk lod. Dog er målingen i punkt 0701 lavet med snapstativ, da der ikke var plads til et instrumentstativ. I referencepunkterne er antennen tvangscentreret ved brug af en fastmonteret GPS-bolt.

For seks af de besøgte fikspunkter kunne der kun beregnes en position fra det ene referencepunkt. Et punkt kunne slet ikke beregnes.

Processing summary og *adjustment report* for beregningerne findes i bilag 1 og 2. For alle beregnede koordinater gælder det, at der i udjævningen ikke blev korrigeret mere end 13 mm, hverken i plan eller kote. Den endelige koordinatliste for de indmålte fikspunkter findes i bilag 3.

6.3.3 Delkonklusion

Der er nu beregnet koordinater til 25 fikspunkter i Sisimiut og omegn. Disse opmålinger vurderes at være mindst lige så nøjagtige, som tidligere udførte opmålinger. I mange tilfælde vurderes de endda at være bedre. De tidligere opmålinger er, som tidligere beskrevet, udført i mindre områder, og der er ikke lavet en samlet udjævning, der dækker hele byen.

De her beregnede koordinater kan nu bruges som en slags "checkliste" ved sammenligning af de forskellige koordinatlistes.

6.4 Sammenligning af koordinatlistes

For at give et billede af den lidt forvirrende situation er der her lavet en sammenligning af de forskellige koordinatlistes. Alle listes er omregnet til REFGR96, UTM zone 22. Det betyder, at den liste fra Asiaq, der angiver koordinater i lokale koordinater, kommer til at fremstå lidt ringere end den i virkeligheden er på grund af begrænsningerne i den benyttede transformation. Højder er angivet i (korrigerede) kotes.

De benyttede koordinatlistes er:

- *Asiaq REFGR96* – Asiaq's liste oprindeligt i REFGR96, geografiske koordinater og ellipsoidehøjde
- *Asiaq lokal* – Asiaq's liste oprindeligt i lokale koordinater og koter
- *KMS* – KMS's liste oprindeligt i REFGR96 UTM zone 22 og koter
- *HGT* – De nyopmålte koordinater beskrevet i afsnit 6.3.

Resultatet kan findes i bilag 4. I Tabel 6.2 er vist et uddrag af sammenligningen. Her ses det tydeligt, at listerne *Asiaq REFGR96* og *HGT* stemmer flot overens. Der er lidt forskel på højderne, men det er ikke meget.

Sammenligningerne, hvor *KMS*-listen indgår, skal tages med et vist forbehold. Der er kun et meget begrænset antal punkter fælles med de andre lister. Derfor får enkelte fejl stor betydning. Her henvises til det detaljerede skema i bilag 4.

For at give et mere detaljeret billede er de enkelte sammenligninger udtegnet på et kort. Kortene er vist på bilag 5 – 9. Koordinatforskellene på de enkelte punkter er vist som en vektor, der angiver retning og størrelse af forskellen. Forskellene er på kortene angivet som en plan forskel – altså forskellen på henholdsvis northing- og easting-koordinaterne lagt sammen vektorielt. I det følgende vil dette blive refereret til som den plane forskel.

Sammenligningerne er lavet så fyldestgørende som muligt, men der er flere af fikspunkterne, der på et tidspunkt har fået en ny betegnelse (nummer). Nogle gange er begge betegnelser blevet brugt, og i andre tilfælde har man slettet den gamle. Det betyder, at der flere gange ser ud til at være "dubletter" på listerne. Mange gange er det reelle dubletter, men det kan også være gamle punkter, der fysisk er skiftet ud med nye. I sådanne tilfælde vil der også være egentlige koordinatforskelle.

		Gennemsnit [mm]	Spredning [mm]	Min [mm]	Max [mm]
<i>Asiaq REFGR96 – KMS</i>	N	12	14	0	42
	E	-13	41	-13	5
	H	77	236	-52	495
<i>Asiaq REFGR96 – Asiaq lokal</i>	N	60	54	-43	133
	E	-50	65	-146	79
	H	-9	40	-78	61
<i>Asiaq REFGR96 – HGT</i>	N	-1	9	-17	12
	E	0	9	-17	18
	H	-19	22	-62	20
<i>KMS – HGT</i>	N	-18	23	-59	10
	E	29	47	-3	113
	H	-8	46	-65	48
<i>Asiaq lokal - HGT</i>	N	-34	39	-107	48
	E	52	51	-50	124
	H	-8	35	-83	60

Tabel 6.2: Forskelle på koordinatlisterne

6.4.1 Asiaq REFGR96 – KMS

Se bilag 5. Denne sammenligning tæller kun 10 punkter i planen og 5 koter. Derfor giver gennemsnittet i Tabel 6.2 ikke et helt korrekt billede af forskellen på de to lister. I punkt 6661 er der en plan afvigelse på 13 cm. Ligeledes er der plane forskelle i punkt 62051, 6668 og 6420 på henholdsvis 10, 15 og 31 mm. Der er kun 5 sammenlignelige koter, hvoraf en har en forskel på 50 cm. De øvrige ligger med forskelle på 2 – 5 cm. Alt i alt tyder det på, at der generelt er god overensstemmelse mellem de to lister. Men forskelle på op til 50 cm kan ikke være acceptable. Med den begrænsede datamængde, der er til rådighed i dette projekt, er det svært at sige, om der kun er tale om en enkelt "svipser", eller om der er flere graverende fejl.

6.4.2 Asiaq REFGR96 – Asiaq lokal

Se bilag 6. Denne sammenligning er begrænset af den benyttede transformations gyldighedsområde som beskrevet i afsnit 6.2.1. I dette område, selve byområdet, er der plane fejl på omkring 4 cm. Det ser ud som om, der er en systematisk fejl, der virker i nordvestlig retning. Udenfor området er forskellene naturligvis noget større, helt op til over 40 cm, men her giver en sammenligning med den benyttede transformation ikke nogen mening. I afsnit 6.4.7 beskrives en ny plan Helmert-transformation, der dækker et langt større område. Forskellen på koterne er meget spredt. Gennemsnittet ligger flot på under 1 cm, men der er forskelle på 6 – 8 cm til begge sider. Så der må siges at være nogen usikkerhed her.

6.4.3 Asiaq REFGR96 – HGT

Se bilag 7. Her er der noget nær fuldstændig overensstemmelse i planen. Ingen steder er forskellen over 2 cm, og den gennemsnitlige forskel er på kun 1 mm. Koterne er lidt dårligere. Her er der forskelle på op til 6 cm. Det er værd at bemærke, at begge lister oprindeligt indeholdt ellipsoidehøjder. Derfor er der her tale om en direkte sammenligning (der er udført samme korrektion på begge lister). Der er dog stadig en gennemsnitlig koteforskel på de to lister på knap 2 cm. Det kunne altså tyde på, at der er en mindre systematisk forskel på de to lister.

6.4.4 KMS – HGT

Se bilag 8. Her er der også tale om en meget begrænset mængde sammenligningspunkter. Der er 7 punkter, hvoraf kun 5 har en opgivet kote. Ser vi først på de plane koordinater, stemmer 3 af punkterne fint overens, 2 passer nogenlunde og de 2 sidste punkter har en forskel på henholdsvis 8 og 13 cm. Det er altså svært at sige noget generelt på dette område, men det kunne tyde på, at der er en systematisk fejl, der

påvirker i sydøstlig retning. Forskellen på koterne varierer mellem 1 og 6 cm med et gennemsnit på knap 1 cm.

6.4.5 Asiaq lokal – HGT

Se bilag 9. Her ses samme billede som i sammenligningen af *Asiaq's REFGR96* og *lokalliste*. I selve byen, hvor transformationen gælder, er der mindre forskelle på 4 – 5 cm. Der er også en klar systematisk forskel i sydøstlig/nordvestlig retning (alt afhængig af fortegn). Udenfor transformationens gyldighedsområde er der større fejl på over 12 cm. Koteforskellene varierer også her meget. I de fleste punkter er forskellen mellem 1 og 4 cm, men der er enkelte, der kommer helt op på 6 og 8 cm. Gennemsnittetsforskellen ligger flot lige under 1 cm.

6.4.6 Delkonklusion

Samlet kan man konkludere, at der i det store og hele ikke er så stor forskel på de indhentede koordinatlisters. Som gennemsnit stemmer de forskellige lister nogenlunde overens. Forskelle eller fejl på 3 – 4 cm må kunne forventes, set i lyset af den lidt "tilfældige" og usammenhængende opmåling, der ligger til grund for fikspunktsnettet. De eneste lister, der kan siges at være sammenfaldende, er *Asiaq REFGR96* og *HGT*. Begge lister er lavet på baggrund af en række GPS-opmålinger, hvorefter der er lavet en samlet udjævning. Derfor vil de fremover blive betragtet som de "rigtige" koordinater. Det er også denne fællesliste, der vil blive brugt til testen af RTK-målingerne i kapitel 9.

Listen fra KMS har vist sig at have overraskende store fejl. Som nævnt er det med det forhåndenværende datamateriale svært at vurdere, om det er enkelte grove fejl, eller om det er listens standard.

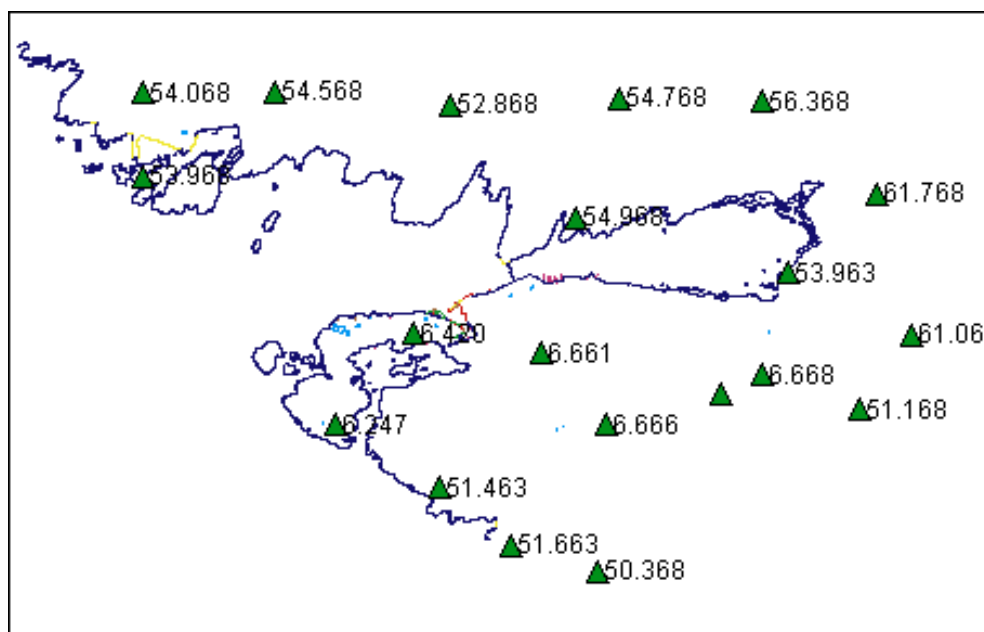
Asiaq's liste med lokale koordinater er svær at bedømme på grund af den begrænsede "rækkevidde" af transformationen. I det følgende afsnit (6.4.7) er transformationen derfor forsøgt udvidet til at dække hele byen og lidt af "oplandet" nord for byen.

Generelt set er koterne også nogenlunde ens i de forskellige lister. Der er mange og i flere tilfælde store forskelle i de enkelte punkter listerne imellem. Men fejlene ligger til begge sider. Der er ikke nogen systematisk højdeforskel. Asiaq's korrektionsmodel ser altså ud til at give det rigtige "niveau".

Spørgsmålet er så, om det er "godt nok" at have fejl på 3 – 4 cm på fikspunkterne. Selvom det er ganske tætliggende punkter, må man her sige, at det er acceptabelt til langt de fleste opgaver. Det største problem med de benyttede koordinatlisters er, at der er relativt store "enkelstående" fejl. I nogle tilfælde ligner det alvorlige tastefejl, men årsagen er sådan set underordnet. Det kan være meget svært at opnå et godt resultat, hvis der er så alvorlige fejl i det benyttede udgangspunkt.

6.4.7 Ny plan Helmert-transformation for Sisimiut

Da den tidligere benyttede transformation mellem de lokale bykoordinater og UTM-koordinater var begrænset til et meget lille område, er der her lavet en ny transformation. Selve transformationen er selvfølgelig den samme, men der er benyttet andre og flere fikspunkter, se Figur 6.7. De benyttede punkter er taget fra listerne *Asiaq lokal*, *Asiaq REFGR96* og *HGT*. Det er en blanding af både G1-punkter, 2. ordenspunkter osv.



Figur 6.7: Punkter der indgår i den nye Helmert-transformation

En udskrift af de fundne transformationsparametre og fejlene (v 'erne) på de enkelte punkter findes i bilag 10. De største fejl er på henholdsvis 9,3 cm og 10,7 cm. Som gennemsnit er v_{plan} på 5,6 cm. Spredningen for hele transformationen er på 4,5 cm. Med fejlphobningsloven fås:

$$\sigma_{\text{lokal-gps}}^2 = \sigma_{\text{lokal}}^2 + \sigma_{\text{gps}}^2 \Rightarrow$$

$$\sigma_{\text{lokal}}^2 = \sigma_{\text{lokal-gps}}^2 - \sigma_{\text{gps}}^2$$

σ_{gps} vurderes at være på 1 cm. Dermed har vi et godt bud på spredningen på de lokale koordinater:

$$\sigma_{\text{lokal}} = \sqrt{(4,5\text{cm})^2 - (1\text{cm})^2} = 4,4\text{cm}$$

Det er lidt mindre end sammenligningen i afsnit 6.4.2 mellem Asiaq REFGR96 og lokal, men der var spredningen også kraftigt påvirket af fejl, der skyldtes transformationens geografiske begrænsning.

7 Referencestation i Sisimiut

Tidligere havde Center for Arktisk Teknologi etableret en referencestation på taget af Bygge- og Anlægsskolen i Sisimiut. Her var signalmodtagelsen fra satellitterne langt fra optimal, idet skolen ligger lavt i forhold til det omkringliggende terræn. Derfor var ønsket at finde en mere egnet placering til referencestationen.

Foruden god GPS-modtagelse skal den nye placering også give mulighed for udsendelse af RTK-korrektioner via radio. Dertil kommer de praktiske krav til strømforsyning, varme osv. Adgang til telefon eller datanetværk vil også være at foretrække, således at man kan betjene stationen og overføre data via telefon eller internettet.

Valget faldt på TELE Greenlands sendehytte, der er placeret mellem Kapornip Aqq. og Kaallikassaap Aqq ca. 500 m vest for Bygge- og Anlægsskolen. Masten er placeret på noget nær det højeste sted i byen og bruges til alle former for telekommunikation. Herfra sendes der GSM- og NMT-signal til mobiltelefoner samt radio- og tv-signaler til kommunikationsformål og fra den lokale antenneforening.

Det er TELE Greenlands erfaring, at der herfra er gode muligheder for

radiodækning i det meste af byen. Det gør stedet meget velegnet som RTK-reference.

I sendehytten er der adgang til både el og telefon. Hytten er konstant opvarmet til ca. 22°C.

Indledningsvis blev det overvejet, om referencestationens GPS-antenne kunne monteres øverst i masten. Det ville give den optimale signalmodtagelse uden nogen former for blokeringer. Det blev dog vurderet, at masten ikke var stabil nok til formålet. Derfor blev GPS-antennen monteret på sendehytten. Det giver ikke en helt optimal placering, idet den høje mast vil blokere for nogle af satellitterne og give anledning til multipath. Punktets relativt høje placering gør imidlertid, at der ikke vil være nævneværdige gener fra omkringliggende fjelde osv.



Figur 7.1: TELE Greenlands sendemast og hytte (til højre) i Sisimiut

7.1 Beskrivelse af punkt JHS3

Referencepunktet, kaldet JHS3, er etableret ved at montere et lodretstående stålrør på sendehyttens væg. Stålrøret er forsynet med et udvendigt gevind i toppen. GPS-antennen monteres direkte herpå, og kan dermed tvangscentreres. Punktets kote er defineret som kraven på gevindet, således at man skruer antennen helt i bund ved montagen. Ved alle senere beregninger skal man derfor benytte antennehøjden 0,000 m målt til *antenna reference point* (ARP – også kaldet *bottom of antenna mount*).

GPS-antennen er placeret over kippen på hyttens tag. Således vil det kun være masten, der som tidligere nævnt, kan forstyrre modtagelsen af GPS-signalerne.

GPS-modtager, PC, radiosender, modem, strømforsyning mv. er placeret inde i sendehytten. Herfra er der trukket et kabel halvvejs op i masten, hvor radioantennen sidder.



Figur 7.2: Sendehytten med den monterede GPS-antenne



Figur 7.3: Det færdigetablerede JHS3

7.2 Instrumentering af JHS3

Referencestationen er udstyret med en to-frekvent *Trimble 4700 GPS-modtager* (firmware version 1.30) og en *micro centered compact L1/L2 antenne* med groundplane. Som software bruges *Trimble Reference Software*, version 1.04.

Til udsendelse af stationens faseobservationer bruges en *Marine antenna CXL 70-5C/I* fra Procom. Denne antenne er placeret i TELE Greenlands sendemast.

Til alle forsøg i denne rapport er der benyttet en radio af typen *TrimTalk 450s base equipment set*. Radioen sendte på frekvensen 447,5 MHz med en effekt på 0,5 watt.

7.3 Indmåling af JHS3

Da JHS3 fremover skal bruges som reference for andre målinger, ønskes positionen bestemt med størst mulig nøjagtighed. Derfor er der logget 15-sekunders data i knap 8 sammenhængende timer i JHS3 og JHS1. JHS1 er Kort og Matrikelstyrelsens REFGR-punkt i Sisimiut, og det er her valgt udelukkende at knytte JHS3 til JHS1, da der ikke er nogen sikkerhed for koordinaterne til andre af byens fikspunkter.

Begge stationer var udstyret med to-frekvente instrumenter. I JHS1 var det en *Trimble 5700* med en *Zephyr-antenne*, og i JHS3 var det den ovenfor nævnte *Trimble 4700* med en *micro centered compact L1/L2 antenne* med groundplane. På grund af den korte afstand på 333 m blev basislinien dog beregnet som en-frekvent. Til beregningerne er der hentet præcise efemeride-data på nettet¹⁰.

Målingerne er foretaget fra den 15. september 2002 kl. 22.15 til den 16. september 2002 kl. 06.05. Beregningerne er lavet i Trimble Geomatics Office, version 1.50. Koordinaterne til JHS3 kan ses i Tabel 7.1. Processing report fra beregningen findes i bilag 11.

Latitude	66°56'03,31491"N	Northing	7426558,967 m
Longitude	53°40'22,70987"W	Easting	383166,506 m
Ellipsoid Height	112,218 m	Ellipsoid Height	112,218 m

Tabel 7.1: JHS3 indmålt i WGS84/geogr og WGS/UTM zone 22

For at sikre tilknytningen til resten af det grønlandske net kunne man yderligere indmåle JHS3 i forhold til en af Kort & Matrikelstyrelsens permanente referencestationer i Grønland fx stationen i Kellyville. Det ville dog give en basislinie på ca. 150 km.

¹⁰ http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html (5. december 2002)

7.4 Remote acces

Idet referencestationen er placeret i TELE Greenlands sendehytte, kan man ikke regne med at kunne få fysisk adgang til stationen til hverdag. Derfor er der på den PC, der kører referencesoftware, installeret *remote acces software*, der gør det muligt at ringe op til PC'en og vedligeholde referencestationen samt hente de indsamlede data via en telefonforbindelse. På den måde kan referencestationen bruges til undervisningsformål og andre praktiske opgaver på Bygge og Anlægsskolen, selvom den ikke er fysisk placeret på skolen. Ligeledes er der let adgang til vedligeholdelse fra DTU.

En kort vejledning til det benyttede software, kaldet NetOp, findes i appendiks XX. Derudover henvises til softwaredokumentationen [Danware, 2002].

7.5 Forsøgsopstilling

Da referencestationen blev stillet op i efteråret 2002, skete det på "forsøgsbasis" og med det udstyr, der var til rådighed. Det betyder, at der skal laves lidt justeringer, hvis referencestationen skal gøres permanent.

Dataopsamling og lagring til efterprocessering fungerer optimalt, men efter de indledende forsøg i forbindelse med dette projekt er der ikke længere nogen permanent radio tilsluttet stationen. Derfor kan referencestationen ikke umiddelbart bruges til RTK-målinger.

Hvis referencestationen skal gøres permanent, skal der endvidere laves en aftale med TELE Greenland om lån / leje af plads i både hytte og mast. Den nuværende aftale er udelukkende om en forsøgsopstilling. Dette behandles yderligere i kapitel 11.

8 Referencestationens dækningsområde

Ønsker man at bruge referencestationen som basisstation i en statisk måling, er der meget vide grænser for afstanden mellem rover og referencestation. Man skal blot sikre sig, at der mindst er fire satellitter, der er synlige fra både rover og referencestation. Derudover gælder det selvfølgelig at nøjagtigheden falder, når afstanden vokser.

Skal referencestationen bruges til RTK-målinger, skal der desuden være et kontinuert radiolink mellem reference og rover. Som tidligere beskrevet har Center for Arktisk Teknologi valgt at bruge et UHF-link til referencestationen i Sisimiut. Radioen sender på frekvensen 447,5 MHz med en sendestyrke på 0,5 watt, som er den effekt, der normalt gives sendetilladelse til.

Ifølge leverandøren, Trimble Center Danmark, kan man med dette udstyr forvente en rækkevidde på op til 10 km. De indledende undersøgelser [Thomsen, 2002] tyder dog på, at dette er meget højt vurderet. [Forprojektet] tyder på, at der kræves noget nær "line of sight" for at opretholde forbindelsen. Sisimiut ligger i et meget kuperet område, så et krav om "line of sight" vil ikke kunne opfyldes særlig mange steder. Derfor er det i dette projekt valgt at lave en meget grundig undersøgelse af radioens dækningsområde.

8.1 Formål

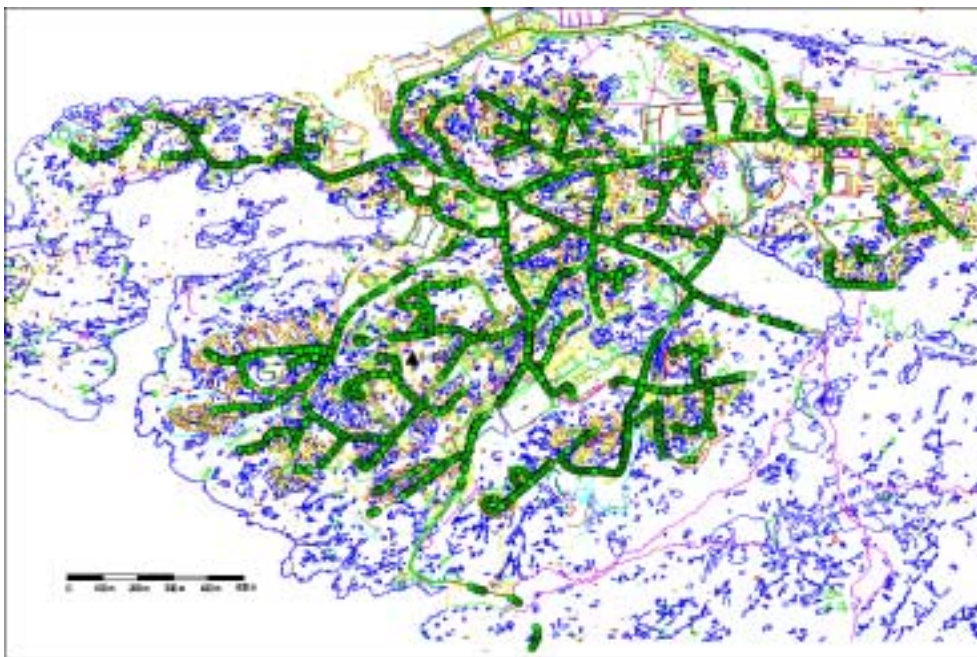
Referencestationens radiodækning undersøges for at få et billede af, hvor anvendelig en sådan referencestation er til RTK-målinger, idet aktionsradius og dermed det mulige arbejdsområde er af stor praktisk betydning, når der skal vælges målemetode og udstyr. Forsøget er gjort forholdsvis detaljeret for at kunne give et retvisende billede af radioens dækning i det meget kuperede terræn.

8.2 Forsøgsbeskrivelse

Forsøget er udført med referencestationen beskrevet i afsnit 7.2 og en Trimble 5700 GPS-modtager med indbygget radio og en ekstern *whip antenna* til modtagelse af data fra referencestationen. Der er altså ikke gjort noget for at forbedre hverken sender eller modtager i forhold til en praktisk opmålingssituation.

GPS-antennen sidder på en stok, der er monteret på en firhjulet motorcykel, se Figur 8.2.

Under forsøget er der forsøgt kørt på det meste af byens vejnet samt de stier mv., der var tilgængelige med motorcyklen. Der er kørt med en hastighed på 10-20 km/t., og instrumentet var sat til at gemme en RTK-position for hver fem meter.



Figur 8.1: RTK-dækning i Sisimiut

Når radioforbindelsen forsvandt, blev motorcyklen stoppet, således at der ikke opstod kunstige "døde områder" under ventetiden ved re-initialiseringer. På den måde skulle manglende positionsbestemmelser på de kørte strækninger vise reelle mangler i radiodækningen.

Alle de indhentede målinger er lagt ind på et Figur 8.1, se også bilag 12 og 13.

På det første kort (bilag 12) er hele byen tegnet ind. Her ses, at der i det store og hele er dækning i hele byen. Der er enkelte områder specielt ved lystbådehavnen og andre lave områder samt vejen til lufthavnen, hvor der ikke er dækning.

På det følgende kort ses et mindre udsnit af området. Her ses mange mindre "huller", hvor det kun ser ud til at der mangler en eller to markeringer. Det skyldes ikke, at der ikke er radiodækning, men når der af forskellige årsager skal re-initialiseres, kan man nemt have bevæget sig mere end de fem meter inden initialiseringen er færdig. Derfor opstår de små "huller".



Figur 8.2: GPS-antennen monteret på motorcyklen

Striber af manglende markeringer fx i vejkrydset mellem punkt 6661 og 57368 samt vejen øst for punkt 6662 (bilag 13) er helt reelle. Det er eksempler på områder, der ligger lavt i forhold til det omkringliggende, eller hvor signalet generes af en større fjeldknold mellem referencestationen og roveren.

Forsøget er, som det tidligere er beskrevet, udført med det af leverandøren anbefalede radioudstyr. Man kunne godt forestille sig, at der ville være bedre muligheder med andet udstyr, en anden frekvens og lignende. Andre muligheder er at øge sendestyrken på radioen eller at opstille et antal *repeatere*. Disse muligheder vil ikke blive behandlet i denne rapport.

8.3 Delkonklusion

Samlet set er der overraskende god radiodækning med det anvendte udstyr og dets placering. Der er som nævnt ovenfor mindre områder, hvor det ikke vil kunne lade sig gøre at lave RTK-målinger, men mange af disse "huller" vil altid være svære at dække – uanset placering af sender og eventuel anden sendefrekvens. Der er oftest tale om områder ved foden af en meget stejl skrænt.

Den opnåede radiodækning vil være tilstrækkelig til langt de fleste praktiske anvendelser.

9 Nøjagtighedsundersøgelse af RTK

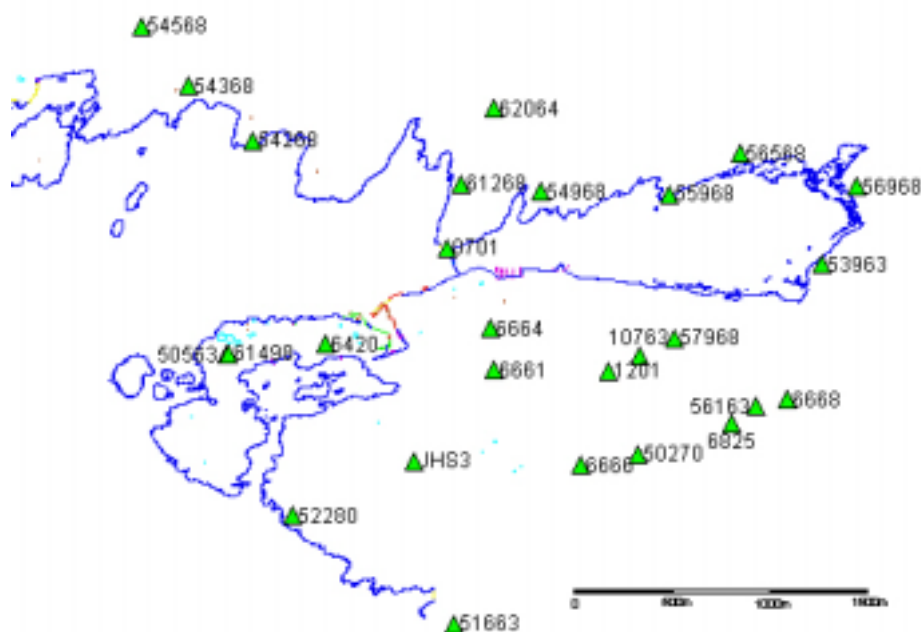
I forbindelse med opstillingen af referencestationen i Sisimiut er nøjagtigheden af RTK-målinger med udgangspunkt heri undersøgt. Som det fremgår af kapitel 8, er der radiodækning i tilnærmelsesvis hele byen. Det giver mulighed for at give et meget reelt indtryk af, hvordan forholdene ville være i praksis, hvis man vil benytte RTK-målinger i Sisimiut.

9.1 Formål

Formålet med forsøget er at undersøge nøjagtigheden af RTK-målinger med referencestationen placeret i JHS3. Resultatet vil naturligvis være påvirket af de fysiske omgivelser i Sisimiut, men det må kunne forventes, at resultatet vil være det samme andre steder, idet det benyttede testområde strækker sig over hele byen og dækker mange forskellige typer omgivelser.

9.2 Forsøgsbeskrivelse

Til forsøget er der benyttet 26 fikspunkter jævnt fordelt i hele Sisimiut. Et punkt (nr. 54268) er siden hen udgået af forsøget. Fikspunkterne er valgt udelukkende på baggrund af deres beliggenhed. Der er således enkelte punkter (specielt i området nord for Ulkebugten), hvor vand og og



Figur 9.1: Der blev målt til 26 fikspunkter i forsøget. Punkt 54268 er dog senere udgået af forsøget.

frost har slidt hårdt på fjeldet, og dermed gjort det svært at definere fikspunktet helt præcist. De benyttede punkter og omgivelser er et repræsentativt udsnit af, hvad man ville møde i praksis. Der er valgt punkter, der ligger tæt på bebyggelser og fjeldsider, på mindre fjeldtoppe og i dale, i områder med og uden bevoksning osv.

For at have et godt og troværdigt sammenligningsgrundlag er de udvalgte fikspunkter indmålt med statisk GPS. For beskrivelsen af indmåling og udjævning henvises til afsnit 6.3.2.

Med sammenligningsgrundlaget på plads kunne selve RTK-målingerne laves. De er udført med referencestationen beskrevet i kapitel 7 og en *Trimble 5700* GPS-modtager med indbygget radio og en ekstern *whip antenna* til modtagelse af data fra referencestationen. GPS-antennen er en *Zephyr*-antenne monteret på en 2,000 m antennestok, der blev stillet i lod ved hjælp af den indbyggede dåselibelle.

Da det flere steder viste sig at være uhensigtsmæssigt at bruge det medfølgende *snapstativ* til RTK-målingerne, er antennestokken håndholdt under målingerne. Det vil også typisk være fremgangsmåden i mange praktiske situationer.

Det optimale ville være at lave flere målinger i hvert enkelt punkt – helst med en ny initialisering mellem hver måling og gerne på forskellige tidspunkter af dagen¹¹. På grund af det store og ofte svært tilgængelige område var der i dette projekt ikke tid til at besøge fikspunkterne mere end en gang. I hvert punkt blev der lavet 10 målinger umiddelbart efter hinanden. Der er lavet ny opstilling og centrering – men ikke ny initialisering – mellem de 10 målinger.

Det er ikke den mest optimale måde at gøre det på, men i praksis vil man sjældent lave flere målinger og behandle dem statistisk – selvom det ville være en meget god idé at gøre det !

	N	E	H
Spredning	[2; 10]mm	[2; 8]mm	[5; 31]mm
Min. afvigelse fra middel	[-2; -17]mm	[-2; -11]mm	[-10; - 42]mm
Max. afvigelse fra middel	[2; 13]mm	[1; 15]mm	[8; 44]mm

Tabel 9.1: Intervaller for de 25 serier med RTK-målinger

I dette forsøg bliver der dannet middel af de 10 udførte målinger, og det vil være denne middel, der repræsenterer RTK-målingen. I bilag 14 er alle de målte værdier samt spredningen og største positive og negative afvigelse fra middel angivet for alle 25 måleserier. Hovedresultaterne er vist i Tabel 9.1. Indenfor de enkelte serier er der spænd på op til 28 mm

¹¹ Kort & Matrikelstyrelsen har i flere rapporter om RTK GPS [Villadsen, jan. 2002 og Villadsen, aug. 2002] vist, at der er meget stor korrelation mellem målinger taget umiddelbart efter hinanden. Mere om dette i kapitel 10.

og 86 mm mellem største positive og største negative afvigelse fra middel på henholdsvis plan og højde. Flertallet ligger dog omkring 20 og 40 mm på henholdsvis plan og højde. Det viser lidt om, at hvis man bare laver en enkelt RTK-måling, kan man nemt få resultater, der ikke helt svarer til virkeligheden. Hvis målingerne i den enkelte serie havde været helt uafhængige (hvis målingerne var lavet på forskellige tidspunkter og med ny initialisering før hver måling), ville observationerne i et givet punkt være endnu mere spredte. Mere om dette i kapitel 10.

For at undgå problemer med forskellige geoidemodeller osv., vil alle højder i dette forsøg blive holdt i ellipsoidehøjder. Både de statistiske målinger og RTK-målingerne giver en ellipsoidehøjde direkte, og det er dem, der vil blive sammenlignet.

Resultatet af sammenligningen af RTK-målingerne og de statistiske målinger kan ses i bilag 15. Hovedtrækkene er vist i Tabel 9.2. Tallene for de plane koordinater er en "samling" af northing- og eastingkoordinaterne.

	N [m]	E [m]	Plan [m]	Højde [m]
Gennemsnit	-0,001	-0,003	0,011	0,026
Std. afv.	0,009	0,008	0,005	0,035
Min afvigelse	-0,021	-0,020	0,002	-0,034
Max afvigelse	0,013	0,013	0,024	0,096

Tabel 9.2: Sammenligning af RTK og statistisk GPS målinger

Spredningen på forskellen mellem plane koordinater målt med statistisk GPS og RTK er ifølge Tabel 9.2 på 5 mm. Der er altså ikke noget der tyder på, at der er betydende forskel på nøjagtigheden af RTK og statistiske målinger.

Hvis det forudsættes, at spredningen på de statistiske målinger og RTK-målingerne er ens ($\sigma_{statisk} \approx \sigma_{RTK}$), giver fejllophobningsloven følgende:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{statisk}^2 + \sigma_{RTK}^2 = 2 \cdot \sigma_{RTK}^2 \Rightarrow$$

$$\sigma_{RTK} = \sqrt{2} \cdot \sigma_{\Delta}$$

hvor Δ betegner forskellen mellem RTK og statistisk måling.

Dermed har vi et godt bud på den plane spredning på RTK-målingerne:

$$\sigma_{RTK} = \sqrt{2} \cdot 5\text{mm} = 7\text{mm}$$

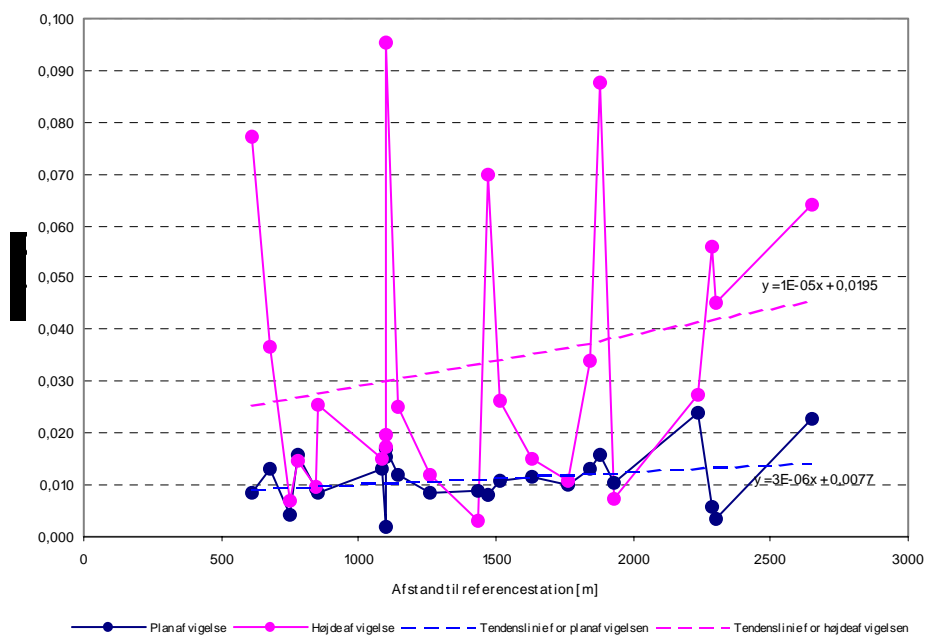
For at undersøge om nøjagtigheden er afhængig af afstanden til referencestationen, er afvigelse optegnet i Figur 9.2 som funktion af afstanden mellem de opmålte punkter og referencestationen.

For de plane observationer ser det ud som om, der er en vis sammenhæng mellem afvigelse og afstanden til referencestationen. Der er tilsyneladende en grundfejl på 3 mm og en afstandsafhængig fejl på knap 8 mm/km. Højdemålingerne kan også siges at have denne sammenhæng, men her ligger observationerne meget mere spredt. Den største afvigelse kommer allerede ved en afstand på 1100 m. Sammenhængen er altså langt fra entydig og skal derfor tages med et vist forbehold.

	Grundfejl		Afstandsafhængig fejl	
	Plan	Højde	Plan	Højde
Egne	3	10 mm	8 mm	20 mm
KMS	4	5 mm	0,5	2 mm

Tabel 9.3: Nøjagtigheden af RTK

Til sammenligning har Kort & Matrikelstyrelsen lavet en tilsvarende undersøgelse i Østjylland i efteråret 2001 [Villadsen, jan. 2002]. Resultaterne fra både KMS's undersøgelse og dette projekt er gengivet i Tabel 9.3 og bilag 16. Grundfejlen er tilnærmelsesvis den samme, men den afstandsafhængige fejl er en faktor 8 og 5 større i dette projekt i



Figur 9.2: RTK afvigelser som funktion af afstanden til referencestationen

henholdsvis plan og højde. Der skal i den forbindelse gøres opmærksom på, at KMS har brugt afstande på mellem 3 og 24 km, hvor der i dette projekt er tale om afstande på mellem 0,6 og 2,7 km. Man kan sagtens forestille sig, at denne forskel har stor indflydelse på systemets formåen. Af praktiske grunde var det ikke muligt at øge afstanden til referencestationen i dette projekt, men det er et område, der er værd at undersøge nærmere. Hvis den afstandsafhængige fejl er meget stor, kunne det godt få indflydelse på placeringen af referencestationen.

9.3 Delkonklusion

Hvis man i første omgang ser bort fra en eventuel afstandsafhængighed, har de viste RTK-målinger en spredning på 7 mm.

Det gælder under forudsætning af, at nøjagtigheden på statiske målinger og RTK har samme spredning, hvilket er en meget realistisk antagelse.

Det ser dog ud til, at nøjagtigheden faktisk er afstandsafhængig. Der er tilsyneladende en grundfejl på 3 mm og en afstandsafhængig fejl på knap 8 mm/km.

Det betyder, at der på punkterne længst væk fra referencestationen (2,7 km) er en spredning på 2,5 cm ($3 \text{ mm} + 2,7 \cdot 8 \text{ mm}$). Det er altså ikke langt fra spredningen på byens fikspunkter, og ved en traditionel opmåling skal den lægges til spredningen på selve målingen.

RTK-målinger er hermed mindst lige så nøjagtige som traditionel landmåling baseret på byens fikspunkter.

10 Reproducerbarhed med RTK

En måde at undersøge nøjagtigheden af RTK GPS er at gentage resultatet af et større antal "ens" målinger, hvor antennen ikke flyttes. Positionen er fuldstændig uændret, men de målte koordinater varierer lidt. Kort & Matrikelstyrelsen har lavet en såkaldt "gentagelsestest" [Villadsen, aug. 2002], der viser en tydelig korrelation mellem målinger foretaget hurtigt efter hinanden uden re-initialisering. I det følgende er der beskrevet et lignende forsøg, der belyser reproducerbarheden af RTK-målinger.

10.1 Formål

Formålet med forsøget er at undersøge om målinger udført hurtigt efter hinanden er korrelerede, samt med hvilken nøjagtighed man kan gentage RTK-målinger.

10.2 Forsøgsbeskrivelse

Forsøget er udført i Kgs. Lyngby, Danmark – men med stort set det samme udstyr som blev benyttet til forsøgene i Sisimiut, Grønland. For roverens vedkommende drejer det sig om en *Trimble 5700* GPS-modtager med indbygget radio og en ekstern *whip antenna* til modtagelse af data fra referencestationen. GPS-antennen er en *Zephyr*-antenne. Referencestationen består af en to-frekvent *Trimble 4400* GPS-modtager (firmware 2.38) og en *Compact L1/L2* antenne med groundplane. Som software bruges *Trimble Reference Software*, version 1.04. Radioen er en *TrimTalk 450s*, der sender via en *Marine antenna CXL 70-5C/I* fra Procom. Referencestationen er placeret på IMM's bygning på Landmålervej 7 i Kgs. Lyngby.

Til forsøget er roveren monteret på et instrumentstativ, der er opstillet i et ukendt punkt knap 30 m fra referencestationen, se Figur 10.1. Stativet har et fodstykke, der gør at GPS-antennen kan placeres præcis det samme sted til hver måling. På den måde er antennen tvangscentreret, og dermed vil de



Figur 10.1: Opstilling til gentagelsesforsøg

observerede afvigelser udelukkende skyldes selve RTK-målingen og eventuel multipath.

Forsøget er udført i det man kan kalde et "normalt" multipath-miljø. Der er 20 m til nærmeste bygning og 10 m til nærmeste træ. Man kunne godt forestille sig, at multipath-miljøet havde en vis betydning, når man gentager en bestemt måling over en længere tidsperiode. Satellitterne flytter sig på himmelen, og dermed ændres multipathen, hvorved den målte position kan blive påvirket. KMS's undersøgelse tyder dog ikke på, at der er nævneværdig forskel på resultatet, når forsøget udføres med henholdsvis mere eller mindre multipath.

10.2.1 Forsøg A

I en periode på 10 dage er der på forskellige tidspunkter af dagen indsamlet to slags data.

Først er der lavet 10 observationer hurtigt efter hinanden. Der er ikke lavet ny initialisering mellem målingerne. Der er ca. 10 sekunder mellem hver af de 10 målinger.

Dernæst er der igen lavet 10 observationer umiddelbart efter hinanden. Denne gang er der lavet en ny initialisering mellem alle målingerne (modtageren har været helt slukket). Det betyder, at der var ca. 1 minut mellem de enkelte målinger.

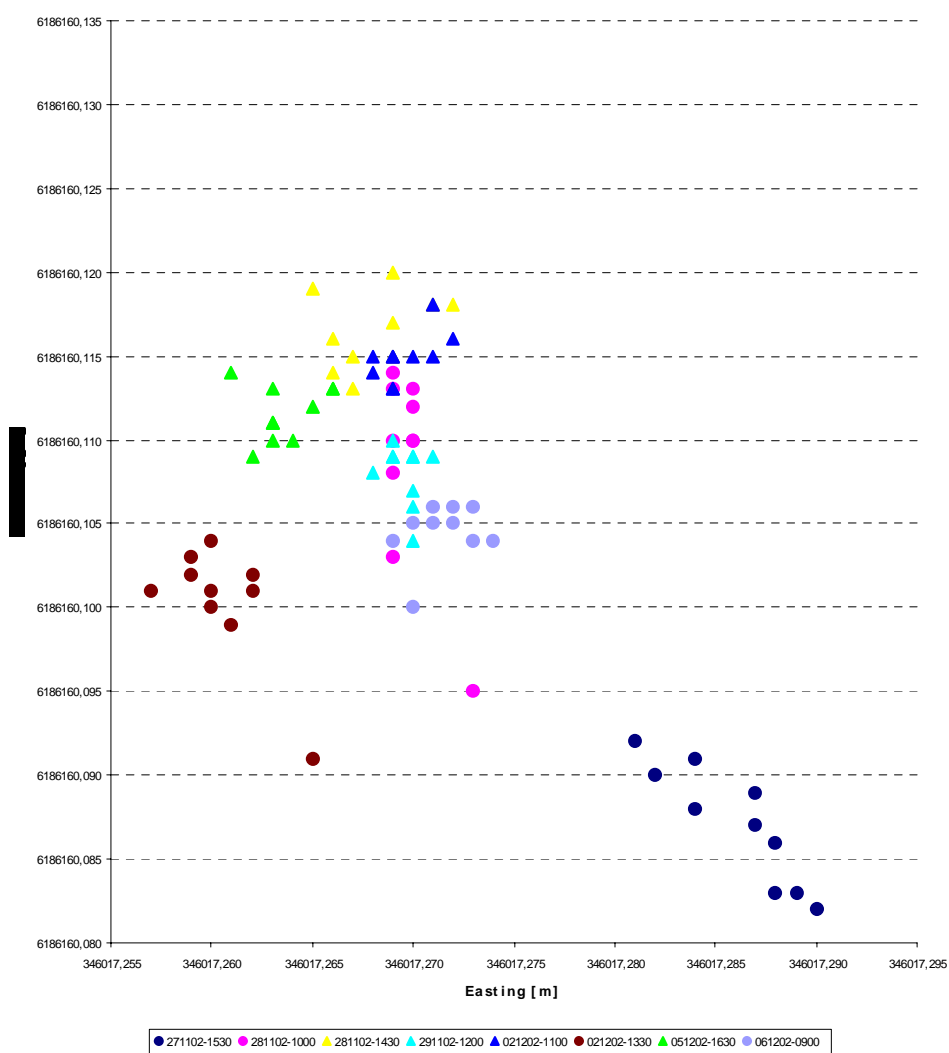
Ser man på de plane koordinater, er det meget tydeligt, at serierne uden re-initialiseringer er stærkt korrelerede. Figur 10.2 (se også Bilag 17) viser således meget klart, at stort set alle de enkelte serier ligger pænt samlet – men samtidig et stykke fra gennemsnittet af samtlige observationer, der her må bruges som den sande værdi. Ingen af serierne har spredninger over 8 mm. Så en serie på 10 observationer kan se endda meget flot ud – samtidig med at dens gennemsnit ligger 2-3 cm fra den sande værdi !

Figur 10.3 og Bilag 18 viser de 10 serier med re-initialisering inden hver måling. Spredningen på de enkelte serier er her på 9 mm og derunder. Man kan stadig se, at der er en vis samling på den enkelte serie. Alle serierne har enkelte målinger ganske tæt på den "sande værdi", hvorefter de resterende målinger ofte "peger" i en bestemt retning. Det er tydeligt at se, at der stadig er noget, der "samler" observationer, der er taget nogenlunde samtidig. Det kan skyldes, at ionosfæreforholdene ikke har været ens under de forskellige målinger, og at den benyttede ionosfæremodel ikke er "god nok".

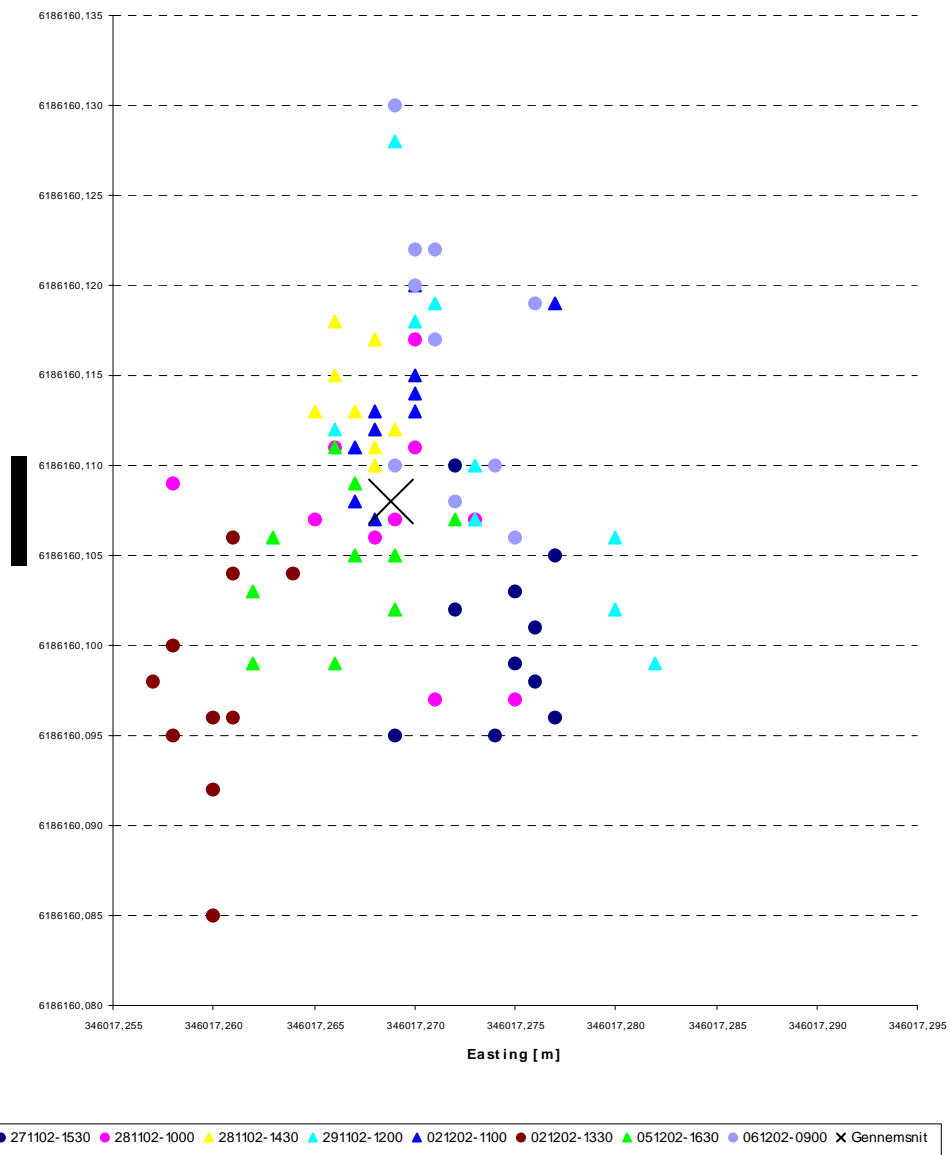
Hvis man går videre til kotemålingerne (Figur 10.4 og Figur 10.5), ser man det samme som for de plane koordinater. Serierne uden re-initialiseringer ligger meget mere samlet end de andre, se også bilag 19 og 20. Spredningerne er henholdsvis på max 13 og max 9 mm med og uden re-initialisering.

Som nævnt ovenfor er der lavet en serie uden re-initialisering og en serie med re-initialisering med få minutters mellemrum. Denne tidsmæssige sammenhæng viser sig også tydeligt på kotemålingerne. To

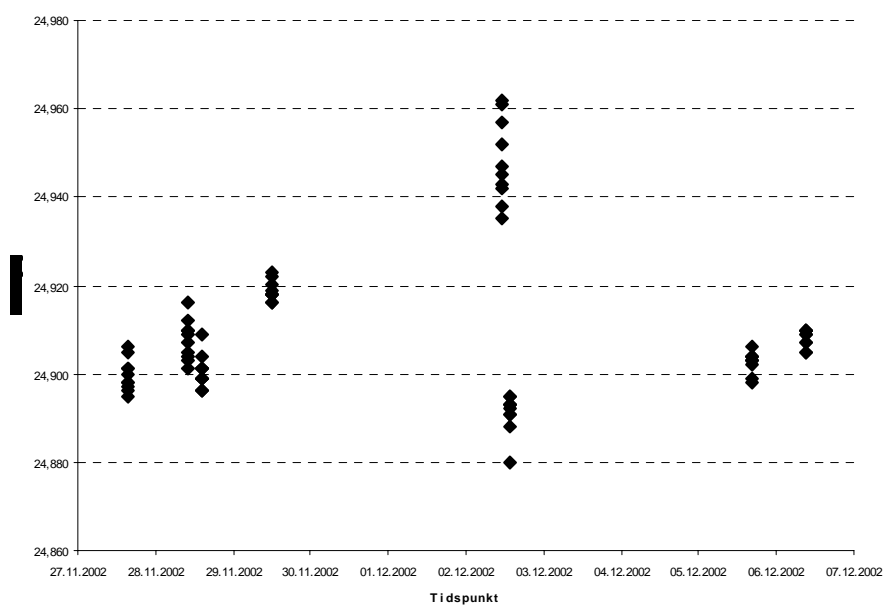
serier, der tidsmæssigt er målt tæt på hinanden, viser sig at give koter, der ligger meget tæt på hinanden. Det er tydeligt at se, at der på nogle tidspunkter er målt lavere koter end andre. Dette fænomen kan måske forklares med satellitkonstellationen på det pågældende tidspunkt.



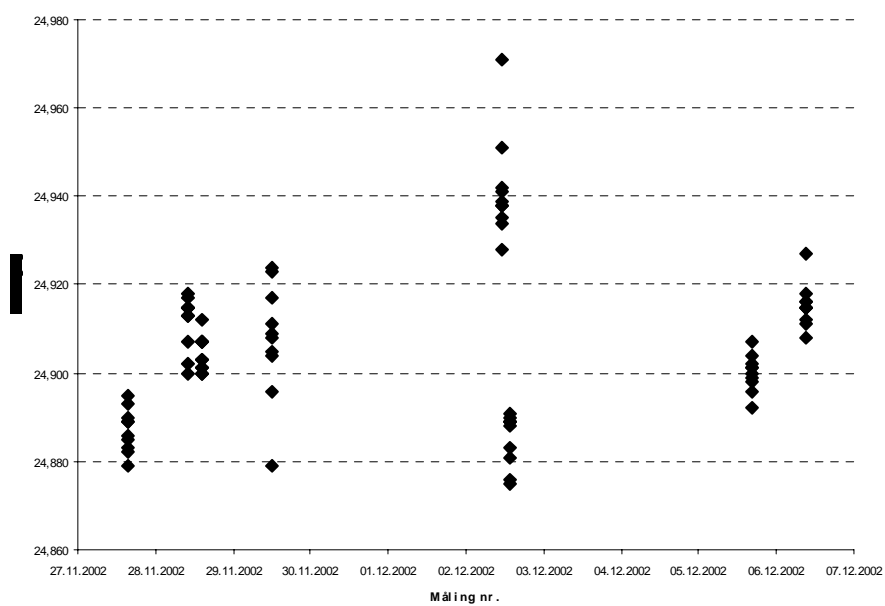
Figur 10.2: Plan plot af målinger uden re-initialiseringer i de enkelte serier



Figur 10.3: Plan plot af målinger med re-initialiseringer mellem de enkelte målinger



Figur 10.4: Kote plot af serier uden ny initialisering før hver måling



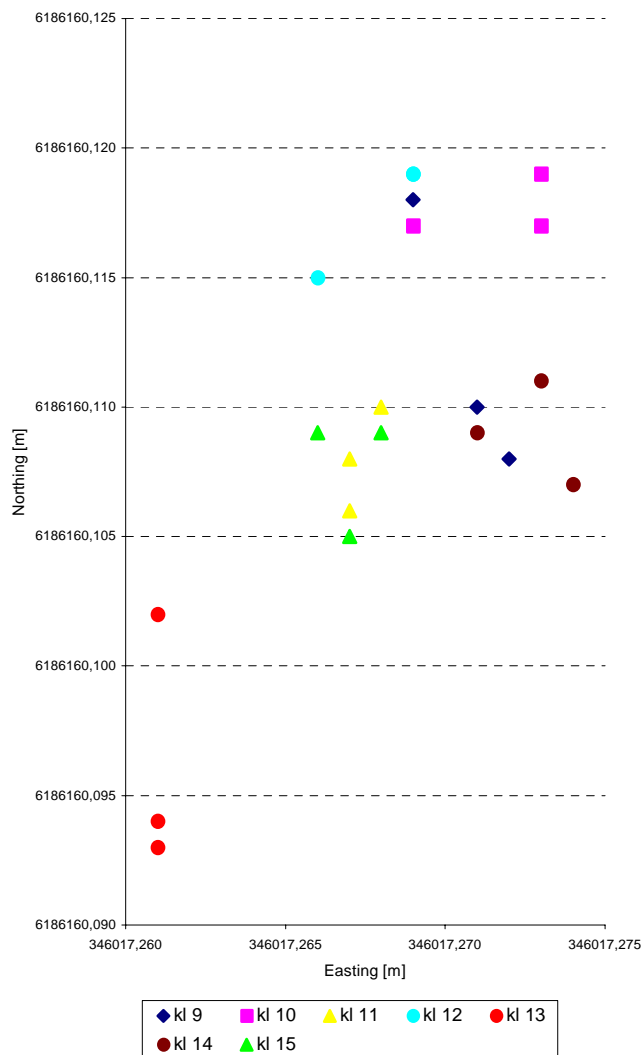
Figur 10.5: Kote plot af serier med initialisering før hver måling

10.2.2 Forsøg B

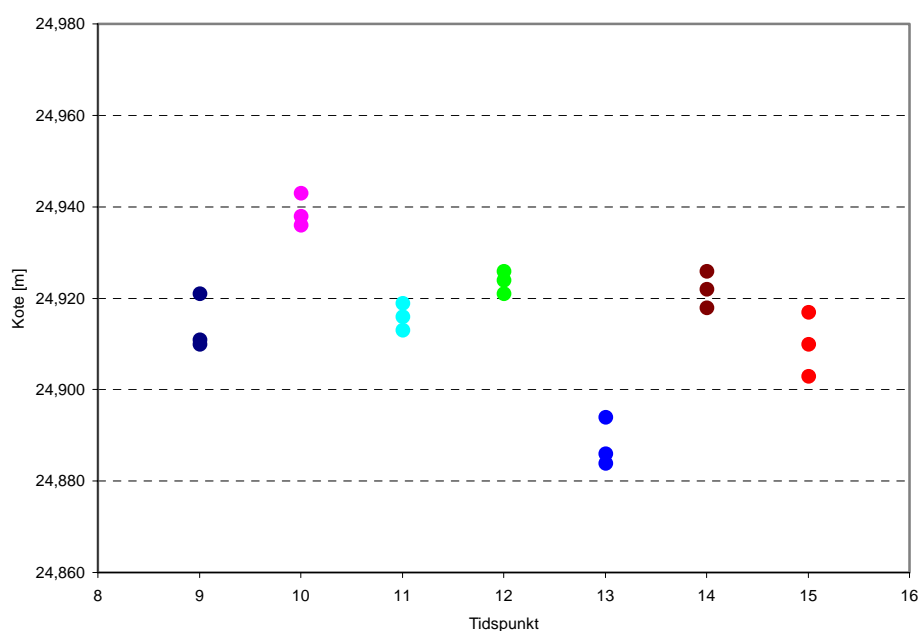
En gang hver time i 7 timer er der lavet 3 observationer hurtigt efter hinanden uden ny initialisering. Der er ca. 10 sekunder mellem hver af de 3 målinger.

Resultaterne er vist i Figur 10.6 og Figur 10.7, der også ses i bilag 21 og 22.

Resultatet stort set som i Forsøg A. Serierne ligger relativt tæt samlet, men det er ikke altid at de er samlet omkring den sande værdi. Dog ser kotemålingerne (Figur 10.7) lidt bedre ud end i Forsøg A. I Forsøg B er de samlet i et lidt smallere bånd. Hvis idéen om påvirkningen fra satellitkonstellationen er rigtig, passer det også med, at konstellationen ikke ændres så meget i Forsøg A som i Forsøg B, da måleperioden her er meget kortere.



Figur 10.6: Plane variationer over en dag. Der er ikke re-initialiseret mellem de enkelte målinger i en serie



Figur 10.7: Kote-varianter over en dag. Der er ikke re-initialiseret mellem de enkelte målinger i en serie

10.2.3 Forsøg C

Hvis man opfatter de 8 serier med hver 10 observationer (med re-initialisering før hver måling) som 80 helt uafhængige målinger i det samme punkt, kan man få et godt bud på hvilken nøjagtighed man kan opnå med RTK. Igen må gennemsnittet af alle 80

målinger bruges som den sande værdi. Resultatet ses i Tabel 10.1.

Her fås en plan spredning på knap 10 mm og en spredning i højden på knap 20 mm. De største afvigelser fra den sande værdi er også lige store i alle retninger (i hvert fald i planen). Der er altså ikke tegn på nogen form for systematisk fejl. Resultatet her minder meget om resultatet fra kapitel 9.

Med en $R95_{mid}$ -værdierne forstås, at 95% af alle målingerne ligger indenfor 16, 10 og 36 mm fra middelværdien i henholdsvis northing, easting og højde.

Med den korte afstand (ca. 30 m) til referencestationen kunne man godt opfatte tallene i Tabel 10.1 som en grundfejl, hvortil en afstandsafhængig fejl skulle adderes. Det kan dette forsøg ikke give noget information om, men lignende forsøg med større afstande til referencestationen kunne give afgøre det.

	N [m]	E [m]	H [m]
Spredning	0,008	0,005	0,018
Min afvigelse	-0,022	-0,013	-0,064
Max afvigelse	0,023	0,012	0,032
$R95_{mid}$	0,016	0,010	0,036

Tabel 10.1: Resultatet af 80 uafhængige RTK-målinger med tvangscentreret antenne.

10.3 Delkonklusion

Med en plan spredning på knap 10 mm og en spredning i højden på knap 20 mm (Forsøg C) er der ikke stor forskel på RTK og statiske målinger. Det er dog de færreste, der vil gentage en opmåling 80 gange. Så er idéen med RTK gået fløjten.

Forsøget har meget tydelig vist, at målinger foretaget hurtigt efter hinanden er korrelerede. Det gælder uden tvivl for målinger foretaget uden re-initialisering, men selv når der foretages en re-initialisering før hver enkelt måling, er der en vis tendens til korrelerede observationer. Derfor vil man heller ikke kunne hente den store forbedring med gentagne målinger indenfor kort tid. Det gælder både med og uden re-initialisering. Den "store" gevinst kommer først ved at gentage målingerne over længere tid – og det er sjældent muligt i praksis.

Den "store" gevinst består i dette tilfælde blot af højst en centimeter. Ingen af de i alt 160 plane observationer ligger mere end 33 mm fra den sande værdi, og i højden er den største afvigelse på 64 mm.

$R95_{\text{mid}}$ -værdierne, der blev beregnet i Forsøg C, viser, at 95% af alle de 80 uafhængige RTK-målinger ligger vel indenfor 2 cm af den sande værdi i planen og knap det dobbelte i højden.

Til sidst skal der gøres opmærksom på, at den benyttede basislinie kun er omkring 30 m. Derfor er resultaterne ikke direkte sammenlignelige med kapitel 9.

11 Perspektivering

Dette kapitel handler om, hvordan projektet kan videreføres og konkretiseres. Selve referencestationen bærer på flere områder præg af at være en forsøgsopstilling, så hvis den skal gøres permanent, er der nogle aftaler og installationer, der skal på plads. Der skal ligeledes tages stilling til, hvem der skal bruge og betale for faciliteterne, samt hvordan et eventuelt samarbejde mellem forskellige medejere eller brugere skal fungere.

11.1 Tekniske mangler

Som beskrevet i afsnit 7.5 blev referencestationen opstillet på "forsøgsbasis". Det betyder at den i forsøgsperioden (september og oktober 2002) var fuldt funktionsdygtig. Siden er radiosenderen fjernet, således at referencestationen kun kan benyttes til post processing. Radioantenne og antennekabel er stadig intakt. Alt det benyttede GPS-udstyr tilhører DTU og Center for Arktisk Teknologi.

Den computer, der benyttes til lagring af data mv., er en almindelig PC (100 MHz) af noget ældre dato. Hvis det er noget, der skal benyttes dagligt i større omfang, anbefales det at skifte til en hurtigere computer. Det samme gælder det benyttede modem. Det kan også gøres hurtigere.

Hele opstillingen med computer, skærm, eksternt modem og GPS-modtager står på et bord i Tele Greenlands sendehytte. Hvis stationen skal gøre permanent, skal der laves en mere "fast installation", hvor de forskellige enheder er fastmonterede og optager mindst muligt plads. Samtidig skal der indgås en aftale med Tele Greenland om leje / brug af plads i hytten og i den tilhørende mast. I den forbindelse skal der gøres opmærksom på, at telefonlinien, der benyttes til dataoverførsel, også kun er på lånebasis.

11.2 Ejerskab og Administration

Hvis man skal gøre alvor af at etablere en RTK-tjeneste i Sisimiut, skal man have fundet en model for ejerskab og drift. Som udgangspunkt er der to muligheder:

- En virksomhed eller organisation kan selvstændigt eje og drive tjenesten med mulighed for at indgå lejeaftaler af forskellige slags.
- Et antal virksomheder og organisationer kan i fællesskab betale for indkøb og drift af tjenesten. Et medejerskab inkluderer så et vist antal brugstimer og vedligeholdelsesudgifter.

Hvilken model der vælges, er kommer meget an på samarbejdet mellem de berørte virksomheder og organisationer. Hvis "samarbejdsløsningen" vælges, kræver det meget stor evne og vilje til at planlægge udnyttelsen af instrumentet. Her vil et godt reserveringsystem selvfølgelig komme ind i billedet, men ofte vil man have brug for at kunne foretage mindre opmålinger med relativt kort varsel. Det kræver meget stor fleksibilitet og samarbejde brugerne imellem. Fordelen ved denne løsning er, at man kan dele udgifterne til indkøb og drift. Det er et væsentligt argument i et relativt lille samfund, hvor ingen af de mulige brugere ser ud til at kunne udnytte kapaciteten af tjenesten alene.

Hvis en enkelt virksomhed eller organisation alligevel vælger selv at opstille og drive en RTK-tjeneste, vil det være oplagt at udleje udstyret, enten alene eller med en operatør. Fx har Asiaq overvejet mulighederne for på denne måde at etablere permanente referencestationer i flere af de grønlandske byer. Tidligere har man oprettet en reference til en specifik kampagne og derefter pillet den ned igen.

Det bringer et andet aspekt af driften på banen. Selvom GPS-måling og især de nye RTK-instrumenter er blevet meget brugervenlige, er det nødvendigt, at der uddannes nogle "superbrugere", der kan stå for vejledning af brugerne og vedligeholdelse af udstyret. Disse superbrugere skal have et vist kendskab til måling med GPS, de forskellige målemetoder og i særdeleshed til betjening af instrumenterne – både referencestationen og roveren. I første omgang er det klart, at det er betjeningen af instrumenterne, der er vigtigst. Det er også forholdsvis simpelt. Men som det er fremgået af de foregående kapitler, kan man risikere at de målte koordinater ikke har den ønskede / forventede nøjagtighed. Derfor er det som i al anden landmåling utrolig vigtigt, at man benytter de rigtige "kontroller" og procedurer i forbindelse med målingerne. Det er det, et hold superbrugere skal sikre.

12 Konklusion

Projektets store omdrejningspunkt er referencestationen. Placeringen og opstillingen af den forløb uden vanskeligheder (Kapitel 7). Det eneste, der eventuelt kunne forbedres, er en indmåling af stationen i forhold til nogle af Kort & Matrikelstyrelsens permanente referencestationer i Grønland fx Kellyville.

Referencestationen er etableret på forsøgsbasis. Det betyder, at hvis den skal gøres permanent, er der en række praktiske forhold i forbindelse med udstyr og adgangsforhold, der skal justeres.

I forbindelse med referencestationen er der opstillet en radiosender med tilhørende antenne til udsendelse af stationens faseobservationer.

Rækkevidden og dækningen fra denne radiosender er afgørende for anvendeligheden af referencestationen til RTK-måling.

En meget detaljeret undersøgelse (kapitel 8) viste, at dækningen var ganske tilfredsstillende. Der var ikke fuldstændig dækning overalt, men byens meget kuperede terræn taget i betragtning kan det heller ikke forventes. Der er enkelte mindre "huller" i dækningen, og de findes ofte umiddelbart bag ved stejle fjeldsider. Sådanne huller kan være svære at komme uden om, men ved større opgaver kan man opstille en *repeater*, der kan afhjælpe problemet lokalt.

I områder, hvor det ikke lykkedes at etablere radiodækning, må man se bort fra RTK-faciliteten.

Nøjagtigheden af RTK-målingerne viste sig at være omtrentlig den samme som statiske GPS-målinger. I et større forsøg (kapitel 9) med 25 fikspunkter fordelt over hele byen (basislinier op til 2,7 km) var der intet, der tydede på, at statiske målinger var mere nøjagtige end RTK-målinger. Med antagelsen om at de to metoder har samme nøjagtigheder, gav forsøget en spredning på 7 mm i planen på RTK-målingerne.

Forsøget gav en klar antydning af, at nøjagtigheden på RTK-målinger er afstandsafhængig, se Tabel 12.1. I planen kan man (på baggrund af dette forsøg) regne med en grundfejl på 3 mm og en afstandsafhængig fejl på knap 8 mm/km. På højdeobservationerne er sammenhængen ikke nær så tydelig, men forsøg udført af Kort & Matrikelstyrelsen viser også en afstandsafhængig fejl på højdemålingerne. Det er et område, der vil være interessant at arbejde videre med.

	Grundfejl		Afstandsafhængig fejl	
	Plan	Højde	Plan	Højde
Egne målinger	3 mm	10 mm	8 mm	20 mm
KMS	4 mm	5 mm	0,5 mm	2 mm

Tabel 12.1: Nøjagtigheden af RTK

For at kunne vurdere om RTK GPS er lige så nøjagtigt som "traditionelle landmålingsmetoder", er det undersøgt, hvor godt det eksisterende fikspunktsgrundlag er.

Som beskrevet i kapitel 6 eksisterer der mindst tre forskellige koordinatlistere for fikspunkterne i Sisimiut. Derudover er der lavet en "kontrol" ved hjælp af statiske GPS-målinger i 25 punkter.

Listerne har i mange tilfælde indbyrdes forskelle på 3 – 4 cm på samme fikspunkt. Enkelte steder er der fejl på 40 – 50 cm. Generelt stemmer listerne altså nogenlunde overens med virkeligheden. Desværre generes helhedsindtrykket af en række relativt store "enkeltstående" fejl. Det er fejl, der er så store, at de vil ødelægge eventuelle målinger, der tager udgangspunkt heri.

Hvis man ser bort fra de grove fejl, er det altså de 3 – 4 cm (plus opstillings- og måleusikkerhed), der skal sammenlignes med nøjagtigheden af RTK-målingerne. Med en maksimal afstand på ca. 3 km til byens udkant (lufthavnen) kan man med tallene angivet i Tabel 12.1 regne med, at 95% af alle RTK-målinger ligger indenfor 53 mm ($R_{95} = 1,96 \cdot \sigma = 1,96 \cdot 27 \text{ mm}$) af de sande plane koordinater.

Man vil altså ikke opleve nogen forskel på nøjagtigheden, hvis man vælger at benytte RTK GPS. Kun ved opgaver, der kræver særlig store nøjagtigheder, vil det være problematisk at bruge RTK.

Gennem hele projektet er der lavet et stort antal målinger og opstillinger af enhver art, både i forbindelse med "demonstrationsopgaver" og konkrete forsøg. Erfaringerne herfra er, at det benyttede udstyr, en *Trimble 5700*, er ganske velegnet til formålet. Betjening og brug i øvrigt har været simpelt og effektivt i praksis. Man skal dog være opmærksom på de generelle begrænsninger for brug af GPS. Der har enkelte gange været problemer med at opretholde forbindelse til tilstrækkelig mange satellitter. Det har enten været på grund af dårlig satellitgeometri, eller fordi en del af himmelrummet har været blokeret af huse eller fjelde.

Endelig skal det nævnes, at det under opholdet i Sisimiut blev diskuteret, hvordan man kunne etablere en velfungerende RTK-facilitet i praksis. Der er forskellige løsningsmodeller, og de enkelte interessenter har hver deres favorit baseret på deres eget behov og opfattelsen af samarbejdet interessenterne imellem.

Med en lille investering har Center for Arktisk Teknologi nu en permanent referencestation, og det er dermed kun rover delen, der mangler, for at gøre idéen til virkelighed.

Bilag 1

Processing summary for statistisk indmåling af fikspunkter

Processing Summary

ID	From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS
<u>B1</u>	JHS1	6420	675,455m	L1 fixed	59,238	1,554	0,004
<u>B2</u>	JHS1	6664	445,939m	L1 fixed	14,897	1,282	0,004
<u>B3</u>	JHS1	62064	1527,113m	L1 fixed	4,668	16,548	0,014
<u>B4</u>	JHS1	61498	1133,476m	L1 fixed	14,605	2,360	0,005
<u>B5</u>	JHS1	50563	1138,450m	L1 fixed	18,271	2,342	0,005
<u>B6</u>	JHS1	6661	301,825m	L1 fixed	8,791	3,952	0,007
<u>B7</u>	JHS1	61268	1122,742m	L1 fixed	3,603	8,739	0,009
<u>B9</u>	JHS1	54368	1663,853m	L1 fixed	1,912	16,644	0,017
<u>B10</u>	JHS1	6668	1749,386m	L1 fixed	12,294	7,691	0,010
<u>B11</u>	JHS1	57968	1220,565m	L1 fixed	9,824	3,888	0,007
<u>B12</u>	JHS1	54268	2081,975m	L1 fixed	2,175	19,332	0,014
<u>B13</u>	JHS1	0701	796,522m	L1 fixed	10,324	4,513	0,009
<u>B15</u>	JHS1	56163	1590,295m	L1 fixed	45,778	7,307	0,011
<u>B29</u>	JHS1	1201	849,419m	L1 fixed	54,173	1,165	0,004
<u>B30</u>	JHS1	50270	1022,802m	L1 fixed	26,617	1,455	0,004
<u>B31</u>	JHS1	10763	1019,330m	L1 fixed	23,958	2,254	0,005
<u>B32</u>	JHS1	6666	762,603m	L1 fixed	29,109	1,245	0,004
<u>B33</u>	1201	10763	174,757m	L1 fixed	28,733	1,799	0,004
<u>B71</u>	JHS1	51663	1126,430m	L1 fixed	9,072	5,907	0,011
<u>B72</u>	JHS1	52280	961,763m	L1 fixed	16,399	3,711	0,007
<u>B79</u>	JHS1	53963	2048,275m	L1 fixed	6,743	2,420	0,006
<u>B80</u>	JHS1	56968	2372,467m	L1 fixed	3,184	5,929	0,009
<u>B81</u>	JHS1	56568	1973,461m	L1 fixed	5,483	1,369	0,004
<u>B82</u>	JHS1	55968	1566,572m	L1 fixed	4,450	10,984	0,013
<u>B83</u>	JHS1	54968	1186,586m	L1 fixed	2,917	14,417	0,014
<u>B14</u>	JHS1	6825	1468,378m	L1 fixed	6,693	6,158	0,008
<u>B258</u>	JHS3	6420	748,592m	L1 fixed	46,259	1,956	0,005
<u>B260</u>	JHS3	6664	777,955m	L1 fixed	12,393	2,889	0,006
<u>B262</u>	JHS3	62064	1846,143m	L1 fixed	3,369	19,264	0,016
<u>B266</u>	JHS3	6668	1928,681m	L1 fixed	9,626	9,858	0,011
<u>B268</u>	JHS3	57968	1469,036m	L1 fixed	7,670	4,680	0,008
<u>B270</u>	JHS3	61498	1099,044m	L1 fixed	11,790	2,918	0,006
<u>B272</u>	JHS3	50563	1103,494m	L1 fixed	24,898	1,921	0,005
<u>B274</u>	JHS3	6661	615,748m	L1 fixed	6,392	4,320	0,007
<u>B276</u>	JHS3	61268	1434,860m	L1 fixed	2,819	11,826	0,012
<u>B280</u>	JHS3	54268	2235,954m	L1 fixed	1,509	21,431	0,017
<u>B282</u>	JHS3	0701	1104,577m	L1 fixed	5,783	8,584	0,012
<u>B284</u>	JHS3	6825	1628,933m	L1 fixed	5,305	7,522	0,009
<u>B286</u>	JHS3	56163	1765,380m	L1 fixed	35,323	8,644	0,012
<u>B289</u>	JHS3	1201	1088,782m	L1 fixed	33,824	1,805	0,004

Bilag 1

Processing summary for statistik indmåling af fikspunkter

<u>B290</u>	JHS3	50270	1143,474m	L1 fixed	17,956	1,836	0,004
<u>B291</u>	JHS3	50270	1143,470m	L1 fixed	6,330	2,424	0,005
<u>B292</u>	JHS3	10763	1263,512m	L1 fixed	18,435	2,731	0,006
<u>B293</u>	JHS3	6666	847,646m	L1 fixed	21,602	1,713	0,004
<u>B295</u>	JHS3	52280	680,727m	L1 fixed	2,238	6,118	0,008
<u>B298</u>	JHS3	52280	680,731m	L1 fixed	2,012	5,462	0,008
<u>B297</u>	JHS3	51663	854,523m	L1 fixed	8,024	6,241	0,010

Bilag 2

Adjustment report for statisk indmåling af fikspunkter

Adjustment Report

User name	Administrator	Date & Time	13:11:01 17-12-2002
Coordinate System	UTM	Zone	22 North
Project Datum	WGS 1984		
Vertical Datum		Geoid Model	Not selected
Coordinate Units	Meters		
Distance Units	Meters		
Height Units	Meters		

Adjustment Style Settings - HGT

Residual Tolerances

To End Iterations : 0,000010m

Final Convergence Cutoff : 0,005000m

Covariance Display

Horizontal

Propogated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0,00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1,96

Three-Dimensional

Propogated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0,00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1,96

Elevation Errors were used in the calculations.

Adjustment Controls

Compute Correlations for Geoid : False

Horizontal and Vertical adjustment performed

Set-up Errors

GPS

Error in Height of Antenna : 0,004m

Centering Error : 0,002m

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

Statistical Summary

Successful Adjustment in 1 iteration(s)

Network Reference Factor : 0,83

Chi Square Test ($\alpha=95\%$) : PASS

Degrees of Freedom : 52,00

GPS Observation Statistics

Reference Factor : 0,83

Redundancy Number (r) : 52,00

Individual GPS Observation Statistics

Observation ID	Reference Factor	Redundancy Number
B1	0,51	1,43
B2	0,90	1,34
B3	1,00	0,00
B4	0,24	1,43
B5	0,40	1,44
B6	0,22	1,43
B7	0,40	1,40
B10	0,37	1,43
B11	1,01	1,42
B12	1,00	0,00
B13	0,55	1,27
B14	0,33	1,42
B15	0,65	1,43
B29	0,70	1,80
B30	1,32	1,42
B31	0,62	1,81
B32	1,51	1,43
B33	0,27	1,50
B71	0,95	1,44
B72	1,59	1,36
B79	1,00	0,00
B80	1,00	0,00
B81	1,00	0,00
B82	1,00	0,00
B83	1,00	0,00
B258	0,51	1,44
B260	0,97	1,54
B266	0,37	1,45
B268	1,02	1,46
B270	0,24	1,45

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

B272	0,40	1,43
B274	0,22	1,46
B276	0,41	1,49
B282	0,58	1,64
B284	0,33	1,46
B286	0,66	1,46
B289	0,73	1,81
B290	1,33	1,46
B292	0,65	1,82
B293	1,52	1,45
B297	0,95	1,44
B298	1,63	1,53

Adjusted Coordinates

Adjustment performed in **WGS-84**

Number of Points : 26

Number of Constrained Points : 2

Horizontal and Height Only : 2

Adjusted Geodetic Coordinates

Errors are reported using 1,96 σ .

Point Name	Latitude	N error	Longitude	E error	Height	h error	Fix
JHS1	66°56'13,02609"N	0,000m	53°40'11,11521"W	0,000m	85,353m	0,000m	Lat Long h
6420	66°56'21,90302"N	0,005m	53°41'01,86589"W	0,005m	61,874m	0,007m	
6664	66°56'25,65065"N	0,005m	53°39'53,48474"W	0,004m	92,081m	0,009m	
62064	66°57'01,95765"N	0,009m	53°39'55,98103"W	0,009m	61,441m	0,010m	
61498	66°56'19,70859"N	0,006m	53°41'42,83379"W	0,006m	62,052m	0,007m	
50563	66°56'19,70433"N	0,006m	53°41'43,25190"W	0,006m	61,844m	0,007m	
6661	66°56'18,89108"N	0,004m	53°39'51,27827"W	0,004m	89,667m	0,008m	
61268	66°56'49,22769"N	0,007m	53°40'08,08979"W	0,007m	46,447m	0,008m	
6668	66°56'16,10069"N	0,010m	53°37'47,33716"W	0,010m	110,234m	0,007m	
57968	66°56'25,38031"N	0,007m	53°38'35,70314"W	0,007m	80,033m	0,007m	
54368	66°57'03,43335"N	0,011m	53°42'04,46762"W	0,012m	51,822m	0,011m	
0701	66°56'38,68361"N	0,007m	53°40'12,92516"W	0,006m	38,274m	0,017m	
6825	66°56'11,70732"N	0,008m	53°38'10,36348"W	0,008m	136,158m	0,007m	
56163	66°56'14,64165"N	0,009m	53°38'00,29597"W	0,009m	116,371m	0,007m	
1201	66°56'19,46655"N	0,006m	53°39'03,14761"W	0,006m	82,817m	0,006m	

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

50270	66°56'05,94968"N	0,006m	53°38'48,88727"W	0,006m	73,022m	0,007m	
10763	66°56'22,13748"N	0,006m	53°38'50,48738"W	0,006m	76,165m	0,006m	
6666	66°56'03,79668"N	0,005m	53°39'12,95348"W	0,005m	108,557m	0,007m	
51663	66°55'36,79887"N	0,006m	53°40'03,33588"W	0,006m	106,282m	0,007m	
52280	66°55'53,49994"N	0,005m	53°41'12,60461"W	0,005m	53,760m	0,007m	
53963	66°56'38,51658"N	0,011m	53°37'35,56682"W	0,011m	37,965m	0,010m	
56968	66°56'51,59784"N	0,013m	53°37'22,42070"W	0,013m	30,869m	0,010m	
56568	66°56'56,19901"N	0,011m	53°38'11,64627"W	0,011m	62,564m	0,010m	
55968	66°56'49,01677"N	0,010m	53°38'40,60971"W	0,009m	33,095m	0,014m	
54968	66°56'48,60899"N	0,008m	53°39'35,02518"W	0,008m	57,466m	0,011m	
JHS3	66°56'03,31495"N	0,000m	53°40'22,70973"W	0,000m	112,274m	0,000m	Lat Long h

Coordinate Deltas

Point Name	ΔNorthing	ΔEasting	ΔElevation	ΔHeight	ΔGeoid Separation
JHS1	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
6420	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
6664	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
62064	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
61498	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
50563	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
6661	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
61268	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
6668	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
57968	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
54368	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
0701	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
6825	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
56163	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
1201	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
50270	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
10763	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
6666	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
51663	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
52280	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
53963	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
56968	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
56568	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

55968	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
54968	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A
JHS3	0,000m	0,000m	N/A	0,000m	N/A

Adjusted Observations

Adjustment performed in **WGS-84**

GPS Observations

GPS Transformation Group: <GPS Default>

Azimuth Rotation : -0°00'00,2832" (1,96σ) : 0°00'01,0132"

Network Scale : 1,00000030 (1,96σ) : 0,00000494

Number of Observations : 42

Number of Outliers : 0

Observation Adjustment (Critical Tau = 3,38). Any outliers are in red.

Obs. ID	From Pt.	To Pt.		Observation	A-posteriori Error (1,96σ)	Residual	Stand. Residual
B293	JHS3	6666	Az.	88°58'56,0164"	0°00'00,8241"	0°00'00,3369"	0,85
			ΔHt.	-3,717m	0,007m	-0,010m	-2,99
			Dist.	847,622m	0,003m	-0,001m	-0,44
B32	JHS1	6666	Az.	112°01'20,7707"	0°00'00,9172"	0°00'00,4109"	-0,94
			ΔHt.	23,204m	0,007m	0,010m	2,98
			Dist.	762,239m	0,003m	0,000m	0,06
B290	JHS3	50270	Az.	85°53'32,3687"	0°00'00,6115"	0°00'00,1500"	0,51
			ΔHt.	-39,252m	0,007m	-0,009m	-2,67
			Dist.	1142,783m	0,003m	-0,001m	-0,32
B30	JHS1	50270	Az.	102°21'59,3129"	0°00'00,6829"	0°00'00,1835"	-0,56
			ΔHt.	-12,331m	0,007m	0,009m	2,66
			Dist.	1022,716m	0,003m	0,000m	0,14
B298	JHS3	52280	Az.	243°22'13,4946"	0°00'01,0664"	0°00'01,2543"	2,36
			ΔHt.	-58,514m	0,007m	0,009m	2,35
			Dist.	678,199m	0,004m	-0,002m	-1,28
B72	JHS1	52280	Az.	231°00'40,2077"	0°00'00,7476"	0°00'00,6848"	-1,96
			ΔHt.	-31,593m	0,007m	-0,007m	-2,24
			Dist.	961,236m	0,004m	0,003m	1,62
B268	JHS3	57968	Az.	62°14'56,1456"	0°00'00,4981"	0°00'00,1862"	0,77
			ΔHt.	-32,241m	0,007m	-0,008m	-2,01

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

			Dist.	1468,660m	0,003m	0,000m	-0,18
B11	JHS1	57968	Az.	71°42'50,1485"	0°00'00,5988"	0°00'00,2168"	-0,76
			ΔHt.	-5,320m	0,007m	0,007m	2,00
			Dist.	1220,538m	0,003m	0,000m	0,04
B260	JHS3	6664	Az.	27°09'30,1016"	0°00'00,9351"	0°00'00,3704"	0,79
			ΔHt.	-20,193m	0,009m	-0,010m	-1,89
			Dist.	777,681m	0,004m	-0,001m	-0,33
B2	JHS1	6664	Az.	28°42'10,7470"	0°00'01,6292"	0°00'00,4694"	-0,62
			ΔHt.	6,728m	0,009m	0,007m	1,88
			Dist.	445,883m	0,004m	0,000m	0,08
B297	JHS3	51663	Az.	164°00'19,1068"	0°00'00,8345"	0°00'00,0029"	0,01
			ΔHt.	-5,992m	0,007m	0,003m	0,99
			Dist.	854,485m	0,003m	-0,003m	-1,76
B71	JHS1	51663	Az.	175°11'04,1171"	0°00'00,6321"	0°00'00,1047"	-0,34
			ΔHt.	20,929m	0,007m	-0,003m	-0,99
			Dist.	1126,221m	0,003m	0,003m	1,72
B289	JHS3	1201	Az.	62°37'14,3783"	0°00'00,5605"	0°00'00,0493"	-0,14
			ΔHt.	-29,457m	0,006m	-0,006m	-1,49
			Dist.	1088,367m	0,003m	0,000m	-0,08
B29	JHS1	1201	Az.	76°24'22,8217"	0°00'00,7185"	0°00'00,1387"	-0,32
			ΔHt.	-2,536m	0,006m	0,005m	1,37
			Dist.	849,405m	0,003m	0,001m	0,33
B31	JHS1	10763	Az.	73°54'48,3744"	0°00'00,6078"	0°00'00,0400"	-0,11
			ΔHt.	-9,188m	0,006m	0,005m	1,27
			Dist.	1019,276m	0,003m	0,000m	0,19
B282	JHS3	0701	Az.	6°11'22,8918"	0°00'00,7534"	0°00'00,1464"	0,35
			ΔHt.	-74,000m	0,017m	-0,008m	-0,72
			Dist.	1102,080m	0,005m	-0,003m	-1,17
B13	JHS1	0701	Az.	358°24'56,8649"	0°00'00,9950"	0°00'00,0023"	-0,01
			ΔHt.	-47,079m	0,017m	0,004m	0,66
			Dist.	795,124m	0,005m	0,002m	1,16

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

B292	JHS3	10763	Az.	62°29'34,3151"	0°00'00,4897"	0°00'00,1376"	0,45
			ΔHt.	-36,109m	0,006m	-0,004m	-1,14
			Dist.	1262,976m	0,003m	-0,001m	-0,54
B286	JHS3	56163	Az.	78°31'02,2776"	0°00'00,4252"	0°00'00,1921"	0,92
			ΔHt.	4,097m	0,007m	-0,004m	-1,03
			Dist.	1765,345m	0,003m	0,001m	0,40
B258	JHS3	6420	Az.	320°26'44,4933"	0°00'00,9286"	0°00'00,0750"	-0,17
			ΔHt.	-50,400m	0,007m	-0,003m	-1,03
			Dist.	746,883m	0,003m	0,000m	-0,08
B1	JHS1	6420	Az.	294°02'45,8648"	0°00'01,0277"	0°00'00,0914"	0,19
			ΔHt.	-23,479m	0,007m	0,003m	1,03
			Dist.	675,039m	0,003m	0,000m	0,00
B15	JHS1	56163	Az.	88°10'45,9177"	0°00'00,4688"	0°00'00,1881"	-0,84
			ΔHt.	31,018m	0,007m	0,004m	1,02
			Dist.	1589,966m	0,003m	-0,001m	-0,54
B272	JHS3	50563	Az.	297°26'05,4478"	0°00'00,6377"	0°00'00,0070"	-0,02
			ΔHt.	-50,430m	0,007m	-0,003m	-0,81
			Dist.	1102,326m	0,003m	0,000m	0,05
B5	JHS1	50563	Az.	280°29'02,5072"	0°00'00,6195"	0°00'00,0025"	0,01
			ΔHt.	-23,509m	0,007m	0,003m	0,81
			Dist.	1138,194m	0,003m	0,000m	-0,05
B276	JHS3	61268	Az.	7°06'53,1203"	0°00'00,5181"	0°00'00,0243"	0,09
			ΔHt.	-65,827m	0,008m	-0,002m	-0,46
			Dist.	1433,330m	0,004m	-0,001m	-0,76
B7	JHS1	61268	Az.	1°52'34,3039"	0°00'00,6562"	0°00'00,0001"	0,00
			ΔHt.	-38,906m	0,008m	0,002m	0,44
			Dist.	1122,058m	0,004m	0,001m	0,75
B10	JHS1	6668	Az.	86°51'36,6162"	0°00'00,4079"	0°00'00,0068"	-0,04
			ΔHt.	24,880m	0,007m	0,002m	0,62
			Dist.	1749,181m	0,003m	-0,001m	-0,42
B266	JHS3	6668	Az.	78°07'45,0439"	0°00'00,3699"	0°00'00,0182"	0,10
			ΔHt.	-2,041m	0,007m	-0,002m	-0,62

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

			Dist.	1928,647m	0,003m	0,001m	0,41
B4	JHS1	61498	Az.	280°32'13,9790"	0°00'00,6211"	0°00'00,0154"	-0,05
			ΔHt.	-23,301m	0,007m	0,002m	0,47
			Dist.	1133,224m	0,003m	0,000m	0,11
B270	JHS3	61498	Az.	297°33'46,7994"	0°00'00,6423"	0°00'00,0248"	0,08
			ΔHt.	-50,222m	0,007m	-0,002m	-0,47
			Dist.	1097,881m	0,003m	0,000m	-0,09
B14	JHS1	6825	Az.	91°34'47,0802"	0°00'00,4972"	0°00'00,0924"	0,39
			ΔHt.	50,805m	0,007m	0,002m	0,44
			Dist.	1467,473m	0,003m	-0,001m	-0,32
B284	JHS3	6825	Az.	80°47'53,1783"	0°00'00,4469"	0°00'00,0703"	-0,32
			ΔHt.	23,884m	0,007m	-0,002m	-0,44
			Dist.	1628,727m	0,004m	0,001m	0,38
B33	1201	10763	Az.	61°43'00,0963"	0°00'03,9077"	0°00'00,8207"	-0,41
			ΔHt.	-6,652m	0,007m	0,000m	-0,14
			Dist.	174,628m	0,003m	0,001m	0,36
B274	JHS3	6661	Az.	38°21'07,3554"	0°00'01,1767"	0°00'00,1169"	-0,20
			ΔHt.	-22,607m	0,008m	-0,001m	-0,15
			Dist.	615,324m	0,004m	0,001m	0,36
B6	JHS1	6661	Az.	52°58'55,3797"	0°00'02,4226"	0°00'00,3318"	0,29
			ΔHt.	4,314m	0,008m	0,001m	0,16
			Dist.	301,790m	0,004m	-0,001m	-0,30
B82	JHS1	55968	Az.	44°34'56,8970"	0°00'00,6944"	0°00'00,0000"	0,00
			ΔHt.	-52,258m	0,014m	0,000m	0,00
			Dist.	1565,686m	0,005m	0,000m	0,00
B12	JHS1	54368	Az.	318°36'55,8507"	0°00'00,5161"	0°00'00,0000"	0,00
			ΔHt.	-33,531m	0,011m	0,000m	0,00
			Dist.	2081,683m	0,005m	0,000m	0,00
B81	JHS1	56568	Az.	47°18'59,0275"	0°00'00,5081"	0°00'00,0000"	0,00
			ΔHt.	-22,789m	0,010m	0,000m	0,00
			Dist.	1973,307m	0,005m	0,000m	0,00
B79	JHS1	53963	Az.	67°17'51,1103"	0°00'00,4748"	0°00'00,0000"	0,00

Bilag 2

Adjustment report for statistisk indmåling af fikspunkter

			ΔHt.	-47,388m	0,010m	0,000m	0,00
			Dist.	2047,707m	0,005m	0,000m	0,00
B83	JHS1	54968	Az.	21°40'51,2353"	0°00'00,8761"	0°00'00,0000"	0,00
			ΔHt.	-27,887m	0,011m	0,000m	0,00
			Dist.	1186,245m	0,005m	0,000m	0,00
B80	JHS1	56968	Az.	59°43'40,4121"	0°00'00,4215"	0°00'00,0000"	0,00
			ΔHt.	-54,484m	0,010m	0,000m	0,00
			Dist.	2371,820m	0,005m	0,000m	0,00
B3	JHS1	62064	Az.	6°54'41,8765"	0°00'00,6552"	0°00'00,0000"	0,00
			ΔHt.	-23,912m	0,010m	0,000m	0,00
			Dist.	1526,908m	0,005m	0,000m	0,00

Bilag 3

Koordinatliste for ny-indmålte fikspunkter

GPS-indmålte fikspunkter i Sisimiut

Alle koordinater er indmålt i UTM / zone 22

Koterne er beregnet i KMStrans med geoiden gr2000g.01

Punkt	N	E	Ellipsoidehøjde	Punktets udformning
0701	7427648,259	383332,209	38,274	Ridset kryds i betonbro
1201	7427017,441	384153,316	82,817	Ridset kryds i fjeld
6420	7427154,574	382716,143	61,874	GI-plade
6661	7427024,574	383568,575	89,667	Søm i fjeld
6664	7427234,878	383550,760	92,081	GI-plade
6666	7426537,644	384013,663	108,557	GI-plade
6668	7426874,262	385068,747	110,234	Prik i fjeld
6825	7426750,140	384783,590	136,158	Søm i fjeld
10763	7427093,547	384310,442	76,165	Rundt bolthoved i fjeld
50270	7426591,826	384308,550	73,022	1" boret hul i fjeld
50563	7427108,245	382211,074	61,844	1" boret hul i fjeld - gl maling
51663	7425728,409	383366,446	106,282	1" boret hul i fjeld
52280	7426281,347	382547,907	53,760	1" boret hul i fjeld - gl maling
53963	7427561,847	385240,843	37,965	1" boret hul i fjeld
54368	7428472,462	382012,405	51,822	Prik i fjeld - gl maling
54268	7428197,194	382341,801	45,757	½" boret hul i fjeld
54968	7427935,686	383805,082	57,466	½" boret hul i fjeld
55968	7427920,172	384465,635	33,095	½" boret hul i fjeld
56163	7426835,764	384909,596	116,371	1" boret hul i fjeld
56568	7428127,503	384826,356	62,564	½" boret hul i fjeld
56968	7427959,896	385417,378	30,869	½" boret hul i fjeld
57968	7427186,264	384494,080	80,033	1" boret hul i fjeld
61268	7427972,002	383404,858	46,447	1" boret hul i fjeld
61498	7427108,157	382216,153	62,052	GPS-bolt
62064	7428359,602	383568,600	61,441	GPS-bolt
JHS1	7426853,413	383320,103	85,353	GPS-bolt (reference)
JHS3	7426558,968	383166,508	112,274	GPS-bolt (reference)

Bilag 4

Sammenligning af koordinatlister

Punkt	Asiaq REFGR96- KMS			Asiaq REFGR96 - Asiaq lokal		
	N	E	H	N	E	H
0701						
1201						
6247	0,000	-0,002	0,495			
6420	0,031	-0,005	0,027	0,020	-0,042	0,000
6661	0,042	-0,130	-0,051	0,003	-0,035	0,021
6664						
6666						
6668	0,015	0,005	-0,052	0,026	-0,032	-0,064
6825	0,006	-0,005	-0,032	0,034	-0,021	-0,040
10763						
50368				-0,004	0,079	-0,038
50563						
51168				0,133	-0,039	0,006
51463				-0,042	0,017	-0,064
51663				-0,043	0,056	-0,012
51763				0,011	0,075	-0,006
52868				0,093	-0,097	0,061
53668				0,112	-0,073	-0,078
53963				0,055	-0,091	-0,008
53968				0,111	-0,115	-0,045
54068				0,083	-0,133	-0,032
54368						
54568				0,097	-0,102	0,058
54768				0,080	-0,114	0,041
54968						
55368				0,094	-0,146	0,035
55968						
56268				0,051	-0,107	0,006
56368				0,077	-0,062	0,024
56568						
56968						
57968						
61068				0,132	-0,043	-0,032
61268						
61494	0,000	-0,001				
61498						
61768				0,126	-0,032	-0,013
62051	0,011	0,003				
62052	0,009	0,005				
62053	0,005	0,001				
62064	0,002	-0,001				
Gennemsnit	N	E	Kote	N	E	Kote
Spredning	0,012	-0,013	0,077	0,060	-0,050	-0,009
Min	0,014	0,041	0,236	0,054	0,065	0,040
Max	0,000	-0,130	-0,052	-0,043	-0,146	-0,078
	0,042	0,005	0,495	0,133	0,079	0,061

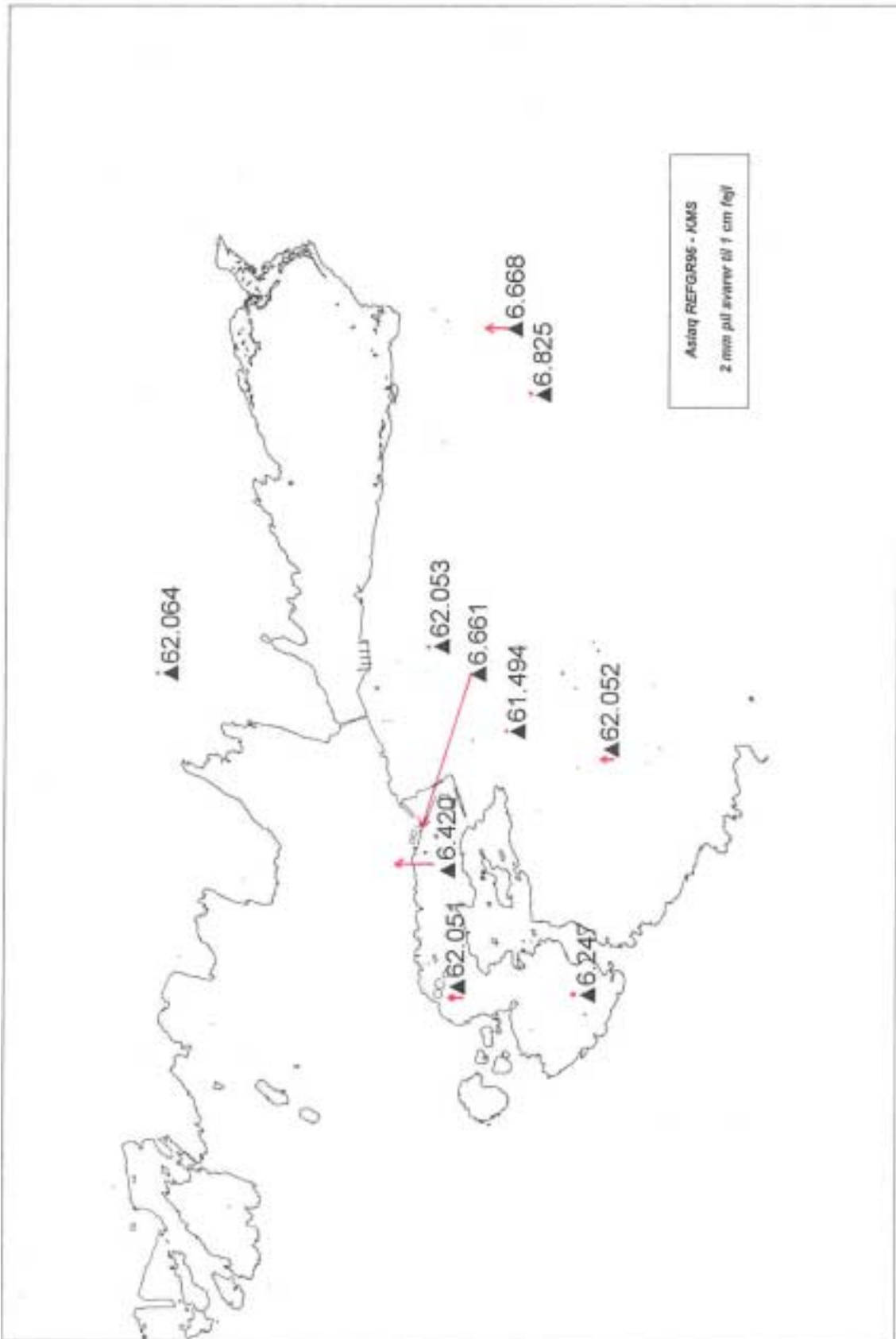
Bilag 4

Sammenligning af koordinatlister

Punkt	Asiaq REFGR96 - HGT			KMS - HGT			Asiaq lokal - HGT		
	N	E	H	N	E	H	N	E	H
0701	-0,016	0,005	-0,043						
1201	0,007	-0,010	-0,029						
6247									
6420	-0,002	-0,002	-0,013	-0,033	0,003	-0,040	-0,022	0,040	-0,013
6661	-0,017	-0,017	-0,062	-0,059	0,113	-0,011	-0,020	0,018	-0,083
6664				-0,025	0,080	-0,065	-0,060	-0,015	0,006
6666							-0,049	-0,009	0,001
6668	0,003	0,002	-0,004	-0,012	-0,003	0,048	-0,023	0,034	0,060
6825	0,000	0,004	-0,005	-0,006	0,009	0,027	-0,034	0,025	0,035
10763							-0,021	0,046	-0,008
50368									
50563							-0,003	0,052	-0,028
51168									
51463									
51663	0,005	0,006	-0,028				0,048	-0,050	-0,016
51763									
52868									
53668									
53963	-0,004	0,018	-0,019				-0,059	0,109	-0,011
53968									
54068									
54368							-0,071	0,118	0,057
54568									
54768									
54968							-0,029	0,124	-0,019
55368									
55968							0,003	0,105	-0,008
56268									
56368									
56568							-0,028	0,082	-0,022
56968							-0,106	0,075	-0,032
57968							0,006	0,027	-0,039
61068									
61268							-0,107	0,099	-0,021
61494	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001				
61498	-0,004	-0,003	-0,028						
61768									
62051									
62052									
62053									
62064	0,012	-0,003	0,020	0,010	-0,002				
	N	E	Kote	N	E	Kote	N	E	Kote
Gennemsnit	-0,001	0,000	-0,019	-0,018	0,029	-0,008	-0,034	0,052	-0,008
Spredning	0,009	0,009	0,022	0,023	0,047	0,046	0,039	0,051	0,035
Min	-0,017	-0,017	-0,062	-0,059	-0,003	-0,065	-0,107	-0,050	-0,083
Max	0,012	0,018	0,020	0,010	0,113	0,048	0,048	0,124	0,060

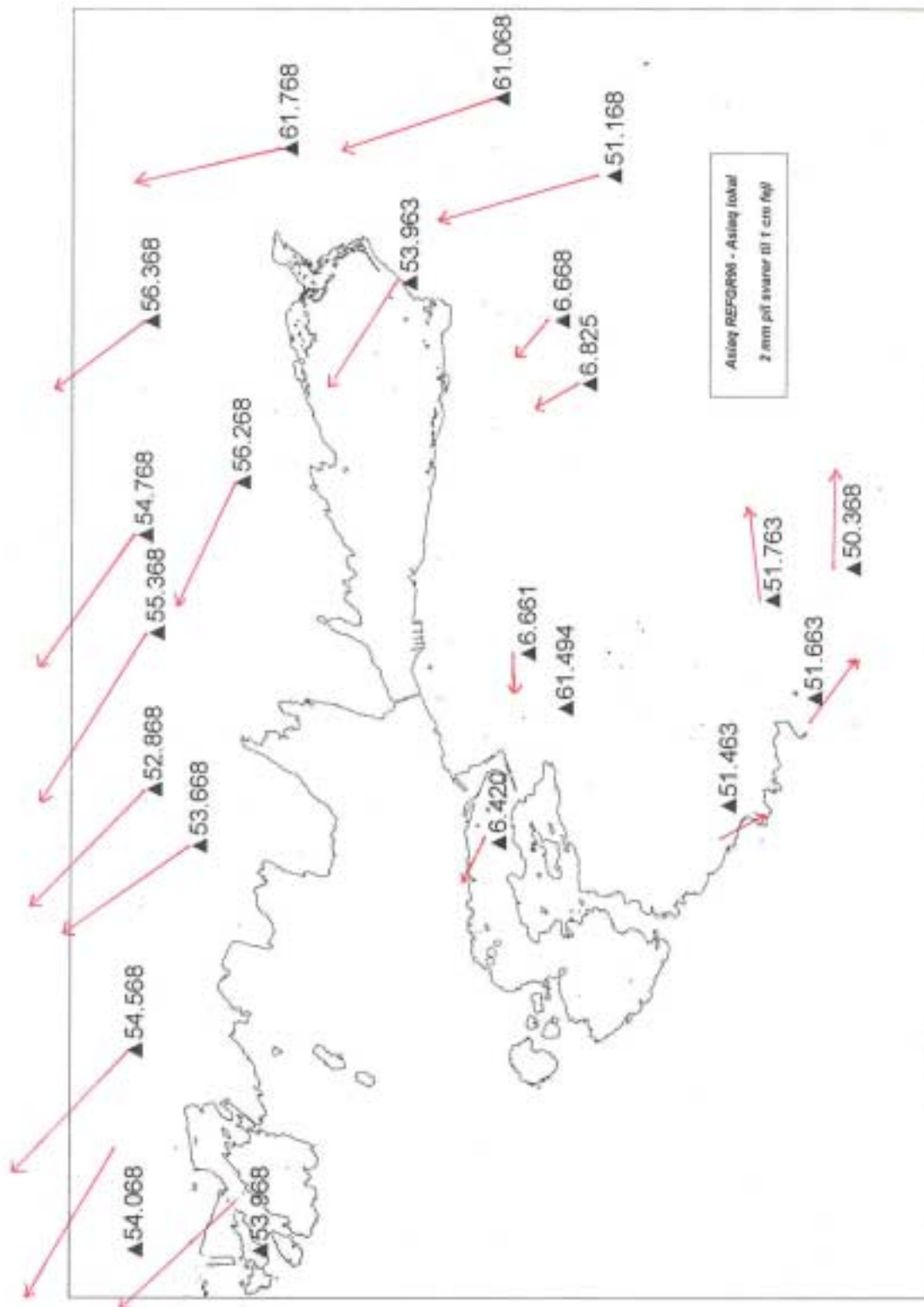
Bilag 5

Sammenligning af Asiaq REFGR96 og KMS



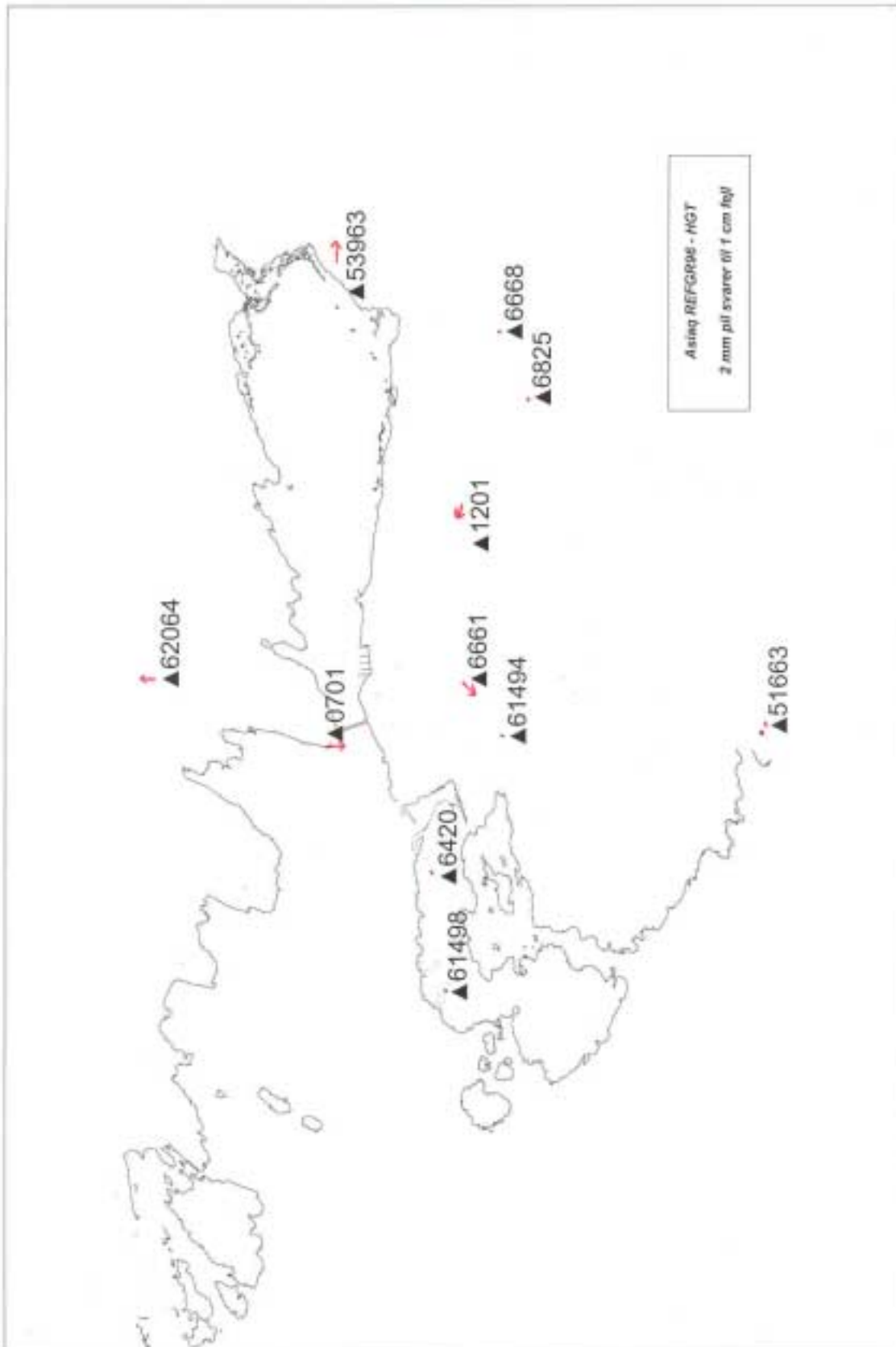
Bilag 6

Sammenligning af Asiaq REFG96 og Asiaq lokal



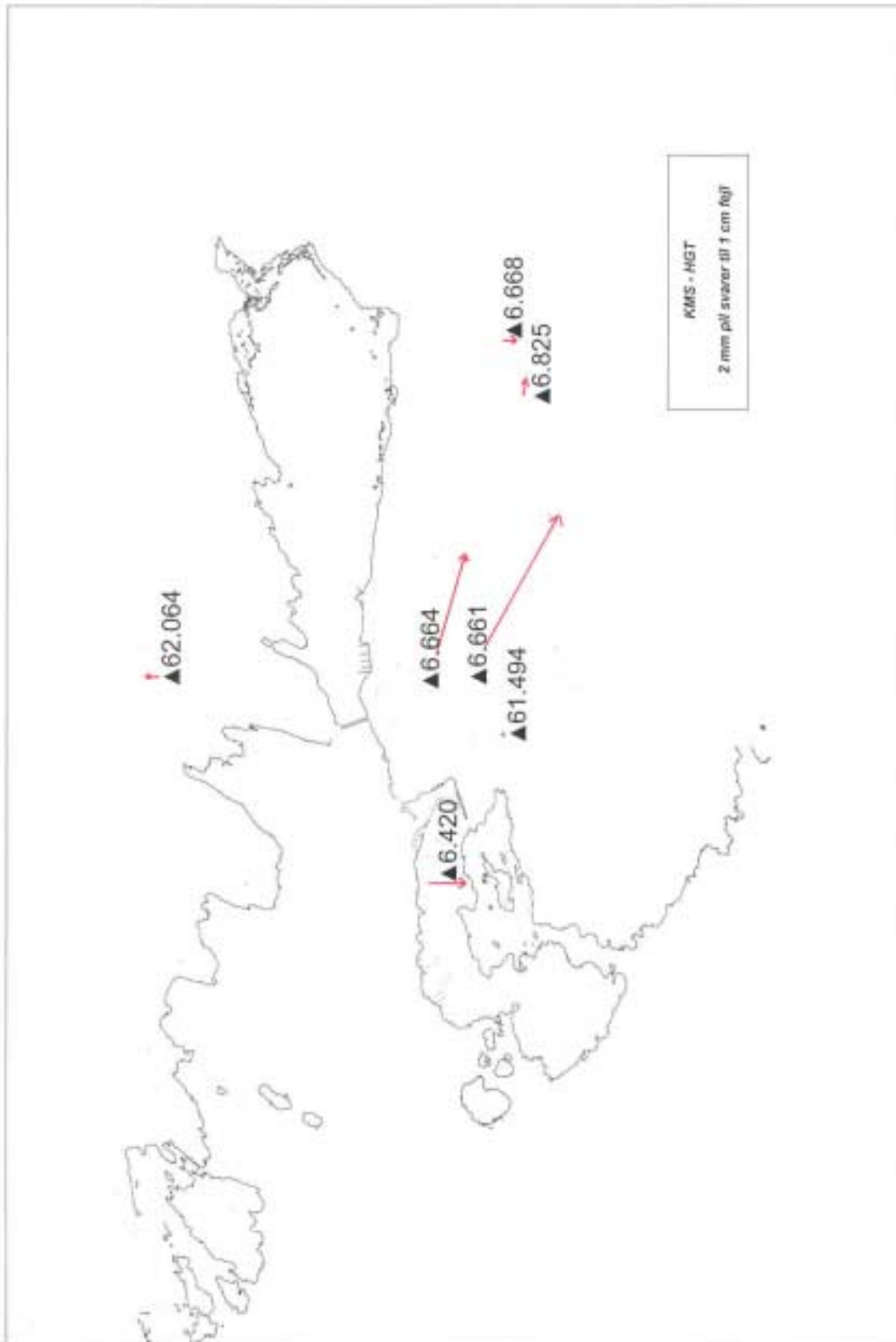
Bilag 7

Sammenligning af Asiaq REFGR96 og HGT



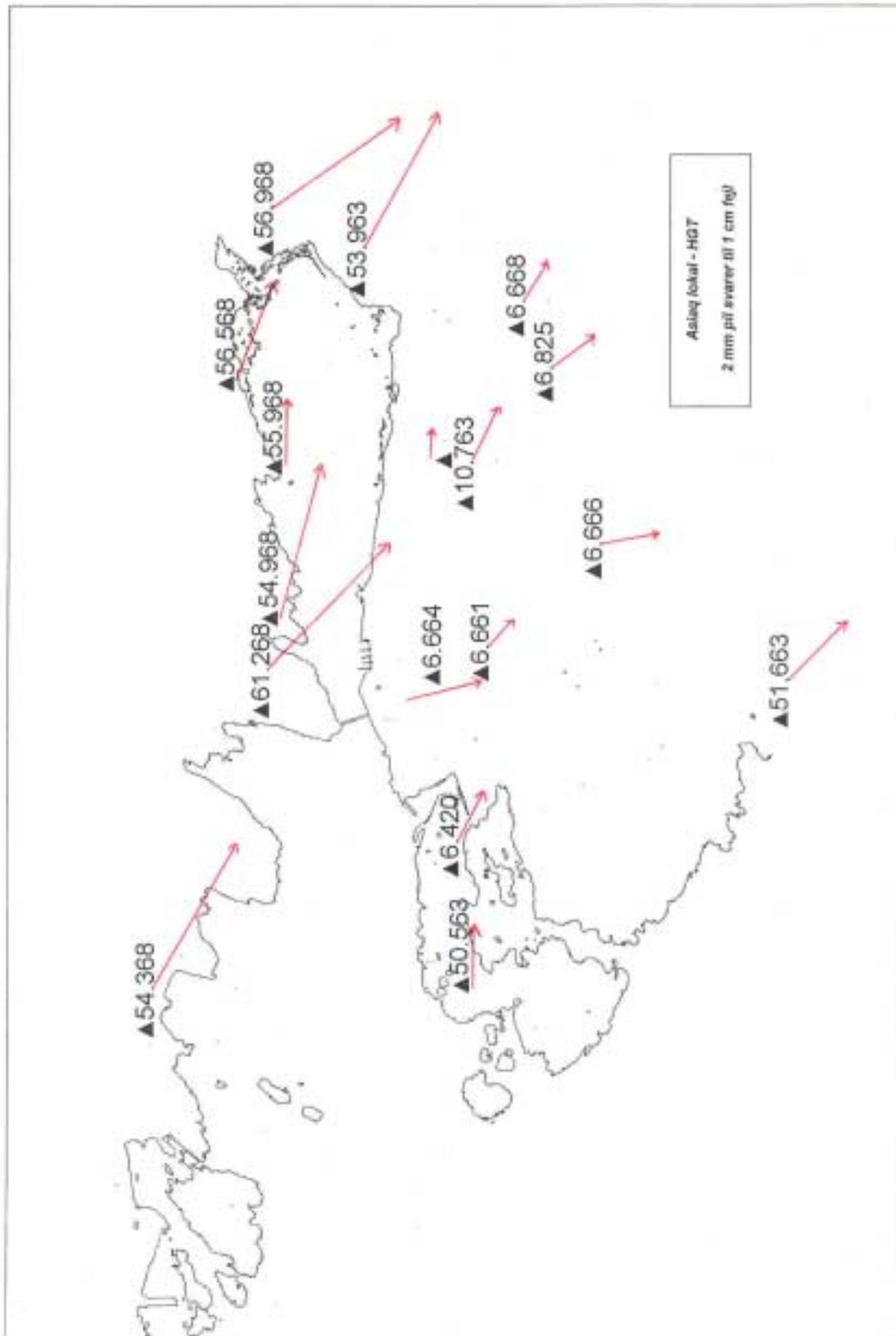
Bilag 8

Sammenligning af KMS og HGT



Bilag 9

Sammenligning af Asiaq lokal og HGT



Bilag 10

Ny plan Helmert-transformation for Sisimiut

Plan Helmert
transformation
Sisimiut

a1 b1
0,016001 1,000130

Målforhold	alfa gon	X0 meter	Y0 meter	spredning meter
1,000258	98,982	337770,312	-7328333,986	0,045

Pkt	N meter	E meter	X meter	Y meter	V _x meter	V _y	V _{plan}
6247	7426542,859	382177,406	74374,980	105289,640	0,005	0,057	0,057
6420	7427154,572	382716,141	73845,980	105910,000	0,022	0,004	0,022
6661	7427024,557	383568,558	72991,360	105793,640	0,010	0,036	0,038
6668	7426874,265	385068,749	71488,540	105667,340	-0,019	0,043	0,047
6825	7426750,140	384783,594	71771,760	105538,620	-0,005	0,027	0,028
50368	7425555,026	383951,409	72585,020	104330,030	0,085	0,022	0,088
51168	7426643,319	385722,013	70831,470	105446,720	-0,045	-0,054	0,070
51463	7426116,884	382884,169	73661,360	104874,910	0,056	0,048	0,074
51663	7425728,414	383366,452	73172,820	104494,110	0,077	0,052	0,093
52868	7428697,716	382951,955	73634,800	107457,080	-0,005	-0,034	0,035
53963	7427561,843	385240,861	71327,360	106357,750	-0,067	0,032	0,074
53968	7428213,404	380876,926	75702,360	106939,430	0,005	-0,107	0,107
54068	7428777,192	380881,931	75706,370	107503,410	0,000	-0,068	0,068
54568	7428780,737	381779,335	74808,920	107521,320	0,014	-0,063	0,064
54768	7428741,988	384099,567	72487,710	107519,760	-0,042	0,005	0,043
56368	7428714,604	385064,847	71521,900	107507,840	-0,009	0,027	0,029
61068	7427148,782	386070,946	70490,580	105957,850	-0,044	-0,036	0,057
61768	7428096,624	385842,558	70734,200	106902,180	-0,008	-0,016	0,018
54968	7427935,686	383805,082	72769,310	106708,670	-0,064	0,034	0,073
6666	7426537,644	384013,663	72538,430	105313,740	0,034	-0,010	0,035

Transformation mellem det lokale koordinatsystem i Sisimiut (X,Y) og
WGS84, UTM zone 22 N (N,E)

Bilag 11

Processing report for indmålingen af JHS3

Baseline Processing Report *Indmåling af JHS3*

User name	Administrator	Date & Time	14:48:54 02-02-2003
Coordinate System	UTM	Zone	22 North
Project Datum	WGS 1984		
Vertical Datum		Geoid Model	Not selected
Coordinate Units	Meters		
Distance Units	Meters		
Height Units	Meters		

Processing Summary

ID	From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS
B1	JHS1	JHS3	333,267m	L1 fixed	89,406	1,950	0,006

Baseline Summary B1 (JHS1 to JHS3)

Processed: torsdag, dec 05, 2002 01:03:50

Solution type: L1 fixed

Solution acceptability: Solution acceptable

Ephemeris used: Precise

Met Data: Standard

Baseline slope distance: 333,267m

Elevation mask: 13 degrees

Variance ratio: 89,406

Reference variance: 1,950

RMS: 0,006

Horizontal Precision: 0,000

Vertical Precision: 0,002

Start time (GPS Time): 02/09/15,
22:15:30.000 1184, 80130,000

Stop time (GPS Time): 02/09/16,
06:06:15.000 1184, 108375,000

Occupation time: 07:50:45.000

Bilag 11

Processing report for indmåling af JHS3

Baseline Components (Mark to Mark)

From: JHS1

Grid		Local		WGS 84	
Northing	7426853,413m	Latitude	66°56'13,02608"N	Latitude	66°56'13,02608"N
Easting	383320,103m	Longitude	53°40'11,11523"W	Longitude	53°40'11,11523"W
Elevation	85,353m	Height	85,353m	Height	85,353m

To: JHS3

Grid		Local		WGS 84	
Northing	7426558,967m	Latitude	66°56'03,31491"N	Latitude	66°56'03,31491"N
Easting	383166,506m	Longitude	53°40'22,70987"W	Longitude	53°40'22,70987"W
Elevation	112,218m	Height	112,218m	Height	112,218m

Baseline:

Δ Northing	-294,446m	NS Fwd Azimuth	205°05'31"	Δ X	56,727m
Δ Easting	-153,597m	Ell. Distance	332,178m	Δ Y	-314,919m
Δ Elevation	26,865m	Δ Height	26,865m	Δ Z	-93,141m

Standard Errors

Baseline Errors:

σ Δ Northing	0,000m	σ NS Fwd Azimuth	0,087 seconds	σ Δ X	0,000m
σ Δ Easting	0,000m	σ Ell.Distance	0,000m	σ Δ Y	0,000m
σ Δ Elevation	0,001m	σ Δ Height	0,001m	σ Δ Z	0,001m

Bilag 11

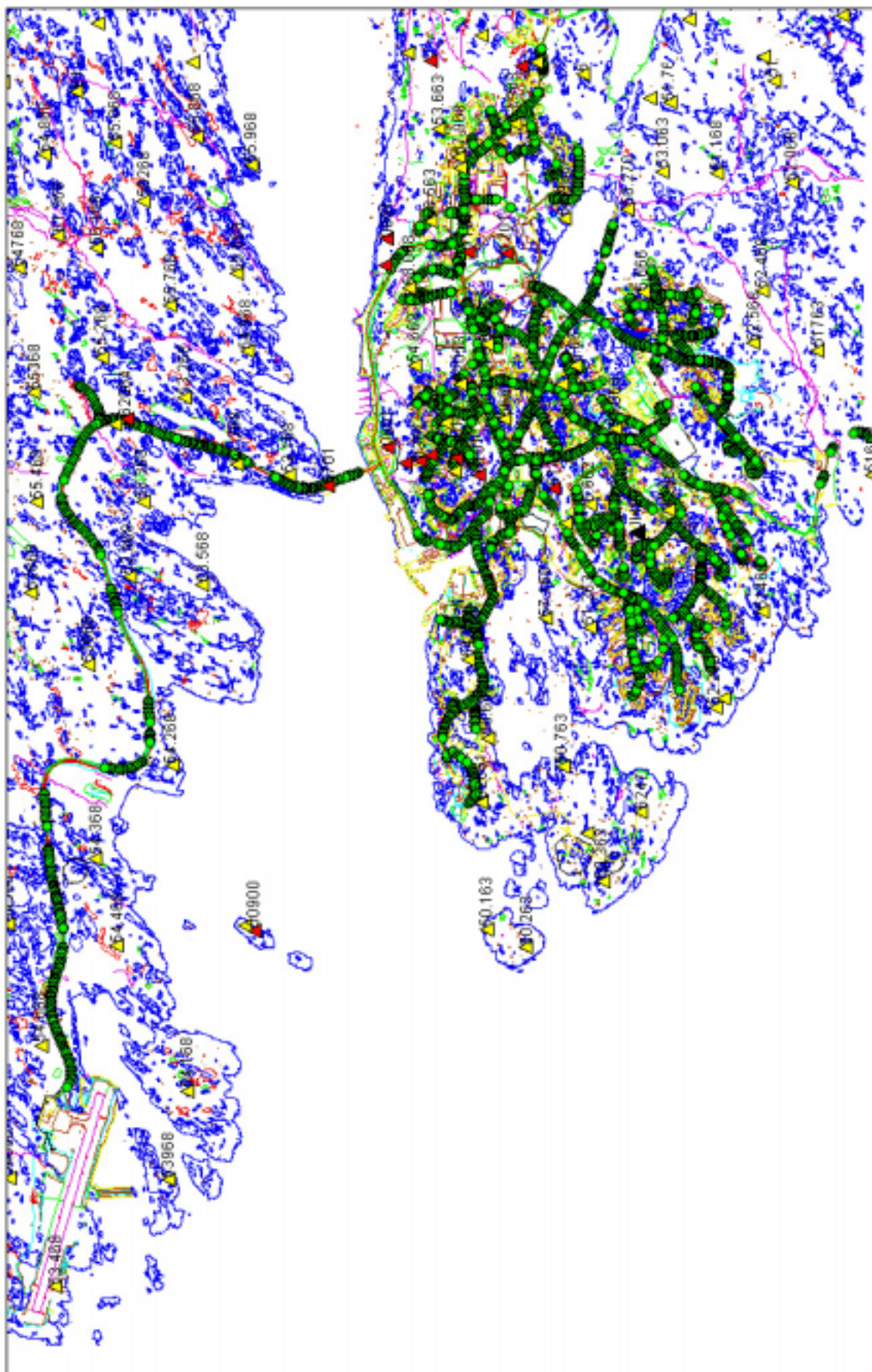
Processing report for indmålingen af JHS3

Occupations

	From	To
Point Name:	JHS1	JHS3
Data file:	99842580.DAT	bas-2002091516.rnx
Receiver Type:	5700	4700
Receiver Serial Number:	20242141	20194401
Antenna type:	Zephyr	Micro-centered L1/L2 w/Ground Plane
Measured To:	Bottom of antenna mount	Bottom of antenna mount
Antenna height	Measured	
	0,000m	0,000m
	APC	
	0,046m	0,063m
Antenna Model:	NGS	NGS

Bilag 12

RTK-dækning, hele byen



Bilag 13

RTK-dækning, udsnit af byen



Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
6420a	7427154,570	382716,140	61,889
6420b	7427154,572	382716,142	61,879
6420c	7427154,571	382716,144	61,874
6420d	7427154,570	382716,142	61,863
6420e	7427154,570	382716,142	61,876
6420f	7427154,575	382716,143	61,883
6420g	7427154,570	382716,131	61,880
6420h	7427154,573	382716,136	61,893
6420i	7427154,576	382716,136	61,887
6420j	7427154,571	382716,139	61,886
6420	7427154,572	382716,140	61,881
Spredning	0,002	0,004	0,009
Min. afvigelse	-0,002	-0,008	-0,018
Max. afvigelse	0,004	0,004	0,012
50563a	7427108,254	382211,072	61,720
50563b	7427108,263	382211,071	61,749
50563c	7427108,264	382211,077	61,747
50563d	7427108,264	382211,077	61,751
50563e	7427108,263	382211,070	61,751
50563f	7427108,263	382211,070	61,744
50563g	7427108,264	382211,072	61,759
50563h	7427108,264	382211,069	61,754
50563i	7427108,262	382211,066	61,754
50563j	7427108,256	382211,064	61,756
50563	7427108,262	382211,071	61,749
Spredning	0,004	0,004	0,011
Min. afvigelse	-0,008	-0,007	-0,029
Max. afvigelse	0,002	0,006	0,011
61498/JHS2a	7427108,153	382216,151	62,039
61498/JHS2b	7427108,154	382216,148	62,031
61498/JHS2c	7427108,155	382216,149	62,039
61498/JHS2d	7427108,158	382216,154	62,032
61498/JHS2e	7427108,155	382216,151	62,040
61498/JHS2f	7427108,155	382216,150	62,032
61498/JHS2g	7427108,156	382216,154	62,026
61498/JHS2h	7427108,157	382216,153	62,019
61498/JHS2i	7427108,158	382216,157	62,032
61498/JHS2j	7427108,157	382216,148	62,033
61498	7427108,156	382216,152	62,032
Spredning	0,002	0,003	0,006
Min. afvigelse	-0,003	-0,004	-0,013
Max. afvigelse	0,002	0,005	0,008

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
54368a	7428472,488	382012,412	51,881
54368b	7428472,493	382012,410	51,877
54368c	7428472,485	382012,416	51,832
54368d	7428472,489	382012,417	51,835
54368e	7428472,491	382012,423	51,839
54368f	7428472,495	382012,413	51,866
54368g	7428472,477	382012,413	51,857
54368h	7428472,467	382012,421	51,825
54368i	7428472,483	382012,414	51,857
54368j	7428472,466	382012,415	51,825
54368	7428472,483	382012,415	51,849
Spredning	0,010	0,004	0,021
Min. afvigelse	-0,017	-0,005	-0,024
Max. afvigelse	0,012	0,008	0,032
54268a	7428198,609	382342,368	45,787
54268b	7428198,619	382342,377	45,799
54268c	7428198,618	382342,378	45,805
54268d	7428198,623	382342,381	45,807
54268e	7428198,619	382342,377	45,808
54268f	7428198,615	382342,370	45,819
54268g	7428198,614	382342,376	45,802
54268h	7428198,615	382342,373	45,799
54268i	7428198,625	382342,381	45,794
54268j	7428198,624	382342,387	45,803
54268	7428198,618	382342,377	45,802
Spredning	0,005	0,006	0,009
Min. afvigelse	-0,009	-0,009	-0,015
Max. afvigelse	0,007	0,010	0,017
62064a	7428359,614	383568,604	61,477
62064b	7428359,623	383568,593	61,490
62064c	7428359,618	383568,607	61,478
62064d	7428359,618	383568,608	61,492
62064e	7428359,609	383568,606	61,502
62064f	7428359,614	383568,601	61,479
62064g	7428359,615	383568,603	61,457
62064h	7428359,609	383568,604	61,437
62064i	7428359,610	383568,610	61,465
62064j	7428359,616	383568,604	61,471
62064	7428359,615	383568,604	61,475
Spredning	0,004	0,005	0,019
Min. afvigelse	-0,006	-0,011	-0,038
Max. afvigelse	0,008	0,006	0,027

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
61268a	7427971,988	383404,848	46,434
61268b	7427971,990	383404,855	46,430
61268c	7427971,989	383404,857	46,450
61268d	7427971,995	383404,860	46,436
61268e	7427971,996	383404,851	46,458
61268f	7427971,993	383404,862	46,442
61268g	7427971,993	383404,854	46,461
61268h	7427971,998	383404,857	46,464
61268i	7427971,996	383404,858	46,456
61268j	7427971,997	383404,857	46,470
61268	7427971,994	383404,856	46,450
Spredning	0,004	0,004	0,014
Min. afvigelse	-0,005	-0,008	-0,020
Max. afvigelse	0,004	0,006	0,020
0701a	7427648,249	383332,224	38,254
0701b	7427648,253	383332,223	38,256
0701c	7427648,247	383332,216	38,253
0701d	7427648,243	383332,218	38,264
0701e	7427648,245	383332,220	38,263
0701f	7427648,247	383332,224	38,259
0701g	7427648,249	383332,223	38,257
0701h	7427648,246	383332,215	38,246
0701i	7427648,252	383332,216	38,256
0701	7427648,248	383332,220	38,256
Spredning	0,003	0,004	0,005
Min. afvigelse	-0,005	-0,005	-0,010
Max. afvigelse	0,005	0,004	0,008
50270a	7426591,814	384308,543	72,994
50270b	7426591,814	384308,544	72,985
50270c	7426591,815	384308,542	73,000
50270d	7426591,818	384308,543	72,994
50270e	7426591,818	384308,540	72,994
50270f	7426591,818	384308,546	72,996
50270g	7426591,815	384308,546	73,001
50270h	7426591,820	384308,539	73,001
50270i	7426591,812	384308,547	73,006
50270	7426591,816	384308,543	72,997
Spredning	0,003	0,003	0,006
Min. afvigelse	-0,004	-0,004	-0,012
Max. afvigelse	0,004	0,004	0,009

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
6666a	7426537,636	384013,659	108,537
6666b	7426537,638	384013,659	108,546
6666c	7426537,639	384013,662	108,553
6666d	7426537,639	384013,661	108,557
6666e	7426537,637	384013,661	108,547
6666f	7426537,638	384013,659	108,552
6666g	7426537,632	384013,662	108,544
6666h	7426537,632	384013,660	108,541
6666i	7426537,628	384013,664	108,546
6666j	7426537,632	384013,663	108,550
6666	7426537,635	384013,661	108,547
Spredning	0,004	0,002	0,006
Min. afvigelse	-0,007	-0,002	-0,010
Max. afvigelse	0,004	0,003	0,010
6664a	7427234,883	383550,753	92,082
6664b	7427234,885	383550,748	92,096
6664c	7427234,885	383550,748	92,089
6664d	7427234,889	383550,750	92,094
6664e	7427234,889	383550,749	92,089
6664f	7427234,890	383550,752	92,098
6664g	7427234,890	383550,746	92,098
6664h	7427234,889	383550,745	92,100
6664i	7427234,893	383550,747	92,102
6664	7427234,896	383550,746	92,110
6664	7427234,889	383550,748	92,096
Spredning	0,004	0,003	0,008
Min. afvigelse	-0,006	-0,003	-0,014
Max. afvigelse	0,007	0,005	0,014
6661a	7427024,582	383568,577	89,594
6661b	7427024,580	383568,575	89,606
6661c	7427024,578	383568,578	89,594
6661d	7427024,584	383568,576	89,605
6661e	7427024,584	383568,576	89,602
6661f	7427024,586	383568,580	89,590
6661g	7427024,584	383568,586	89,566
6661h	7427024,578	383568,587	89,564
6661i	7427024,579	383568,581	89,593
6661j	7427024,578	383568,576	89,585
6661	7427024,581	383568,579	89,590
Spredning	0,003	0,004	0,015
Min. afvigelse	-0,003	-0,004	-0,026
Max. afvigelse	0,005	0,008	0,016

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
1201a	7427017,440	384153,302	82,800
1201b	7427017,442	384153,298	82,833
1201c	7427017,441	384153,306	82,779
1201d	7427017,436	384153,303	82,819
1201e	7427017,439	384153,305	82,818
1201f	7427017,436	384153,302	82,814
1201g	7427017,434	384153,308	82,778
1201h	7427017,437	384153,301	82,804
1201i	7427017,432	384153,304	82,780
1201j	7427017,441	384153,303	82,793
1201	7427017,438	384153,303	82,802
Spredning	0,003	0,003	0,019
Min. afvigelse	-0,006	-0,005	-0,024
Max. afvigelse	0,004	0,005	0,031
10763a	7427093,549	384310,443	76,126
10763b	7427093,547	384310,441	76,143
10763c	7427093,560	384310,439	76,143
10763d	7427093,552	384310,445	76,145
10763e	7427093,553	384310,444	76,125
10763f	7427093,554	384310,439	76,111
10763g	7427093,558	384310,449	76,192
10763h	7427093,559	384310,445	76,158
10763i	7427093,560	384310,447	76,197
10763j	7427093,560	384310,443	76,190
10763	7427093,555	384310,444	76,153
Spredning	0,005	0,003	0,031
Min. afvigelse	-0,008	-0,005	-0,042
Max. afvigelse	0,005	0,005	0,044
57968a	7427186,249	384494,088	79,950
57968b	7427186,248	384494,088	79,942
57968c	7427186,263	384494,087	79,989
57968d	7427186,263	384494,084	79,977
57968e	7427186,251	384494,088	79,940
57968f	7427186,257	384494,088	79,954
57968g	7427186,257	384494,088	79,942
57968h	7427186,265	384494,088	79,970
57968i	7427186,268	384494,084	79,978
57968j	7427186,272	384494,083	79,988
57968	7427186,259	384494,087	79,963
Spredning	0,008	0,002	0,020
Min. afvigelse	-0,011	-0,004	-0,023
Max. afvigelse	0,013	0,001	0,026

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
56163a	7426835,776	384909,609	116,348
56163b	7426835,773	384909,610	116,359
56163c	7426835,773	384909,598	116,371
56163d	7426835,768	384909,595	116,369
56163e	7426835,770	384909,597	116,368
56163f	7426835,772	384909,599	116,355
56163g	7426835,759	384909,599	116,341
56163h	7426835,782	384909,614	116,383
56163i	7426835,765	384909,606	116,354
56163j	7426835,766	384909,610	116,353
56163	7426835,770	384909,604	116,360
Spredning	0,006	0,007	0,013
Min. afvigelse	-0,011	-0,009	-0,019
Max. afvigelse	0,012	0,010	0,023
6825a	7426750,136	384783,596	136,127
6825b	7426750,144	384783,599	136,140
6825c	7426750,145	384783,603	136,150
6825d	7426750,143	384783,600	136,136
6825e	7426750,147	384783,599	136,140
6825f	7426750,146	384783,605	136,156
6825g	7426750,146	384783,603	136,147
6825h	7426750,146	384783,600	136,149
6825i	7426750,145	384783,600	136,137
6825j	7426750,149	384783,600	136,149
6825	7426750,145	384783,601	136,143
Spredning	0,003	0,003	0,009
Min. afvigelse	-0,009	-0,005	-0,016
Max. afvigelse	0,004	0,004	0,013
6668a	7426874,268	385068,748	110,216
6668b	7426874,262	385068,754	110,205
6668c	7426874,264	385068,753	110,223
6668d	7426874,270	385068,754	110,226
6668e	7426874,265	385068,758	110,218
6668f	7426874,270	385068,756	110,228
6668g	7426874,274	385068,755	110,237
6668h	7426874,273	385068,758	110,247
6668i	7426874,270	385068,755	110,236
6668j	7426874,274	385068,756	110,229
6668	7426874,269	385068,755	110,227
Spredning	0,004	0,003	0,012
Min. afvigelse	-0,007	-0,007	-0,021
Max. afvigelse	0,005	0,003	0,021

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
51663a	7425728,412	383366,440	106,250
51663b	7425728,404	383366,441	106,256
51663c	7425728,411	383366,433	106,253
51663d	7425728,413	383366,431	106,258
51663e	7425728,406	383366,438	106,246
51663f	7425728,413	383366,432	106,257
51663g	7425728,410	383366,440	106,260
51663h	7425728,409	383366,441	106,256
51663i	7425728,413	383366,438	106,266
51663j	7425728,408	383366,442	106,263
51663	7425728,410	383366,438	106,257
Spredning	0,003	0,004	0,006
Min. afvigelse	-0,006	-0,007	-0,010
Max. afvigelse	0,003	0,004	0,010
53963a	7427561,846	385240,843	37,933
53963b	7427561,850	385240,836	37,912
53963c	7427561,844	385240,851	37,908
53963d	7427561,845	385240,853	37,914
53963e	7427561,851	385240,834	37,886
53963f	7427561,852	385240,847	37,914
53963g	7427561,854	385240,839	37,919
53963h	7427561,849	385240,850	37,953
53963i	7427561,852	385240,839	37,933
53963j	7427561,859	385240,849	37,925
53963	7427561,850	385240,844	37,920
Spredning	0,005	0,007	0,018
Min. afvigelse	-0,006	-0,010	-0,034
Max. afvigelse	0,009	0,009	0,033
56968a	7427959,890	385417,391	30,807
56968b	7427959,891	385417,397	30,805
56968c	7427959,889	385417,395	30,803
56968d	7427959,892	385417,395	30,795
56968e	7427959,880	385417,401	30,800
56968f	7427959,878	385417,399	30,813
56968g	7427959,889	385417,396	30,797
56968h	7427959,889	385417,400	30,802
56968i	7427959,883	385417,403	30,807
56968j	7427959,881	385417,407	30,820
56968	7427959,886	385417,398	30,805
Spredning	0,005	0,005	0,007
Min. afvigelse	-0,008	-0,007	-0,010
Max. afvigelse	0,006	0,009	0,015

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
56568a	7428127,513	384826,360	62,498
56568b	7428127,514	384826,362	62,515
56568c	7428127,510	384826,351	62,528
56568d	7428127,512	384826,360	62,506
56568e	7428127,502	384826,363	62,497
56568f	7428127,502	384826,360	62,499
56568g	7428127,515	384826,351	62,511
56568h	7428127,501	384826,357	62,492
56568i	7428127,514	384826,350	62,525
56568j	7428127,506	384826,356	62,509
56568	7428127,509	384826,357	62,508
Spredning	0,006	0,005	0,012
Min. afvigelse	-0,008	-0,007	-0,016
Max. afvigelse	0,006	0,006	0,020
55968a	7427920,156	384465,650	32,983
55968b	7427920,149	384465,652	32,968
55968c	7427920,150	384465,651	32,975
55968d	7427920,158	384465,640	33,002
55968e	7427920,155	384465,643	33,002
55968f	7427920,164	384465,639	33,021
55968g	7427920,161	384465,639	33,014
55968h	7427920,163	384465,643	33,026
55968i	7427920,167	384465,642	33,030
55968j	7427920,166	384465,641	33,051
55968	7427920,159	384465,644	33,007
Spredning	0,006	0,005	0,026
Min. afvigelse	-0,010	-0,005	-0,039
Max. afvigelse	0,008	0,008	0,044
54968a	7427935,682	383805,102	57,449
54968b	7427935,679	383805,094	57,434
54968c	7427935,678	383805,082	57,467
54968d	7427935,677	383805,080	57,456
54968e	7427935,677	383805,089	57,447
54968f	7427935,681	383805,089	57,450
54968g	7427935,675	383805,085	57,437
54968h	7427935,674	383805,084	57,421
54968i	7427935,670	383805,074	57,430
54968j	7427935,671	383805,088	57,407
54968	7427935,676	383805,087	57,440
Spredning	0,004	0,008	0,018
Min. afvigelse	-0,006	-0,013	-0,033
Max. afvigelse	0,006	0,015	0,027

Bilag 14

Samtlige enkelt-observationer fra RTK-testen

Punkt	N	E	Ellipsoide H
52280a	7426281,350	382547,922	53,729
52280b	7426281,352	382547,921	53,727
52280c	7426281,352	382547,919	53,722
52280d	7426281,346	382547,923	53,726
52280e	7426281,353	382547,920	53,731
52280f	7426281,352	382547,920	53,724
52280g	7426281,354	382547,921	53,719
52280h	7426281,352	382547,919	53,719
52280i	7426281,351	382547,916	53,724
52280j	7426281,347	382547,915	53,713
52280	7426281,351	382547,920	53,723
Spredning	0,003	0,003	0,005
Min. afvigelse	-0,005	-0,005	-0,010
Max. afvigelse	0,003	0,003	0,008

Bilag 15

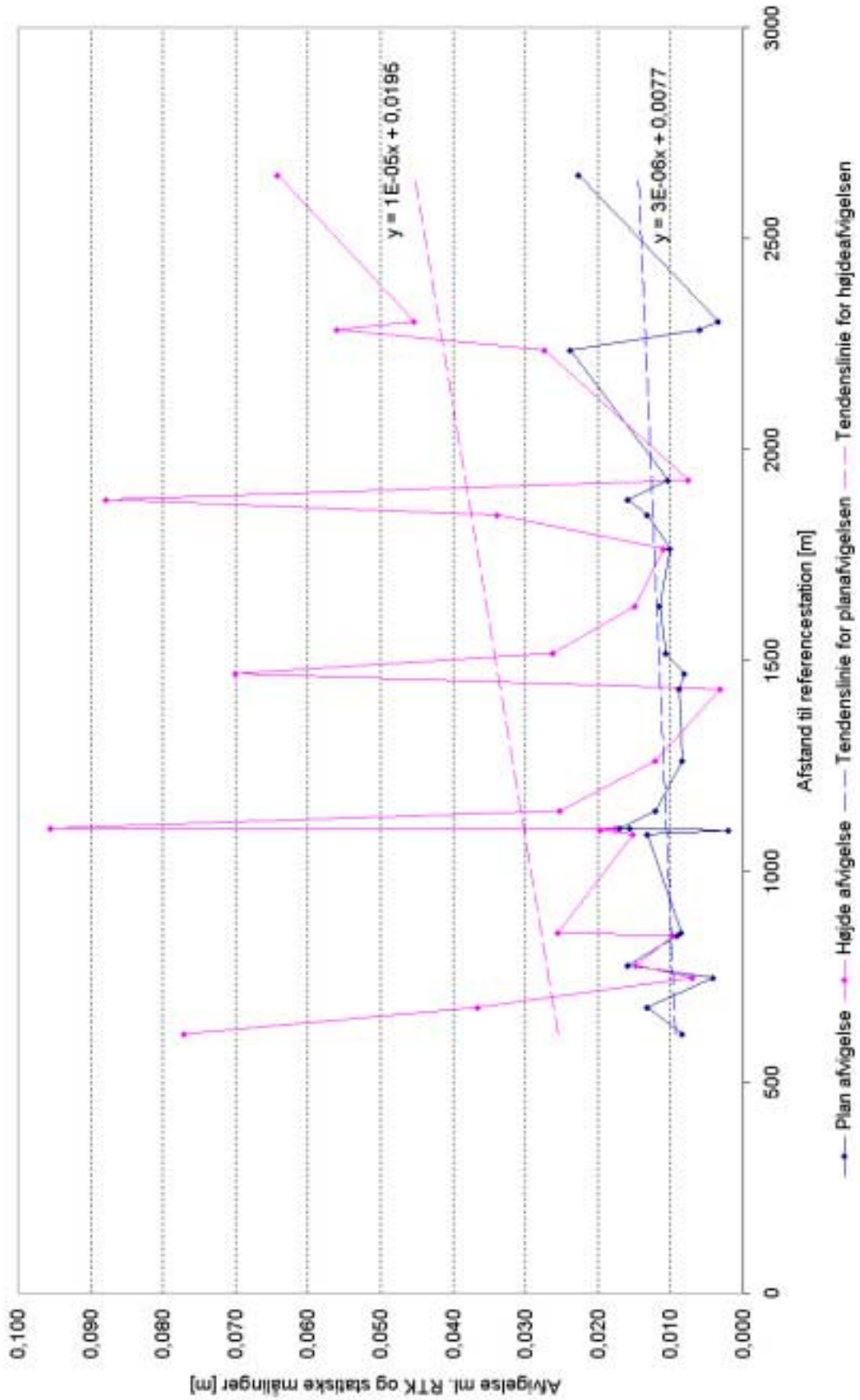
Sammenligning af RTK og statiske målinger

Punkt	N [m]	E [m]	Plan [m]	Ellipsoide H [m]
6661	-0,007	-0,004	0,008	0,077
52280	-0,004	-0,013	0,013	0,037
6420	0,002	0,003	0,004	-0,007
6664	-0,011	0,012	0,016	-0,015
6666	0,009	0,002	0,009	0,010
51663	-0,001	0,008	0,008	0,026
1201	0,003	0,013	0,013	0,015
61498	0,001	0,001	0,002	0,020
0701	0,011	-0,011	0,016	0,018
50563	-0,017	0,003	0,017	0,096
50270	0,010	0,007	0,012	0,025
10763	-0,008	-0,002	0,008	0,012
61268	0,009	0,002	0,009	-0,003
57968	0,005	-0,007	0,008	0,070
54968	0,010	-0,005	0,011	0,026
6825	-0,005	-0,011	0,012	0,015
56163	-0,006	-0,008	0,010	0,011
62064	-0,013	-0,004	0,013	-0,034
55968	0,013	-0,009	0,016	0,088
6668	-0,007	-0,008	0,010	0,008
54368	-0,021	-0,010	0,024	-0,027
56568	-0,006	-0,001	0,006	0,056
53963	-0,003	-0,001	0,003	0,045
56968	0,010	-0,020	0,023	0,064

Gennemsnit	-0,001	-0,003	0,011	0,026
Standard afvigelse	0,009	0,008	0,005	0,035
Min. afvigelse	-0,021	-0,020	0,002	-0,034
Max. afvigelse	0,013	0,013	0,024	0,096

Bilag 16

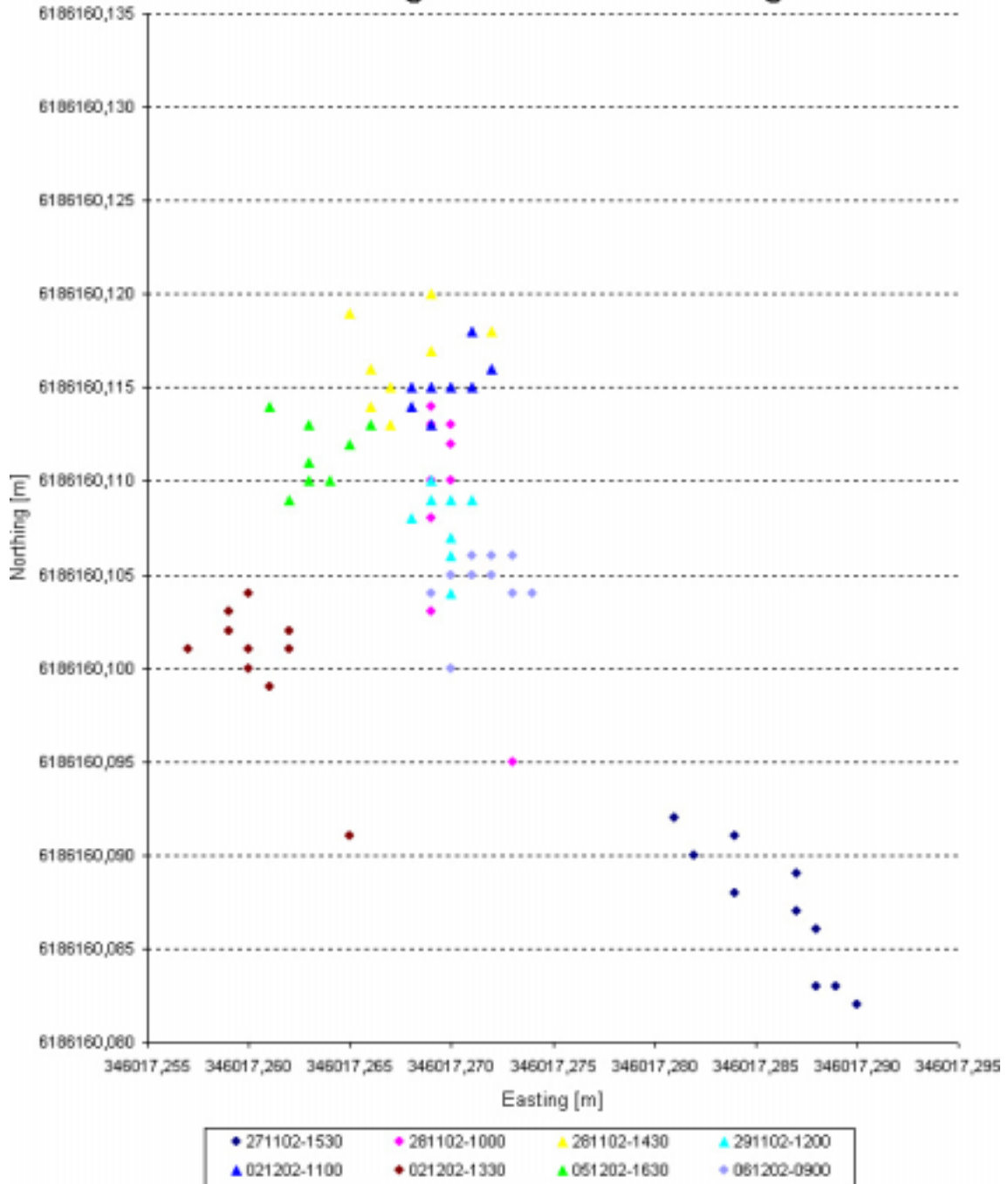
RTK-nøjagtighedens afstandsafhængighed



Bilag 17

RTK-forsøg uden re-initialisering, plan

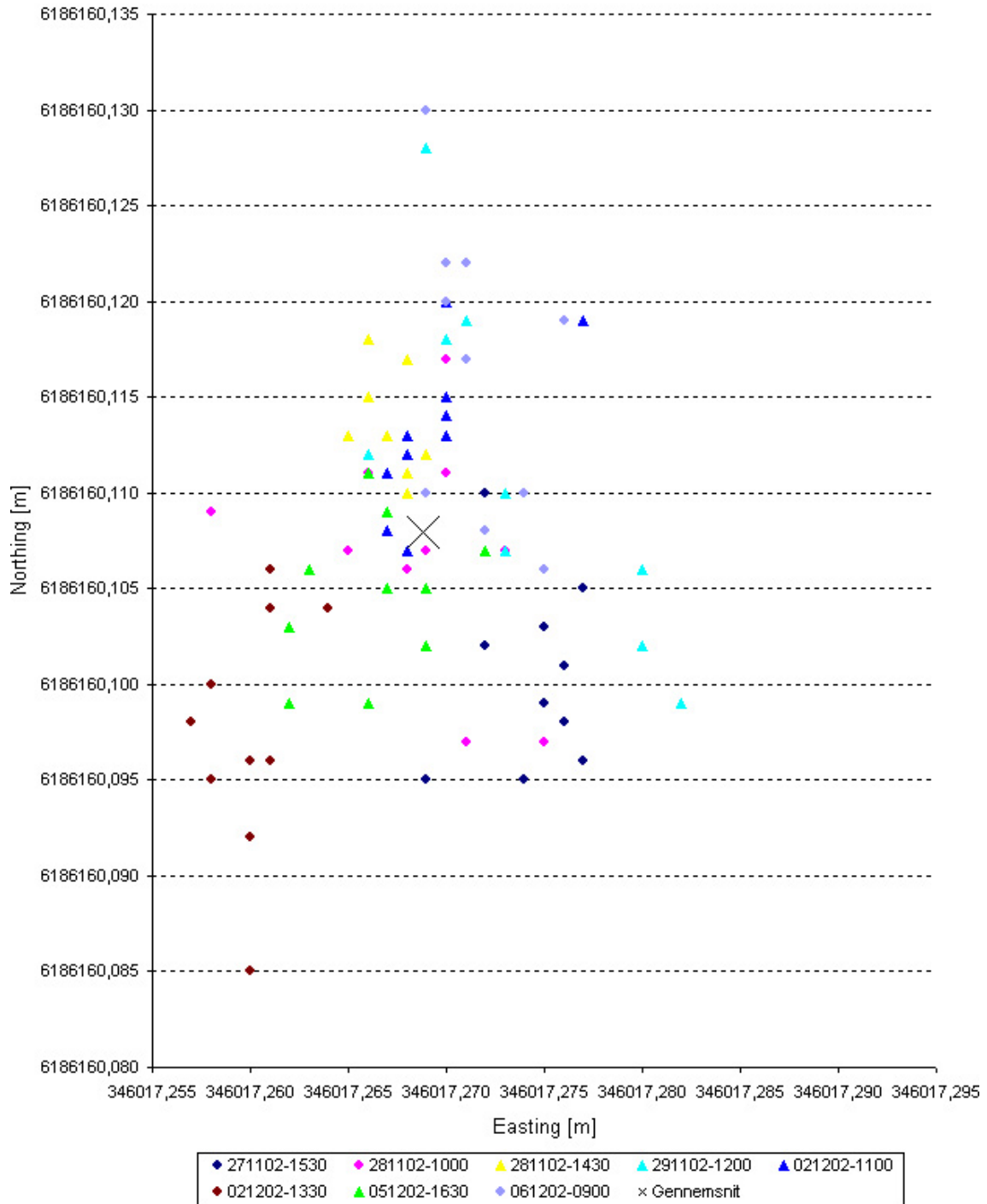
Serier af RTK-målinger uden ny initialisering mellem de enkelte målinger



Bilag 18

RTK-forsøg med re-initialisering, plan

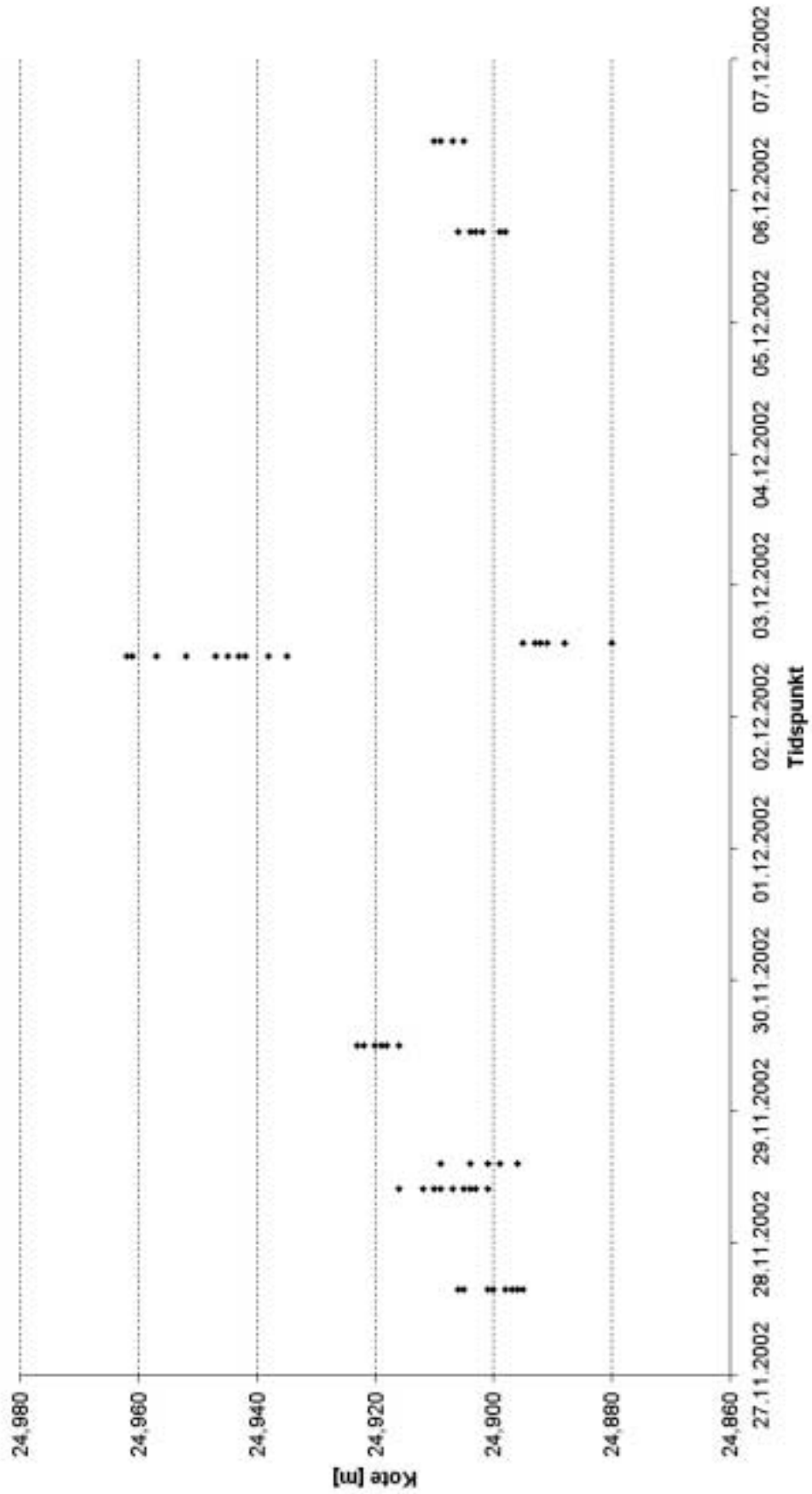
Serier af RTK-målinger med ny initialisering mellem de enkelte målinger



Bilag 19

RTK-forsøg uden re-initialisering, plan

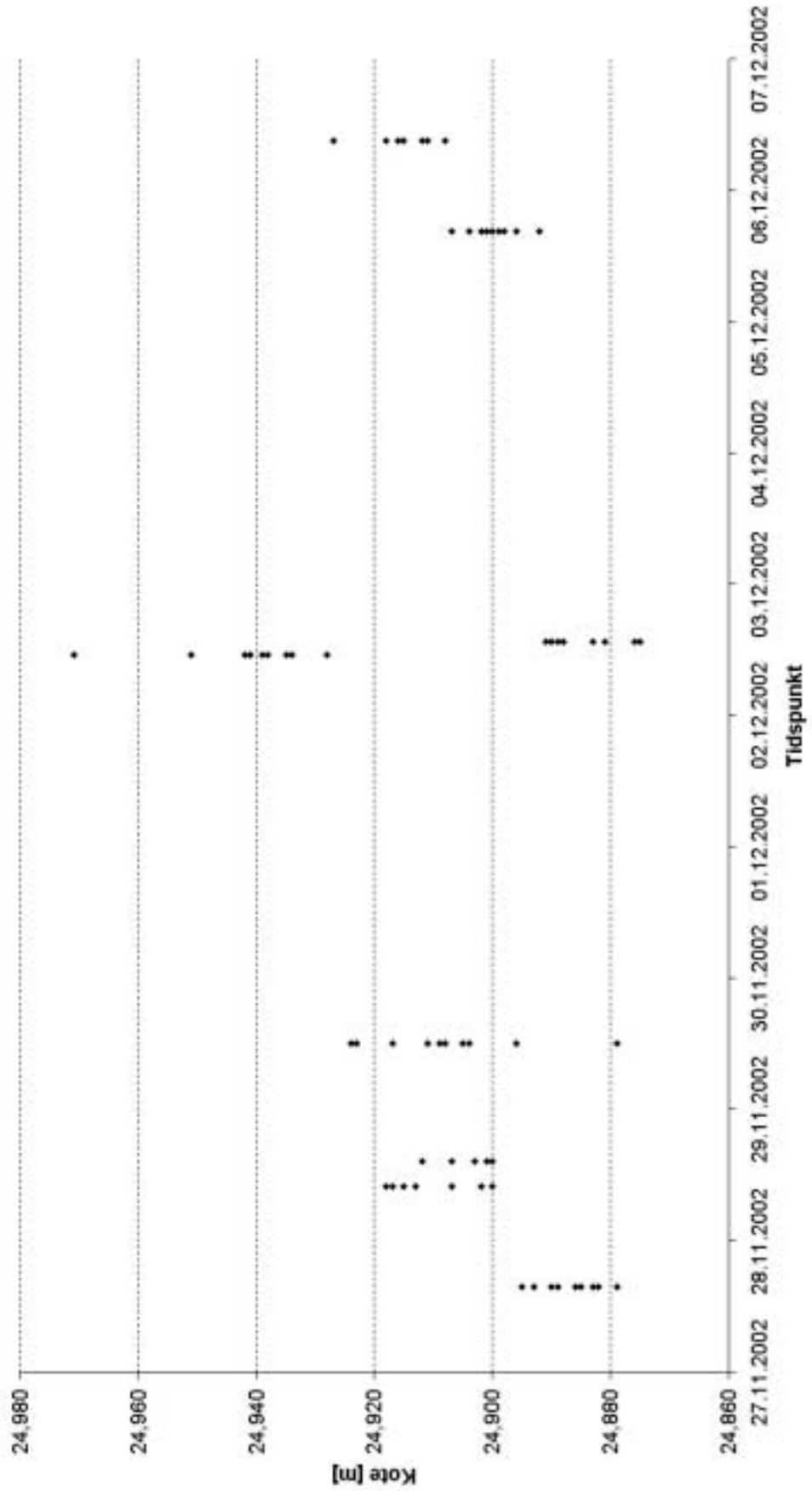
Serier af RTK-målinger
uden re-initialisering mellem målingerne



Bilag 20

RTK-forsøg med re-initialisering, kote

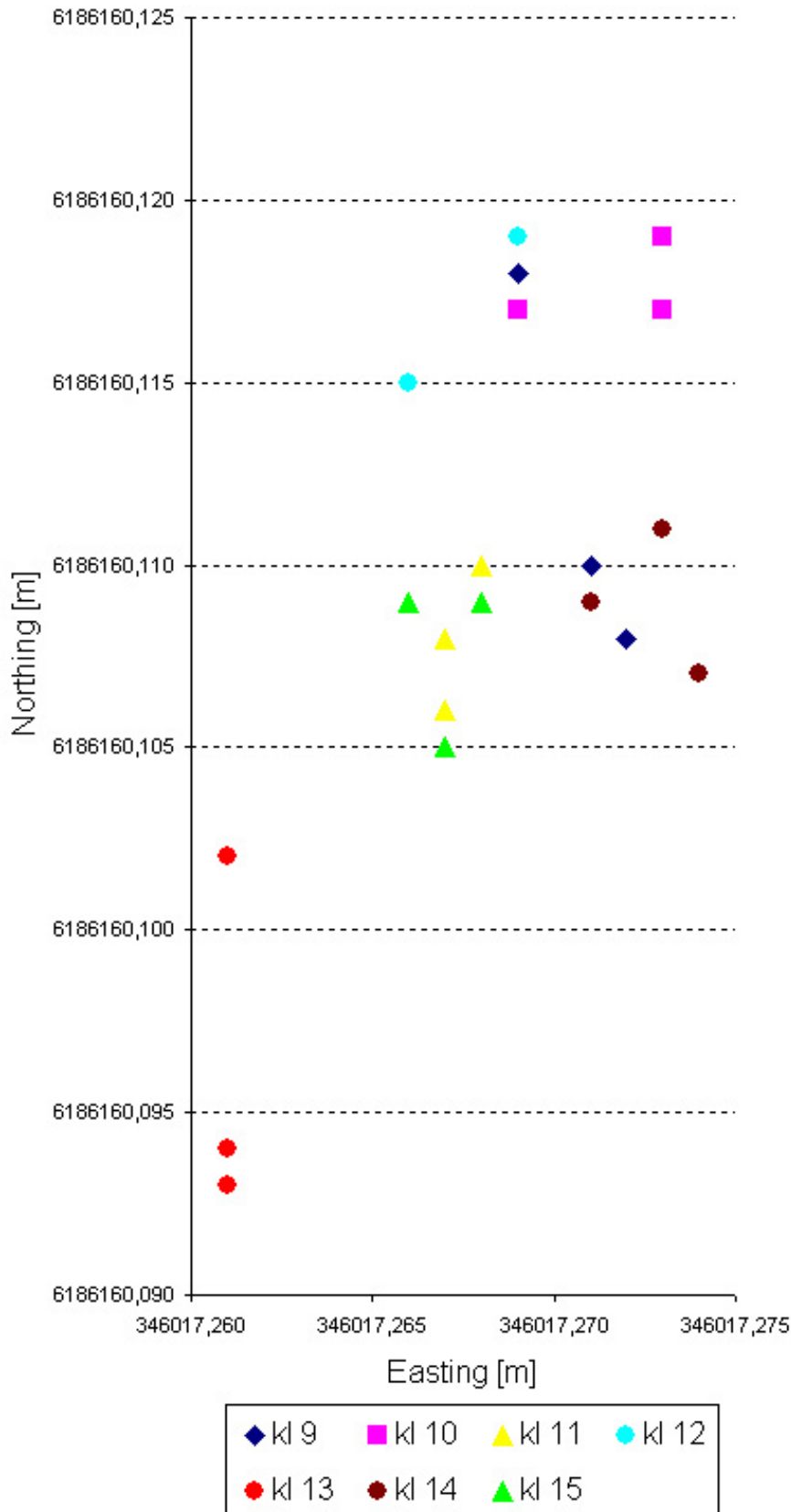
Serier af RTK-målinger
med re-initialisering mellem målingerne



Bilag 21

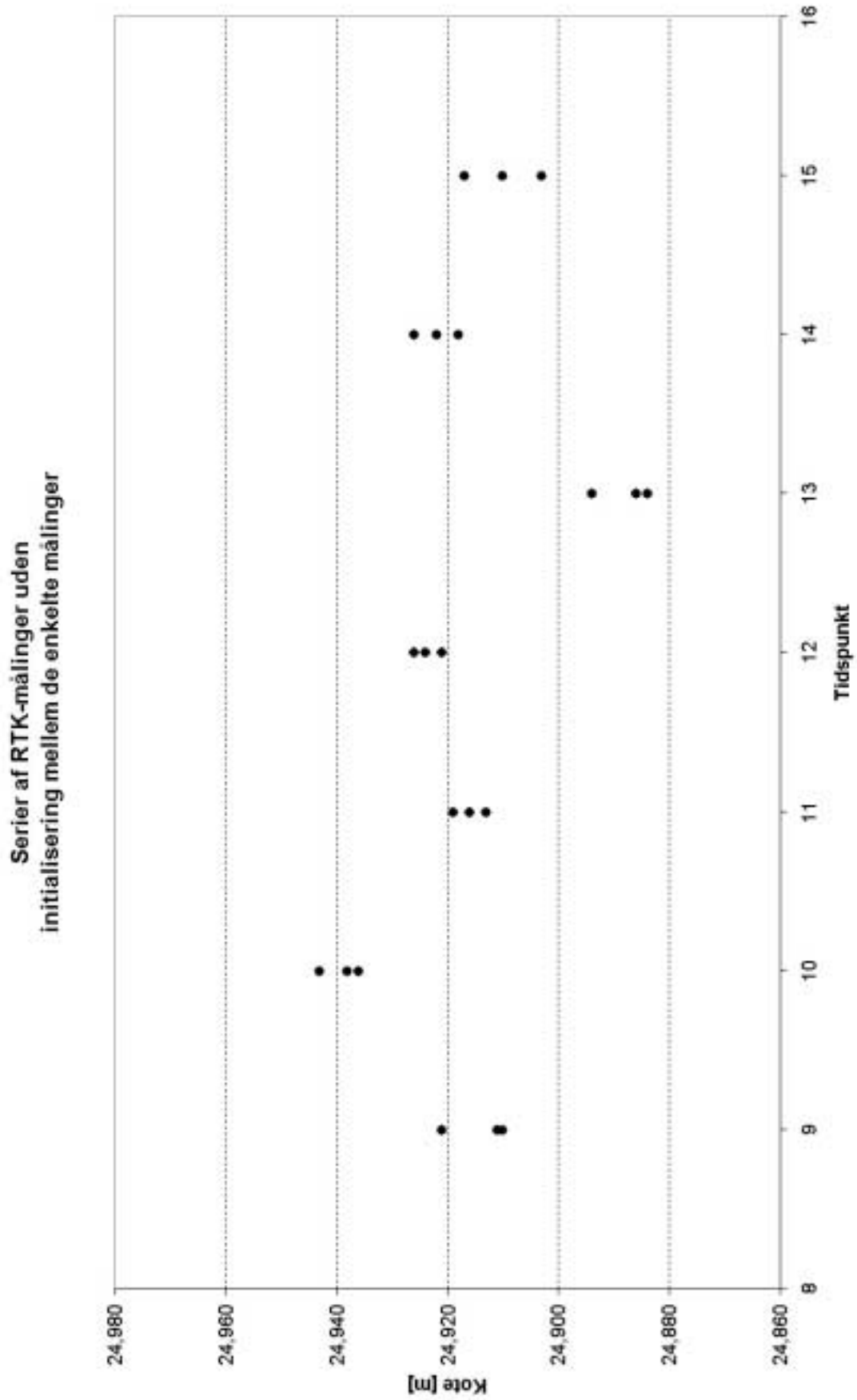
Dagsforsøg med RTK, plan

Serier af RTK-målinger uden initialisering mellem de enkelte målinger



Bilag 22

Dagsforsøg med RTK, kote



Bilag 23

Vejledning til NetOp Remote Control

NetOp Remote Acces

NetOp Remote Acces er et program, der kan bruges til at kommunikere mellem forskellige computere på tværs af platforme og netværkstyper. Det er der mange forskellige programmer, der kan, men som regel løber man ind i det problem, at programmerne kun understøtter LAN-forbindelser. *NetOp* understøtter også en direkte forbindelse via telefonnettet og analoge modemer. Da målet er at kunne kommunikere med den pc, der står bag referencestationen i Sisimiut, kaldet JHS3, er den eneste kommunikationsmulighed netop telefonnettet.

NetOp Remote Acces består af to dele:

- En *Host*, der installeres på den pc, man ønsker at komme i kontakt med.
- En *Guest*, der installeres på en pc, man har fysisk adgang til. Det er herfra der skabes adgang til *Host*'en.

På pc'en, der kører referencestationen, er der installeret et *NetOp Host modul* (version 7.50). Selve pc'en er af ældre dato og kører derfor lidt langsomt. Men der er installeret Windows NT 4.0, og det kører ganske stabilt.

Til pc'en er der koblet et eksternt *Lucent Venus Modem*, og al kommunikation foregår, som nævnt ovenfor, via telefonnettet.

Princippet

Idéen med et *Remote Acces* program er, at man kan komme i forbindelse med en computer, uden at være i fysisk nærhed af den. Man kan betjene computeren, præcis som hvis man sad foran den. Når der er skabt forbindelse fra *Guest* til *Host*, åbner *Guest'en* et skærmbillede, der svarer til det skærmbillede, der er på *Host'en*. Herefter kan man åbne, bruge og lukke programmer på *Host'en* og alt det man ellers ville kunne, hvis man fysisk sad foran den. Det er også muligt at overføre data mellem *Guest* og *Host* (og omvendt).

I det følgende er det beskrevet, hvordan man kan komme i forbindelse med referencestationen i Sisimiut, og hvordan man kan betjene den. Programmet *NetOp* kan meget mere, end det beskrives her, men denne korte vejledning skal ikke ses som en komplet brugervejledning til programmet. Målet er udelukkende at sætte andre i stand til at bruge referencestationen "udefra". For vejledning i installation og opsætning af programmet henvises til softwaredokumentationen [Danware, 2002].

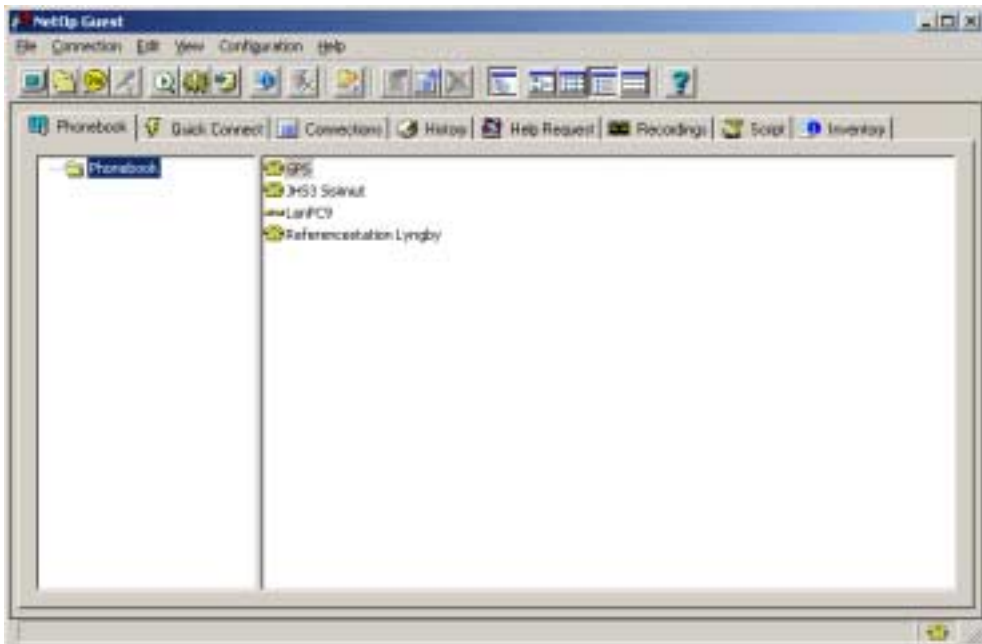
Etablering af forbindelse

For at komme i forbindelse med computeren i Sisimiut (*Host'en*) skal man have adgang til en computer med et *NetOp Guest modul* og et modem installeret.

Guest'en åbnes, og man ser noget, der svarer til følgende skærmbillede:

Bilag 23

Vejledning til NetOp Remote Control



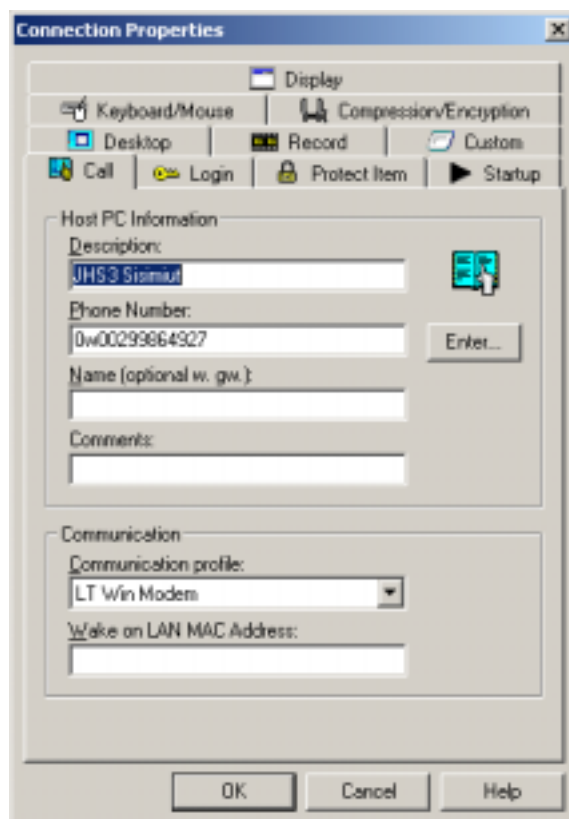
Under *Edit/New/Phonebook entry* kan man oprette en opkaldsprofil, der passer til computeren i Sisimiut.

I feltet "Description" angiver man et navn til den nye forbindelse. Det er det navn, der kommer til at stå i ovenstående "Phonebook".

I feltet "Phone Number" angives telefonnummeret til *Host'en*. I det viste eksempel skal man trykke "0" for at ringe ud af huset. Derefter kommer der en klartone, og man kan trykke det ønskede nummer. "w" betyder, at man venter på en klartone. Derefter trykkes det resterende nummer.

Under "Communication profile" vælges den forbindelsestype, der svarer til opsætningen på *Guest'en* og dennes modem.

Tryk derefter "OK". Du er nu klar til at ringe op til *Host'en*.



Bilag 23

Vejledning til NetOp Remote Control

Betjening

Dobbeltklik på den nydannede opkaldsprofil. Herefter foretager programmet selve opkaldet. Efter lidt tid svarer modemmet i *Host'en*, og kommunikationen mellem de to modemer begynder.

Når forbindelsen er etableret, bliver der spurgt om et password. Dette indtastes, og der vælges "OK".

Derefter bliver der åbnet et nyt vindue med navnet på opkaldsprofilen stående i øverste venstre hjørne. Dette vindue viser samme billede som skærmen ved computeren i Sisimiut. Når vinduet er aktivt, fungerer mus og tastatur, som om det var tilsluttet *Host'en*.

Man ser *Host'ens* desktop med startbjælken i bunden. Øverst i vinduet ses en række ikoner. Det er genveje til NetOp's indbyggede funktioner. Når markøren placeres over et ikon, forklares dets funktion.