

# **Undersøgelse af RTK Teknikker**

**Mads Bøgvad Knudsen**

Kongens Lyngby 2005

---

Danmarks Tekniske Universitet  
Informatik og Matematisk Modellering  
Bygning 321, DK-2800 Kongens Lyngby, Danmark  
Telefon+45 45253351, Fax +45 45882673  
[reception@imm.dtu.dk](mailto:reception@imm.dtu.dk)  
[www.imm.dtu.dk](http://www.imm.dtu.dk)

## **Resumé**

Formålet med dette projekt er at teste forskellige RTK teknikker. Tre forskellige RTK metoder er blevet udsat for forskellige analyser. Det drejer sig om enkeltstations RTK, netværks RTK med FKP metoden og til sidste netværks RTK med VRS metoden.

I kapitel 1 bliver den nødvendige teori angående positionsbestemmelse ved fasemålinger til satellitter gennemgået. Især bliver der lagt vægt på RTK observationer.

Kapitel 2 gennemgår hvordan og hvorfor de forskellige test er sat op. GPS-referencen og GPSNet bliver grundigt gennemgået.

Kapitel 3 forklarer kort hvad udstyr der er brugt i testen. Der er benyttet de nyeste GNSS modtagere fra Leica og Trimble.

Kapitel 4 indeholder alle de test der er foretaget i projektet. Alle underafsnittene bliver fulgt op af en delanalyse.

Kapitel 5 og 6 samler alle resultaterne i en samlet konklusion og giver et bud på emner der kunne være spændende at arbejde videre med.

Testen af de forskellige RTK teknikker har vist, at Leica's enkeltstations RTK, samt Trimble's netværksløsning klare sig næsten lige godt. Leica's FKP teknik, som er testet i en beta version, har haft mange problemer og dermed større spredninger end de to andre metoder.



**Abstract**

The purpose of this project has been to test various RTK techniques. Three different RTK methods have been put through different analysis. The project works with single station RTK, network RTK using FKP corrections and network RTK using the VRS method.

In chapter one the basic theory regarding geographical navigation using satellite derived phase measurements will be explained. Primary interest will be on RTK observations.

Chapter two goes through how and why the test has been designed as it has. The two reference networks, GPS-referencen and GSNet, will be explained.

The different receivers will be briefly presented in chapter three. The project has had access to the latest receivers from Leica and Trimble.

All the results from the test will be presented in chapter four. Every sub analysis will be followed by a sub conclusion.

The final conclusion will be revealed in chapter five and six together with a suggestion of future works as a spin off from this project.

The work with the different RTK techniques shows that the Leica single station RTK and Trimble VRS are almost similar in performance. The FKP method that Leica uses for a network solution shows that it is a beta version, with a considerably lager standard deviation than the others.



**Forord**

Denne rapport er udarbejdet som eksamensprojekt for civilingeniørstudiet ved Informatik og Matematisk Modellering, Danmarks Tekniske Universitet i perioden 1. februar til 21. november 2005, svarende til 50 ECT point.

En stor tak til min vejleder Anna B.O. Jensen for at have etableret kontakten til Leica Geosystems A/S tidsnok til at kunne nå at teste deres netværksløsning baseret på FKP korrektioner. Tak til Leica Geosystems A/S og Brian Hansen for at stille et komplet sæt RTK udstyr af nyeste model til rådighed for gennemførelsen af testen på GPS-referencen. Tak til Henrik Gosvig Thomsen fra Trimble Center Danmark for at udholde og tillige svare på mine utallige spørgsmål omkring GPSNet.

Der skal også lyde en stor tak til hele personalet tilknyttet IMM – Geoinformatik, alle som en.

Min familie og kæreste skal have tak for verdens bedste støtte, især op til afleveringsdatoen. Især min mor, Dorte Knudsen (1946-2005), som desværre ikke kunne være med hele vejen.

---

Mads Bøgvad Knudsen – s958381

21. december 2005





## Indholdsfortegnelse

1. Teori	1
1.1. Global Positioning System - GPS	1
1.1.1. Enkelt-differencer	3
1.1.2. Dobbelt-differencer	5
1.1.3. Forskelle i differentielle fase-opmålingsteknikker	6
1.2. Real Time Kinematisk GPS	6
1.2.1. Enkeltstations RTK	7
1.2.2. Netværks RTK	8
1.3. GNSS Netværkskorrektionsteknik	9
1.3.1. Flächen Korrektur Parameter – FKP	9
1.3.2. Virtuel Reference Station – VRS	13
1.4. Datalink - RTK	16
1.4.1. Radio	17
1.4.2. GSM modem	19
1.4.3. IP/Internet	20
1.4.4. Dataformat til RTK	21
2. Testopstilling	22
2.1. Definition af testparametre	22
2.2. GPS-referencen	23
2.2.1. GPS-referencens netværksdel	24
2.2.2. Opstilling af test procedurer for test af GPS-referencen	24
2.2.3. Valg af kontrolpunkter til test af GPS-referencen	26
2.2.4. Fejl i udvælgelsen af testpunkter	28
2.3. GPSNet	30
2.3.1. Opstilling af test procedurer for test af GPS-referencen	32
2.3.2. Bestemmelse af koordinater til VRS testpunkter	34
2.3.3. Problemer med KMS's permanente referencestation i Buddinge	36
3. Udstyr	39
3.1. Leica – GX1200	39
3.2. Trimble R8	41
4. Analyse af testresultater	43

4.1.	Datastruktur .....	43
4.1.1.	Statistiske beregningsdefinitioner .....	44
4.2.	Nøjagtighed som funktion af afstand til nærmeste base.....	46
4.2.1.	Delkonklusion.....	50
4.3.	Nøjagtighed som funktion af antal epoker i løsning .....	51
4.3.1.	Delkonklusion.....	55
4.4.	Leica: Enkeltstations vs. Netværk RTK .....	56
4.4.1.	Delkonklusion.....	61
4.5.	Leica FKP vs. Trimble VRS.....	62
4.5.1.	Delkonklusion.....	68
4.6.	Analyse af modtagers bud på nøjagtighed vs. faktisk nøjagtighed .....	70
4.6.1.	Delkonklusion.....	72
5.	Samlet Konklusion .....	73
6.	Forslag til fremtidige undersøgelser.....	75
6.1.	Test af Leica's SpiderNet mod GPSNet.....	75
6.2.	Gå i dybden med højdedifferencer mellem forskellige referencenet .....	75
6.3.	Indhentelse af referencenet data til efterprocesering .....	75
6.4.	Lave forsøg med flere modtagere tilsluttet samme antenne.....	75
7.	Appendiks A: Radiovejledning .....	77
8.	Litteraturliste .....	85

**Bilagliste**

<b>Bilag 1</b>	Eksempel på opmålingstidsplan .....	87
<b>Bilag 2</b>	Data output fra Leica udstyr .....	89
<b>Bilag 3</b>	Procedure for opmåling. Test af Leica's netværks RTK-løsning.....	90
<b>Bilag 4</b>	Trimble Data Output.....	92
<b>Bilag 5</b>	Procedure for opmåling. Test af Trimble's netværks-RTK.....	93
<b>Bilag 6</b>	Statistik – Leica Enkeltsation – 2-07-00001 .....	95
<b>Bilag 7</b>	Statistik – Leica Enkeltsation – 4-08-00001 .....	97
<b>Bilag 8</b>	Statistik – Leica Enkeltsation – 14-08-00001 .....	99
<b>Bilag 9</b>	Statistik – Leica Netværksløsning – 2-07-00001 .....	101
<b>Bilag 10</b>	Statistik – Leica Netværksløsning – 3-07-00816 .....	103
<b>Bilag 11</b>	Statistik – Leica Netværksløsning – 4-08-00001 .....	105
<b>Bilag 12</b>	Statistik – Leica Netværksløsning – 14-08-00001 .....	107
<b>Bilag 13</b>	Statistik – Trimble Netværksløsning – 5km000001 .....	109
<b>Bilag 14</b>	Statistik – Trimble Netværksløsning – 10km000001 .....	112
<b>Bilag 15</b>	Statistik – Trimble Netværksløsning – 15km000001 .....	115
<b>Bilag 16</b>	Statistik – Trimble Netværksløsning – 20km000001 .....	118



## 1. Teori

Dette projekt er blevet igangsat på baggrund af, at en af Danmarks førende leverandører af GPS udstyr – Leica Geosystems, havde besluttet sig for at teste en mulig implementering af en netværks RTK løsning til det landsdækkende referencenet af permanente stationer – GPS-referencen. GPS-referencen havde tidligere kun leveret RTK data på baggrund af enkeltstående referencestationer, men nu skulle det undersøges, om det kunne betale sig at investere i en samlet netværksløsning. Indtil da havde Trimble Center Danmark været de eneste udbydere af RTK korrektioner på baggrund af en samlet netværksløsning. Leica ville dog ikke gå i Trimble's fodspor og benytte samme metode til at danne korrektionsdata på, men ville derimod teste en ny metode, som var relativt uprøvet. Denne test gav mulighed for at få testet tre forskellige RTK teknikker i praktisk anvendelse:

- Et net bestående af enkeltstående referencestationer med udstyr fra Leica.
- Et net bestående af sammenkoblede referencestationer med udstyr fra Leica.
- Et net bestående af sammenkoblede referencestationer med udstyr fra Trimble.

For at forstå forskellen på ovenstående teknikker til RTK er det nødvendigt at vide hvorledes positionsbestemmelse med et GNSS, *Global Navigation Satellite System*, fungerer. De næste afsnit beskriver opbygningen af det amerikanske GPS, *Global Positioning System*.

### ***1.1.Global Positioning System - GPS***

Siden amerikanerne erklærede deres globale navigations system, NAVSTAR, fuldt operationelt den 27. april 1995, har anvendelsesmulighederne af den nye teknologi været stærkt voksende. Der ligger klare fordele ved positionsbestemmelse ved hjælp af satellitobservationer i forhold til traditionelle landmålingsmetoder som optiske retningsobservationer og elektromagnetisk distancemålinger. En af de største fordele ved opmåling med GPS er, at det ikke er nødvendigt at have synlig kontakt mellem de punkter der

skal måles op. Samtidig gør GPS det muligt, at måle over store afstande med langt færre observationer end med traditionelle metoder.

Da systemet blev udtænkt var det primært tænkt som assistance til amerikanske militære enheder. Positionsbestemmelsen blev foretaget af enkelte modtagere med en nøjagtighed på 5-10 meter. Dette var rigeligt til at navigere gennem ukendt terræn. Dette foregik ved hjælp af den kodede P-kode. Til civilt brug benyttede man C/A (coarse/acquisition) koden. Med en bølgelængde på ca. 300 meter var det muligt at bestemme sin position i real time med en nøjagtighed på ca. 10-15 meter. For at civile, og eventuelt andre ikke-Nato militære magter, ikke skulle have adgang til en sådan nøjagtighed, blev signalet forringet ved at påmodulere en bevist tilfældig tidsfejl i systemet kaldet SA, Selective Availability. Nøjagtigheden i systemet kunne nu ikke forventes bedre end 50-100 meter i planen, som dog var rigeligt til at navigere efter.

Det tog ikke lang tid før universiteterne begyndte at interessere sig for, hvordan man kunne forbedre nøjagtigheden af GPS systemet. Inden for skibstrafikken var der bl.a. ønske om bedre nøjagtighed i kystnære områder og i stærkt trafikerede sejlrender. Her var en nøjagtighed på 100 meter langt fra godt nok. Grundet SA var der en "fejl" på de målte pseudoafstande til satellitterne. Ved at lave kode GPS observationer i et punkt med kendte koordinater, kunne forskellen mellem den målte og den teoretiske beregnede afstand bestemmes. Denne forskel udgør "fejlen", og ved at sende den til en anden GPS modtager i området og der trække "fejlen" fra de målte pseudoafstande, eliminerede man mange fejlkilder, heriblandt SA. Dette var det første Differentielle GPS system – også kaldet DGPS. Korrektionerne bliver typisk sendt ud ved hjælp af radiobølger. I Danmark er der et system til skibstrafikken kaldet Beacon, og Kort og Matrikelstyrelsen, KMS, sælger DGPS via SPOT-FM, hvor korrektionerne bliver sendt ud over FM-båndet.

En nøjagtighed i meterklassen var ikke nok til at tilfredsstille geodæter og andre med meget højere krav til nøjagtigheden. Hvis GPS skulle bruges til egentligt opmålingsarbejde skulle man ned på centimeter og millimeter nøjagtigheder. Dette blev løst ved at tage udgangspunkt i de bærebølger der bærer Pseudo Random Noise, kaldet PRN, koden. Satellitterne sender med en frekvens på 1598 MHz og 1343 MHz for henholdsvis L1 og L2. Dette giver nogle meget

korte bølgelængder på ca. 19 og 23 cm henholdsvis. Da GPS modtagere ikke bare tæller hele bølgelængder, men også brøkdelen af den sidste bølgelængde mellem modtager og satellit, så har det stor betydning for nøjagtigheden, hvilken bølgelængde man måler på. Under forudsætning af, at en GPS modtager kan bestemme brøkdelen af den sidste bærebølgelængde med en nøjagtighed på 1%, så det i teorien burde være muligt at bestemme afstanden til en given satellit med ca. 2 mm nøjagtighed. Problemt er, at afstanden til satellitterne er ca. 20200 km og med en bølgelængder under  $\frac{1}{4}$  meter, er det svært at bestemme det præcise antal hele bølgelængder mellem modtager og satellit. Man kan sige, at modtageren er meget velegnet til at bestemme de sidste 20 cm, men er ude af stand til at bestemme det hele antal bølgelængder, kaldet heltalskonstanten, typisk kaldet  $N$ .

### 1.1.1. Enkelt-differencer

Problemet løses ved at måle differentielt mellem to fase GPS modtagere. Følgende opstilling af fundamentalligninger er lånt fra [3]. Observationsligningen for en enkelt modtager  $k$  der måler på faserne fra satellit  $p$  ser således ud:

$$\phi_k^p(t) = \rho_k^p(t) - \lambda \cdot N_k^p(t_0) - c \cdot dT_k + c \cdot dt^p - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon_k^p \quad (1.1)$$

hvor

$\phi_k^p(t)$  er den samlede faseforskydning til tiden  $t$  siden  $t_0$

$\rho_k^p(t)$  er den geometriske afstand mellem modtager  $k$  og satellit  $p$

$\lambda \cdot N_k^p(t_0)$  er længden af det hele antal bølgelængder til tiden  $t_0$

$c$  er lysets hastighed i vakuum

$dT_k$  er modtager  $k$ 's urfejl

$dt^p$  er satellitt  $p$ 's urfejl

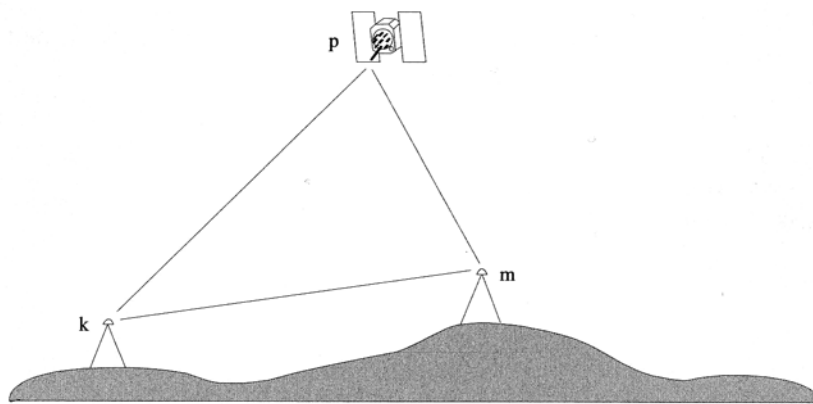
$d_{ion}$  er korrektionen for ionosfærefejlen

$d_{trop}$  er korrektionen for troposfærefejlen

$\varepsilon_k^p$  er et restfejld

Restfejllødet består af flere fejlkilder, der her bliver samlet under en betegnelse. Det indeholder fejlene fra troposfære- og ionosfæreforstyrrelser, banefejlens indflydelse på de to signalretninger, multipath og til sidst målestøj.

Ved at have en anden modtager  $m$  stående i nærheden over et punkt med kendte koordinater og måle til de samme satellitter som modtager  $k$  til samme tidspunkt, kan der også opstilles en observationsligning for denne modtager. Se opstilling på Figur 1-1.



**Figur 1-1** Eksempel på enkeltdifferens. Modtager  $k$  og  $m$  observerer til satellit  $p$  til samme tid [3].

Ved at tage differensen mellem disse to ligninger, fås det der betegnes enkeltdifferencen. Fordelen er at urfejlen i satellitten udgår. Hvis man samtidig antager at de to modtagere står så tæt på hinanden, at signalerne går gennem den samme atmosfære, så udgår også fejlene fra ionosfæren og troposfæren. Enkeltdifferensen ser således ud:

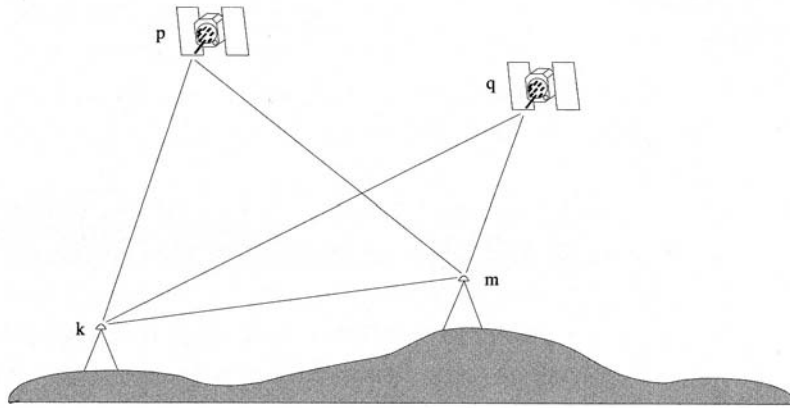
$$\phi_{km}^p(t) = \rho_m^p(t) - \rho_k^p - \lambda \cdot (N_m^p(t_0) - N_k^p(t_0)) - c \cdot (dT_m - dT_k) - \varepsilon_{km}^p \quad (1.2)$$

hvor

$$\phi_{km}^p(t) = \phi_m^p(t) - \phi_k^p(t) \quad (1.3)$$

Ved at måle til flere satellitter samtidig er det muligt at danne enkeltdifferencer til dem alle. Denne situation er skitseret på Figur 1-2 for to satellitter.





Figur 1-2 Dobbeldifferenser kan dannes ved at måle differetielt til to satellitter til samme tid [3].

### 1.1.2. Dobbelt-differencer

Problemet med enkeltdifferencer er bl.a., at urfejlene i modtagerne stadig er ukendte. Ved at lave differencer mellem enkeltdifferencer, så går urfejlene i modtagerne ud. Dette kaldes dobbeltdifferencer. For opstillingen på Figur 1-2 ser dobbeltdifferencerne således ud:

$$\phi_{km}^{pq}(t) = \rho_{km}^{pq}(t) - \lambda \cdot N_{km}^{pq}(t_0) + \varepsilon_{km}^{pq} \quad (1.4)$$

De ubekendte i ovenstående ligning, under forudsætning af at den ene modtager står i et punkt med kendte koordinater, er  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  og  $N_{km}^{pq}(t_0)$  som benævnes *ambiguity* samt  $\varepsilon_{km}^{pq}$ .

$N_{km}^{pq}(t_0)$  vil være konstant over tid under forudsætning af, at kontakten til satellitterne opretholdes under observationerne. Restleddet  $\varepsilon_{km}^{pq}$  indeholder primært atmosfæreforstyrrelser, såfremt de to modtagere er placeret ideelt i forhold til modtageforholdene for bl.a. at udelukke multipath.

Ved at måle over flere epoker og danne dobbeltdifferenser mellem de synlige satellitter, er det muligt at bestemme de ukendte elementer ved mindste kvadraters metode. De foreløbige koordinater kommer fra en kodemåling, og forskellige søgeteknikker afsøger alle mulige

kombinationer af heltalskonstanter, for at finde den kombination med de mindste residualer. Beskrivelsen af de forskellige søgeteknikker ligger ud over dette projekt. Se evt. [23].

Der findes forskellige måder at bestemme ambiguity på. De bygger alle på en form for udjævning. Det simpleste tilfælde er statiske målinger, hvor  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  og  $\Delta Z$  er konstant i hele observationsperioden. Mere avancerede metoder kan beregne ambiguity, selv når roveren flyttes rundt. Dette kaldes On-the-Fly initialisering, men kræver at modtageren kan se minimum fem satellitter [3].

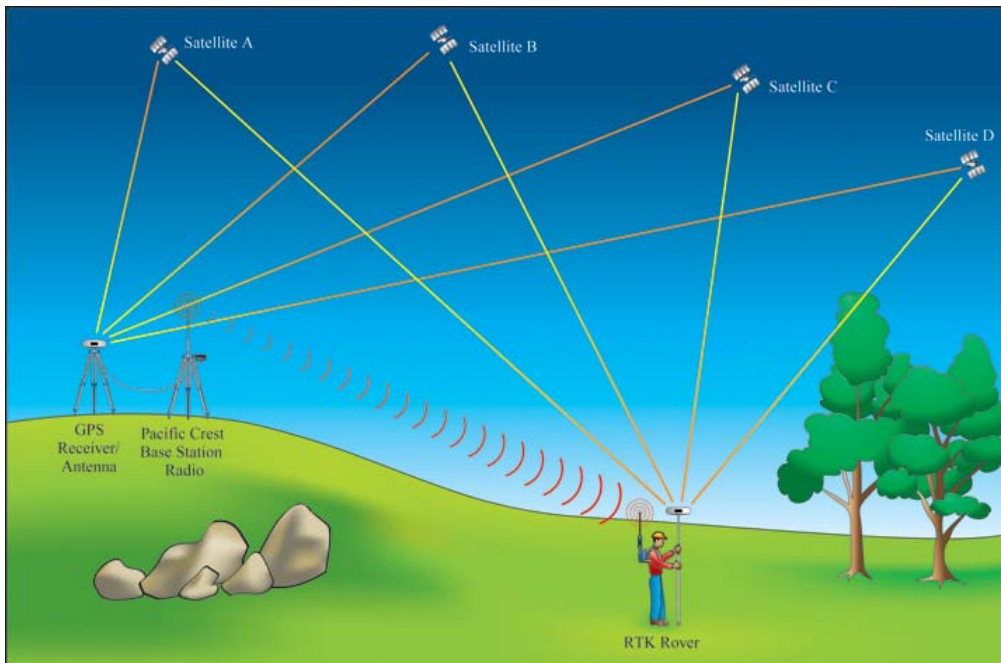
### 1.1.3. Forskelle i differentielle fase-opmålingsteknikker

Afhængig af nøjagtighedskravene til målingen er der i princippet tre måder at lave differentielle faseobservationer på. Den statiske metode, hvor modtageren ikke flyttes, er den mest nøjagtige. Her er det ofte muligt at opnå nøjagtigheder i millimeter niveau. Så kan der måles med en metode kaldet *stop-and-go*. Dette går ud på at roveren flyttes mellem målinger af punkter, som så bestemmes med et lille antal epoker. Den sidste observationsmetode er kontinuerte observationer, hvor roveren måler kontinuert og gemmer positionerne for hver epoke. Det er som regel muligt, at bestemme intervallet dette skal foregå med.

De to sidste opmålingsmetoder kaldes kinematiske målinger. Produktiviteten stiger kraftigt ved kinematiske målinger, da hver måling som regel ikke behøver at tage længere end 10 sekunder. Nøjagtigheden er stadig bedre en 5-10cm. Mere om det i afsnittet med analysen.

## 1.2. Real Time Kinematisk GPS

I starten var der ikke forbindelse mellem master og rover, og det var først muligt at beregne sine observationer, når data fra de to modtagere blev samlet i en computer. I de fleste programmer kaldes det for *Post Process Kinematic*. For at forhøje effektiviteten af de kinematiske målinger gennemgik observationsgangen samme tankegang som Beacon og SPOT-FM systemerne. Ved at have et datalink mellem rover og master, blev det muligt at bestemme sin position i real time med centimeter nøjagtighed, se Figur 1-3. Dette er i dag den ultimative måde at lave stedbestemmelse med i dag, hvor kravene til nøjagtigheden er høj. Metoden hedder Real Time Kinematic GPS, eller forkortet RTK GPS.



**Figur 1-3** Princippet i RTK positionsbestemmelse. RTK roveren modtager korrektioner via radio fra referencemodtageren (www.paccrest.com 30/11-05).

Systemet i Figur 1-3 viser systemet med et radiolink. Der findes flere metoder til at levere korrektionssignalet til brugeren. Dette behandles i afsnit 1.4 om datalink.

### 1.2.1. Enkeltstations RTK

En opstilling som Figur 1-3 kaldes for enkeltstations RTK. Ulempen er, at der ved dannelse af dobbeltdifferenser stadig er et restled  $\varepsilon_{km}^{pd}$ , som der ikke korrigeres for. Størrelsen af restledet bliver større jo længere væk fra referencestationen roveren befinder sig. Dette skyldes variationer i ionosfæren og især troposfæren over længere afstande. Derfor er GPS observationer ikke alene tilknyttet en grundfejl, men også en afstandsafhængig fejl. For at eliminere så meget af fejlbidraget fra troposfærefejl, benyttes ofte en matematisk model der beskriver signalændringen for bølgerne gennem troposfæren. Der er dog kun tale om en model og ikke en decideret observation af troposfæreforholdene under målingerne, og derfor kan denne ikke eliminere hele fejlbidraget fra troposfæren.

Nøjagtigheden af enkeltstations RTK er undersøgt af KMS i 2001 og beskrevet i [17]. Resultatet kan ses i Tabel 1-1.

	Grundfejl [mm]		Afstandsafhængig fejl [ppm]	
	Plan	Højde	Plan	Højde
Enkeltstations RTK	3,5	5	0,5	2

**Tabel 1-1 Nøjagtigheden af enkeltstations RTK. Alle værdierne er angivet som 1\*Sigma.**

### 1.2.2. Netværks RTK

Fordelene ved RTK GPS i forhold til tidligere metoder var meget store. Det var dog stadig tidskrævende, selv at skulle stille sin referencestation op hver gang nye observationer var påkrævet i et givent område. Økonomien er også påvirket af, at brugeren bliver nød til at have minimum 2 GPS modtagere for at kunne foretage RTK observationer.

Ved at deles om brugen af faste referencestationer, der er permanent monteret i det område hvor målingerne foretages, spares der meget tid og der er mindre krav til mængden af eget udstyr. Dette er den grundlæggende ide bag netværks RTK.

De simpleste former for netværk består af en række enkeltstationer, og brugeren har så mulighed for at oprette et datalink til den station der er nærmest. Herefter modtager brugeren så fasedata fra stationen og kan herefter selv danne dobbeltdifferenserne og starte opmålingerne. Begrænsningen for denne type ligger i afstanden til nærmeste referencestation. Hvis afstanden er for stor, er det ikke muligt at løse ambiguity tilfredsstillende og det medføre større unøjagtighed for målingerne. Denne maksimale afstand fra referencestationen er ikke konstant, men derimod meget afhængig af de aktuelle forhold i atmosfæren samt rækkevidden for ens datalink.

Hvis referencestationerne er forbundet til en central server øges anvendeligheden af netværket betragteligt. Det bliver nu muligt at overvåge modtagerne og foretage kontrol af datakvaliteten løbende. Den vigtigste fordel ved af forbinde netværket er dog, at det bliver muligt at monitere atmosfærens indflydelse på signalerne fra satellitterne i real time. Hvis denne information bliver tilgængelig for brugerne af referencenetværket, så bliver det muligt forøge den maksimale afstand til nærmeste base samt at opnå en bedre nøjagtighed af

observationerne. Da alle referencestationerne i netværket har kendte koordinater af meget høj kvalitet, er det enkelt at beregne restfejleddet i dobbeltdifferencer dannet mellem de permanente stationer. I formel (1.4) for dobbeltdifferencer er det kun restfejleddet  $\varepsilon_{km}^{pq}$  der er ukendt. Tabel 1-2 viser resultaterne fra KMS's undersøgelse af nøjagtigheden ved netværks RTK [17].

	Grundfejl [mm]		Afstandsafhængig fejl [ppm]	
	Plan	Højde	Plan	Højde
Netværks RTK	5	11	0,3	1,4

**Tabel 1-2 Nøjagtigheden af netværks RTK. Alle værdierne er angivet som 1\*Sigma.**

Her ses det at grundfejlen er højere end for enkeltstationsnetværk, men at den afstandsafhængige fejl er reduceret med en faktor tre. Dette skyldes tilførslen af afstandsafhængige korrektioner, som er beregnet på baggrund af reference netværket.

### ***1.3. GNSS Netværkskorrektionsteknik***

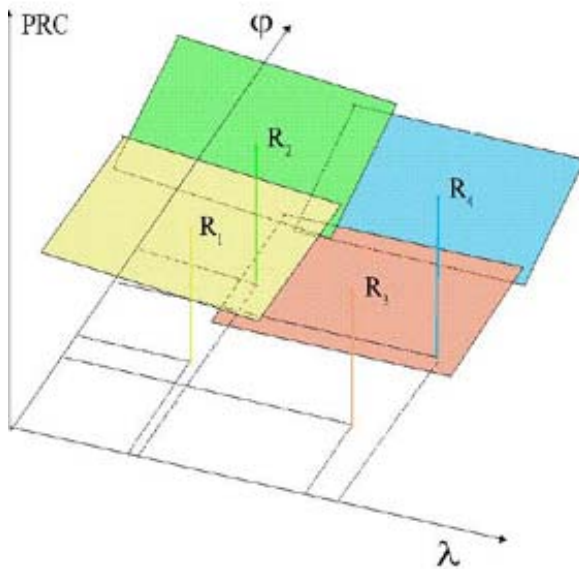
Der eksistere i dag to grundlæggende teknikker til at videreformidle netværkskorrektioner til brugeren. Den ene metode kaldet Flächen Korrektur Parameter, forkortet FKP, er den Leica og GPS-referencen har valgt til deres nationale referencenetværk i Danmark. Den anden metode er Virtuel Reference Station, også kaldet VRS, brugt af Trimble Danmark til verdens første landsdækkende referencenetværk i Danmark.

#### **1.3.1. Flächen Korrektur Parameter – FKP**

Det var det tyske firma Geo++, der var de første der definerede udtrykket FKP, som står for Flächen Korrektur Parameter. På engelsk bliver de kaldt "area correction parameter". På dansk findes der så vidt vides endnu ikke et udtryk for disse korrektioner, og i resten af rapporten vil de blive benævnt med den tyske forkortelse, FKP.

FKP parametrene bliver brugt til at beskrive de afstandsafhængige fejl fra de enkelte reference stationer i et GNSS reference netværk. For at forenkle fremstillingen af korrektionerne bliver disse beskrevet lineært. Med udgangspunkt i den enkelte referencestation så beskriver FKP

parametrene den afstandsafhængige fejl i Nord-Syd og i Øst-Vest retning. Dette er vist på Figur 1-4, hvor FKP parametrene er tegnet ind for et lille netværk bestående af 4 reference stationer, nemlig  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  og  $R_4$ . Roveren vælger så den nærmeste referencestation og modtager, udover de sædvanlige data, FKP korrektionerne fra denne station, og er nu i stand til at eliminere de afstandsafhængige fejlbidrag. På Figur 1-4 ses en grafisk fortolkning af FKP korrektionerne.



**Figur 1-4** FKP korrektionerne illustreret som planer i rummet fra fire referencestationer (www.06-gps.nl 06/12-05).

Selve definitionen og anvendelsen af FKP parametre er beskrevet i [21]. Formlerne tager udgangspunkt i en rover, der befinder sig på koordinaterne  $\varphi, \lambda$  svarende til bredde og længdegrad.

$$\delta r_{geo} = 6,37 \left( N_{geo} (\varphi - \varphi_R) + E_{geo} (\lambda - \lambda_R) \cos(\varphi_R) \right) \quad (1.5)$$

$$\delta r_{ion} = 6,37 \cdot H \left( N_{ion} (\varphi - \varphi_R) + E_{ion} (\lambda - \lambda_R) \cos(\varphi_R) \right) \quad (1.6)$$

hvor

$N_{geo}$  er FKP'en i nord-syd retning for det geometriske (ionosfærefri) signal i ppm

$E_{geo}$  er FKP'en i øst-vest retning for det geometriske (ionosfærefri) signal i ppm

$N_{ion}$  er FKP'en i nord-syd retning det ikke ionosfærefri signal i ppm

$E_{ion}$  er FKP'en i øst-vest retning det ikke ionosfærefri signal i ppm

$\varphi_R, \lambda_R$  er de geografiske koordinater for referencestationen i radianer

$$H = 1 + 16 \left( 0,53 - \frac{E}{\pi} \right)^3$$

$E$  er elevationsvinklen til satellitten i radianer

$\delta r_{geo}$  er den afstandsafhængige fejl fra det geometriske (ionosfærefri) signal i meter

$\delta r_{ion}$  er den afstandsafhængige fejl fra det ikke ionosfærefri signal i meter

For at finde den afstandsafhængige fejl på henholdsvis L1 og L2 benyttes nedenstående formler:

$$\delta r_{L1} = \delta r_{geo} + \left( \frac{120}{154} \right) \cdot \delta r_{ion}$$

$$\delta r_{L2} = \delta r_{geo} + \left( \frac{154}{120} \right) \cdot \delta r_{ion}$$

Herefter er det enkelt for roveren at korrigere pseudoafstanden målt på fasen til de enkelte satellitter. Dette følger denne sammenhæng.

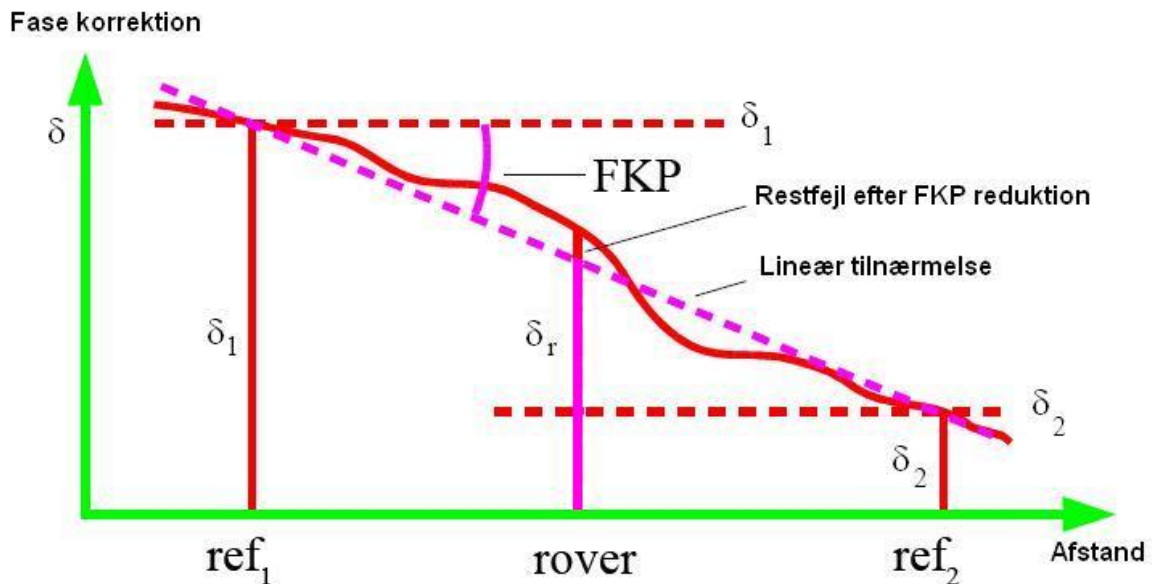
$$R_k = R - \delta r \quad (1.7)$$

hvor

$R_k$  er den korrigerede pseudoafstand fri for afstandsafhængige fejl

$R$  er den målte pseudoafstand målt ved fasemåling

Da atmosfæreforholdene bliver tilnærmet en lineær funktion, så vil der stadig være en restfejl fra atmosfæreforholdene, men hvis tilnærmelsen ligger tæt på de faktiske forhold så vil restfejlen være meget mindre end før korrektionen. Dette er illustreret på Figur 1-5.



**Figur 1-5 Implementering af FKP. Restfejls fortegn er afhængig fra hvilken referencestation roveren benytter [22].**

I ovenstående tilfælde er der en restfejl fra FKP korrektionen, da den lineære tilnærmelse ikke er samfaldende med de faktiske forhold på roverens position. Korrektionen for roveren svarer til den lyserøde søjle. Den røde restfejl er den del af den afstandsafhængige fejl, der stadig er i roverens RTK løsning. Restfejlen størrelse er dog mindre en afstanden mellem de røde stiplede linier og den røde fuldt optrukne line. Dette betyder at det har gavnet kvaliteten af observationerne af benytte sig af FKP korrektionerne.

Den største forskel mellem FKP og VRS er, at FKP kan benyttes i ”broadcast mode”. Det vil sige, at roveren ikke behøver at sende data til netværkets server, men kan nøjes med kun at modtage korrektioner. Det betyder at løsningen kan fungere med radiosendere som datalink hvor der ikke findes mobilmaster.

Ulemperne ved FKP er, at det format der bliver brugt at viderebringe data, RTCM v. 2.3, ikke er designet til FKP korrektioner. Mere om det i afsnit 1.4.4.

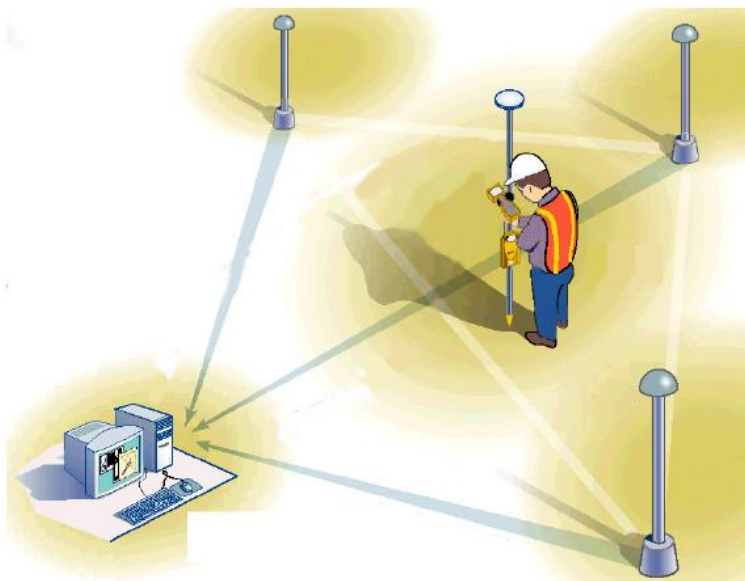


### 1.3.2. Virtuel Reference Station – VRS

Trimble var de første på markedet med en netværks RTK løsning. De kalder den GPSNet og den bygger på princippet om den virtuelle reference station – VRS. I stedet for at bestemme sin position ud fra data fra en af de fysiske referencestationer i netværket, benyttes netværkets kontinuerte observationer, dette inkluderer også atmosfæreforhold, til at beregne virtuelt data, som det ville have set ud, kommende fra en referencestation lige ved siden af roveren.

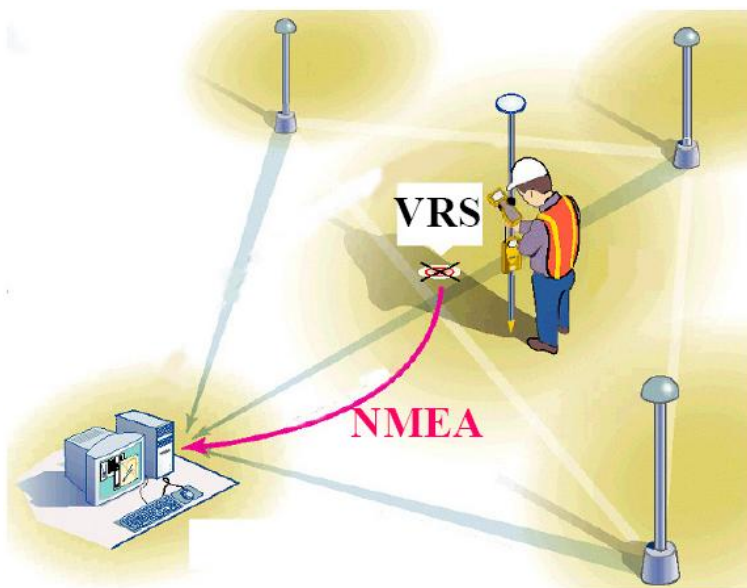
Kernen i VRS princippet er, at alle beregninger foregår i en central server. Her samles alle data fra referencestationerne i real time og på baggrund af disse data, er det muligt at have en opdateret model for fejlbidragene i fundamentalligningen.

Processen for at fortage RTK observationer ved hjælp af VRS metoden følger principperne skitseret i Figur 1-6 til Figur 1-8. Brugeren i marken der skal lave sin opmåling, er udstyret med en GNSS modtager der er i stand til at modtage RTK fasedata, samt en mobiltelefon der er koblet til denne. GNSS modtageren befinder sig i et reference netværk bestående af minimum 3 stationer, men gerne flere. Disse er tilsluttet en central server, der konstant modtager data fra referencestationerne med en opdateringshastighed på 1Hz.



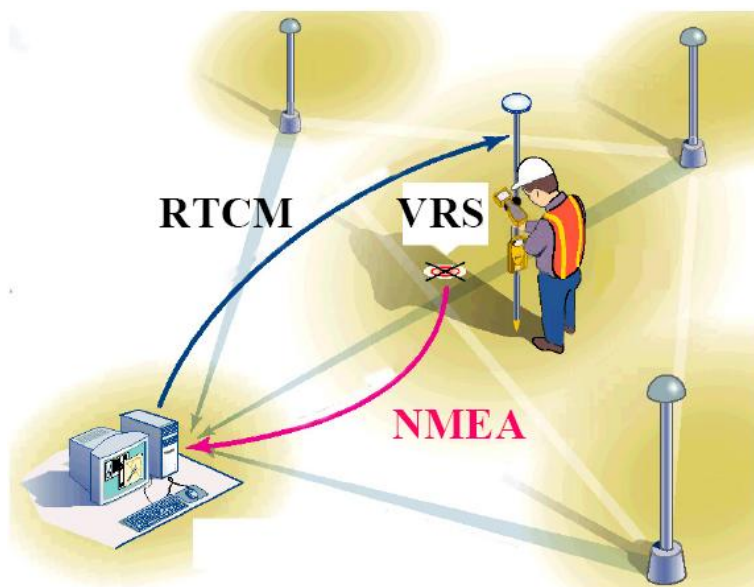
Figur 1-6 Netværksskitse bestående af tre referencestationer [6].

Brugeren tænder sin modtager og bestemmer sin position med en almindelig kodemåling. Denne har en nøjagtighed på 2-5 meter uden SA. Derefter benyttes mobillinket til at få kontakt til serveren, og brugeren sender sin position ind til centralen. Dette sker i formatet NMEA, nærmere bestemt den linie i formatet der hedder GGA. Denne indeholder positionen i WGS84 geografiske koordinater.



**Figur 1-7 Roveren sender sin position til serveren i NMEA format [6].**

Centralen sender derefter DGPS data i RTCM format til brugeren, som derefter kan bestemme sin position på sub-meter niveau. Denne nye DGPS position bliver nu sendt tilbage til centralen, som så begynder at danne fasedata på baggrund af brugerens DGPS position.



Figur 1-8 Roveren modtager VRS data fra serveren i RTCM format [6].

Brugeren modtager nu RTCM RTK data fra centralen, som for modtageren ser ud, som om det kommer fra en referencestation mindre end en meter væk. En så kort basislinie er meget lidt påvirket af de afstandsafhængige fejl, og nøjagtigheden af RTK positionen vil derfor være mere nøjagtig end hvis RTK data kom fra den nærmeste fysiske referencestation.

Det GPSNet softwaren gør, er at beregne fordelingen af samtlige fejlbidrag fra nettet i *real time*. Hvis vi ser på fundamentalligningen for faseobservationer formel (1.1), er det nemt at forstå princippet i VRS. Den geometriske afstand til satellitterne er nem at beregne, da vi kender koordinaterne til vores VRS. Satellitternes urfejl samt troposfære- og ionosfærefejl kender GPSNet softwaren, da modellerne for disse fejl beregnes og udjævnes konstant i netværket. Heltalskonstanten  $N$  kendes også, idet positionen af VRS ligger fast. Modtagerens urfejl er i princippet den urfejl, den centrale server har i tidsstemplingen af RTCM korrektionerne. Denne kan også modelleres da systemet kører konstant, og derfor kan denne urfejl bestemmes med stor nøjagtighed. De afstandsafhængige fejl i netværket, som er en del af restledet i formel (1.4), kan også bestemmes da disse også bliver bestemt i real time af softwaren. Når alle led på højre side er kendt, kan den venstre side beregnes, og det er disse værdier der sendes i RTCM (type 18 og 19) til brugeren i netværket.

VRS teknikken var tidligere opbygget til kun at benytte referencedata fra de tre nærmeste referencestationer. Information fra resten af nettet var uden betydning for bestemmelse af fejllenede. Fejlene fra de tre referencestationer blev lineært interpoleret og derefter benyttet til dannelse af VRS data. I dag udnyttes udjævnede informationer fra hele netværket til at monitorere størrelsen på samtlige fejllenede fordelt over hele nettet [7].

VRS teknikken er afhængig af to-vejs kommunikation mellem server og bruger. I et land som Danmark, hvor mobildækningen er tæt på 100% på landjorden, er det ikke noget problem. Udgifterne til datatrafikken vokser dog proportionalt med opmålingstiden, hvorimod FKP løsningen kan klares med envejskommunikation. Til gengæld er datamængden ved VRS ikke særligt stor, da brugeren kun modtager information fra en referencestation, da alle korrektioner er foregået i centralen, før VRS data sendes til brugeren. Ved at benytte GPRS download via et GSMnet er det muligt at styre hvor tit man modtager data fra VRS stationen. Når målingerne foretages kan opdateringshastigheden være høj, for eksempel 1Hz, mens datalinket sender VRS data med lavere frekvens mellem målinger. Når der ved GPRS data kun betales for downloadmængden og ikke for tilslutningstiden, er der her store besparelser at hente.

Når roveren er initialiseret i GPSNet, så ligger VRSs koordinater fast. Dette giver problemer jo længere væk fra denne position roveren kommer, svarende til problemerne ved enkeltstations RTK. Ifølge [7] bliver der også sendt FKP korrektioner til brugerens VRS station via RTCM besked 59. Dette er medvirkende til, at roveren kan operere med længere basislinie til VRS, før der skal geninitialiseres med ny position af VRS. På denne måde indgår VRS og FKP begge i Trimble's måde at forbedre RTK teknikken på.

### ***1.4.Datalink - RTK***

For at lave RTK målinger er det nødvendigt, at modtage data fra minimum en referencestation. Der er flere forskellige måder at overføre data på og disse vil kort blive gennemgået i dette afsnit. Ud over at vælge hvilken type datalink der benyttes, skal der også være enighed mellem base og rover, omkring hvilket dataformat der benyttes til at lave RTK målingerne. Her er der også flere muligheder.

Der er 3 overordnede måder at etablerer et datalink mellem serveren i et referencenetværk og RTK brugeren i marken.

- Radio
- GSM modem
- IP

#### **1.4.1. Radio**

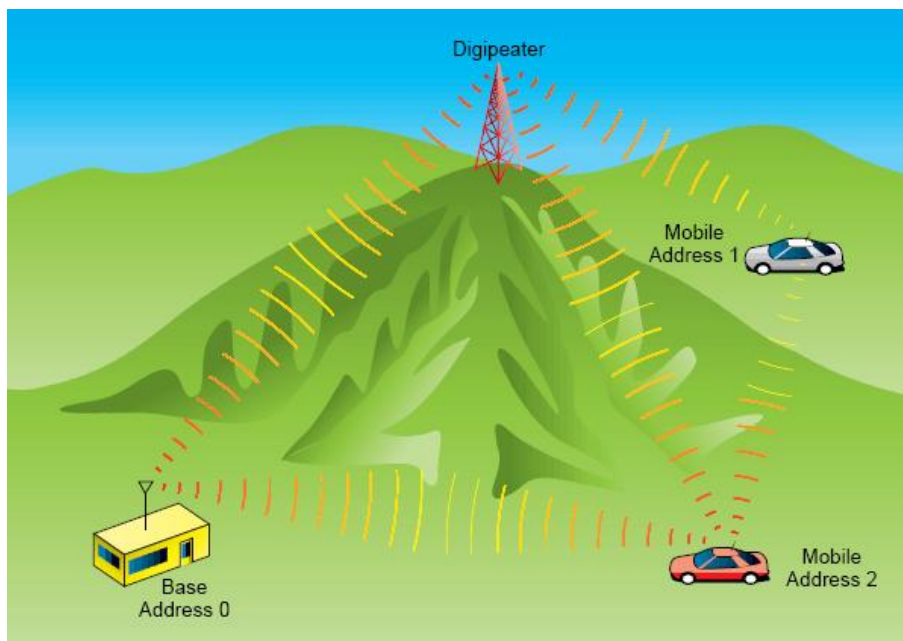
Fordelen ved at anvende radio til at sende korrektionssignaler fra referencenetværket er primært at udgifterne kan holdes på et minimum. Radiosystemerne til RTK er som regel også baseret på en-vejs kommunikation, hvilket gør at der ikke er nogen begrænsning i antallet af brugere til systemet.

Rækkevidden af radiosignalet er ulempen ved denne metode. Den maksimale afstand mellem sender og modtager af radiosignaler er bestemt af følgende faktorer [8]:

- Sendestyrken - Der skal søges tilladelse hos telestyrelsen til at sende med mere end 0,5 W.
- Højden sende- og modtagerantenne er monteret i - Jordens krumning sætter en begrænsning for hvor langt væk sende- og modtagerantenne kan se hinanden.
- Kvaliteten af antenne og kabel - Ved at benytte kabler og antenner af høj kvalitet, formindskes sendestyrken mindst muligt. Det gælder også om, at afstanden mellem radiomodem og antenne er så kort som muligt, så hele effekten ikke afsættes i antennekablet.
- Forhindringer der blokerer signalet mellem sender og modtager - UHF signaler er i stand til delvis at trænge igennem faste objekter, men effekten af signalet bliver kraftigt formindsket.
- Interferens fra nabo frekvenser - Kan give problemer hvis sender eller modtager er monteret i nærheden af andre radiokilder.

For en mere detaljeret beregning på den maksimale rækkevidde mellem sender og modtager henvises til [12].

Den maksimale afstand til nærmeste referencestation er ofte større end den maksimale radioafstand. Dette er især gældende i referencenetværk der leverer RTK korrektioner baseret på netværksløsninger. Her kan afstanden til nærmeste referencestation komme op på over 30-40 km. Hvis det skulle være muligt at fange radiosignaler på den afstand, kræver det en sender med meget høj styrke som er monteret i en høj mast. Dette er ofte ikke tilfældet. I denne situation er det nemmest at anvende GSM modem, men ved at benytte repeater teknik, er det muligt at forlænge forøge afstanden til senderen betragteligt. Princippet i repeaterteknikken kan ses på Figur 1-9.



**Figur 1-9** Andvendelsen af repeater til RTK ([www.pacrest.com](http://www.pacrest.com) 12/12-05).

På Figur 1-9 er Mobil 1 uden for basens rækkevidde, men modtager alligevel signalet, da det bliver videresendt fra Digipeateren, som Pacific Crest kalder deres repeater. Der er i princippet ikke nogen grænse for, hvor mange repeater der kan tilknyttes et netværk, men der skal tages hensyn til, at de ikke interfererer med hinanden.

Som et sideprojekt til det egentlige formål med denne rapport er der indhentet erfaringer med etableringen af et RTK system til at dække DTU's område ved hjælp af en base radio med tilhørende repeater. Resultatet har ikke været vellykket grundet hardware problemer med radioerne fra Pacific Crest. Den endelige status på etableringen et RTK system på DTU's område er, at radiosenderen i Bygning 321, som er koblet til IMM's faste basisstation, Trimble 4400, fungerer upåklageligt på DTU's område. Radioen, som skulle virke som repeater på DTU's adresse på Landmålervej 7, er aldrig kommet til at virke optimalt. Dette selv om radioen har været til service på Pacific Crest's værksted i Holland. I efteråret 2005 har en gruppe diplom ingeniørstuderende testet rækkevidden af DTU's radio RTK system. Fra deres test af har de bl.a. gjort følgende observationer:

- Radioen i Trimble's R8 modtageren er meget bedre end radioen i Trimble 5700.
- Repeateren er stadig meget ustabil selv efter service i Holland.

Der er i den forbindelse skrevet en vejledning til opsætning af base radio, samt en repeater til montering på instituttets adresse på Landmålervej 7, 2800 Kgs. Lyngby. Denne kan ses i Appendiks A: Radiovejledning.

### **1.4.2. GSM modem**

De fleste industrialiserede lande har i dag landsdækkende GSM mobil net. Danmark er dækket af flere net fra konkurrerende udbydere. Da GSM nettene ikke er tilknyttet de enkelte referencestationer, men derimod deres egne sendere, er der ikke nogen maksimal tilladelig afstand fra en given referencestation. Brugeren vil i princippet kunne modtage RTK korrektionsdata hvor som helst på jorden, så længe der er forbindelse til et GSM net.

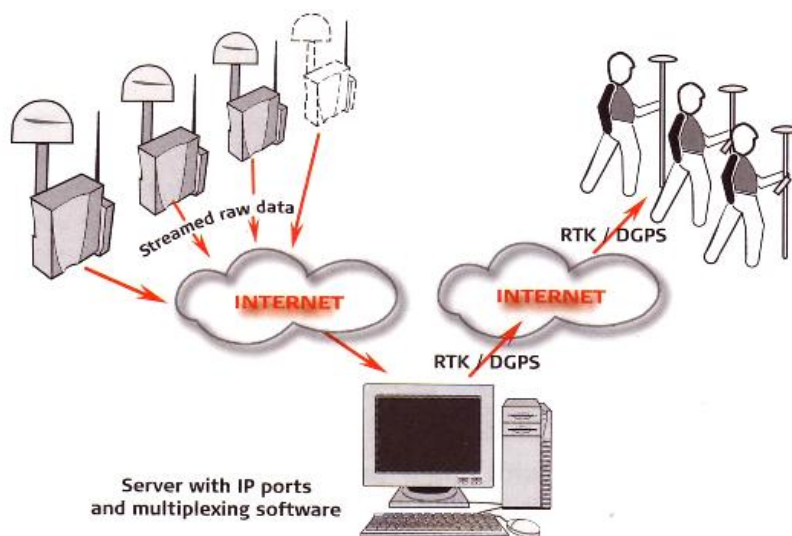
Brugen af GSM modem til datalink giver mulighed for to-vejs kommunikation. Dette er et krav hvis brugeren benytter sig af Virtuel Reference Station teknikken, som benyttes i GPSNet. Følgende fordele eksisterer ved brug af GSM modem til modtagelse af RTK korrektioner:

- GSM link har ingen begrænsning i afstand til referencestationen. Den maksimale afstand bliver derimod bestemt af modtagerens evne til at initialiserer.
- Stor båndbredde via GSM. Endnu større ved benyttelse af 3G net.
- Udbyderen af RTK har mulighed for at debiterer kunden for faktisk forbrug.
- To-vejs kommunikation giver mulighed for at benytte VRS teknik.
- Kræver ikke "line of sight" til senderen.

For brugeren er det dog forbundet med øget omkostninger at benytte et GSM datalink til modtagelse af RTK korrektioner. Det skyldes at teleselskaberne selvfølgelig tager sig godt betalt for at benytte deres GSM net. Generelt vil det dog kunne betale sig at benytte GSM datalink vis der måles i store områder, hvor det ikke ville være rentabelt selv at etablere radiodækning. Man ville heller ikke have adgang til VRS teknikken.

### 1.4.3. IP/Internet

Der er stigende interesse for at benytte IP teknik til at overfører RTK korrektionssignaler. I forvejen er de fleste forbindelser mellem referencestationerne og centralens server baseret på internetforbindelser. Økonomisk kan det bedre betale sig i forhold til at have åbne telefonliner til alle referencestationerne. Internettet bliver også i stigende grad benyttet til at sende RTK korrektioner til brugeren. På Figur 1-10 ses en skitse af princippet i IP til RTK.



Figur 1-10 Internettet kan anvendes som datalink til RTK data [8].



Da det er de færreste områder der er dækket af trådløst Internet, er det mest anvendeligt at anvende en mobiltelefon koblet op på Internettet. Ved at benytte en GPRS forbindelse betales der kun for den mængde data der downloades, hvilket kan være med til at reducere omkostningerne ved RTK betragteligt [16]. I fremtiden vil de trådløse opkoblingsmuligheder være større end i dag, hvilket vil gøre Internettet til det primære datalink for RTK data.

#### **1.4.4. Dataformat til RTK**

RTCM version 2 har i mange år været det fortrukne format til udveksling af RTK korrektioner. Fordelen ved at benytte et RTCM format til RTK data er, at alle producenter af GNSS modtagere kan læse denne standard. Version 2 har været meget velegnet til RTK observationer fra en enkelt referencestation. Dette skyldes, at der har været reserveret plads i standarden til både rå fasedata samt fasekorrektioner fra en enkelt fast referencestation. Den seneste udgave af RTCM version 2 er version 2.3, som er benyttet i dette projekt.

Med indførelsen af netværks RTK er der kommet et behov for en ny standard til RTK observationer. Et af ønskerne i netværks RTK er at gøre de rå observationer i referencestationerne tilgængelige for roveren. Derved kan brugeren selv bestemme hvordan korrektionerne skal beregnes og anvendes, under forudsætning af, at der er regnekraft nok til rådighed. For selv små netværk fylder rå observationsdata meget hvis det skulle sendes i version 2.3, og derfor har RTCM udviklet version 3.0 i samarbejde med de førende producenter af GNSS modtagere. Ifølge det svenske SWEPOS ([swepos.lmv.lm.se](http://swepos.lmv.lm.se)) er det muligt at reducere datamængden med 60% ved at anvende version 3.0 i stedet for version 2.3. Dette gør det muligt at sende korrektioner fra flere referencestationer eller have en højere opdateringshastighed for RTK data. Mindre datamængder ville også gøre det billigere for brugen, hvis data modtages over en GPRS opkobling, hvor prisen beregnes på baggrund af datamængde og ikke opkoblingstid.

## 2. Testopstilling

I det følgende afsnit gennemgås hvilke tiltag der er gjort under de forskellige test for at fremskaffe information om fordele og ulemper ved de forskellige RTK teknikker. Oplæget til rapporten var en test som Leica-Geosystems var i gang med på Sjælland, for at teste implementeringen af en netværksløsning byggende på FKP korrektioner. En kontakt til Brian Hansen fra Leica blev etableret og et møde blev arrangeret. Dette fandt sted i slutningen af oktober i 2004. Deres licens til netværkstesten kørte til og med udgangen af november 2004 og der skulle derfor fart på, hvis der skulle laves observationer nok til at danne grundlag for en grundig dataanalyse.

### *2.1. Definition af testparametre*

Grundlæggende var Leica interesseret i at undersøge følgende omkring en måske kommende netværksløsning:

- Hvordan klarer enkeltstations RTK sig i forhold til netværksløsningen.
- Hvad er nøjagtigheden af koterne med RTK.
- Hvordan er den afstandsafhængige fejl på netværksløsningen.
- Hvor lang observationstid kræves der for en enkelt opmåling.
- Hvordan virker Leicas FKP metode i forhold til en VRS løsning.
- Er initialiseringstiden forbedret ved netværksløsningen.

Ovenstående spørgsmål er information, der har stor relevans for slutbrugeren. I opmålingsøjemed er de fleste brugere kun interesseret i at få et sæt koordinater for et punkt så nemt og hurtigt som muligt. Samtidig er det vigtigt, at disse koordinater er inden for de tolerancer, der er specificeret i opmålingsplanen. I afsætning og maskinstyring er det vigtigste ligeledes, at afsætningen eller styringen af maskiner kan foregå med den nøjagtighed, der kræves af projektet. Det er med dette i tankerne, at testen af de to landsdækkende RTK systemer er sat op. Her følger en beskrivelse af de to landsdækkende referencenetværk i Danmark.

## 2.2. GPS-referencen

Dette referencenet er oprindeligt startet som et netværk af enkeltstående referencestationer. Selskabet bag er et andelsselskab bestående af el-, tele- og gasselskaber, nogle kommuner samt en række praktiserende landinspektørfirmaer. I dag består netværket af 59 stationer fordelt over hele landet. Fordelingen kan ses på Figur 2-1.



**Figur 2-1** Oversigt over GPS-referencens permanente stationer i Danmark (www.referencen.dk 8/12-05).

For at få adgang til data fra netværket kræves der enten et abonnement eller at man bliver andelshaver i GPS-referencen. Data bliver leveret via radio og GSM modem. Radioerne sender med en sendestyrke på 2W. Når brugeren er uden for radiodækningen er det muligt at ringe op til referencestationerne via et GSM net. Hver station har 4 mobilnumre tilknyttet og skulle dække behovet for tilkoblede brugere til hver station. For abonnenter af systemet er det også muligt at hente data fra stationerne til efterprocessing via GPS-referencens hjemmeside.

I dette projekt er der kun brugt GSM datalink, da flere af testpunkterne har ligget længere end 10 km fra referencestationerne. Samtidig giver det en bedre sammenligning med GPSNet, da dette net kun understøtter GSM som datalink.

### 2.2.1. GPS-referencens netværksdel

Den test, Leica-Geosystems A/S kørte i november 2004, dækkede ikke hele Danmark, men kun Sjælland. Hvilke stationer, der var med i netværksløsningen, ses i afsnit 2.2.4. Den software, der blev benyttet kom fra det tyske firma Geo++, der var det første firma til at bruge FKP korrektioner. Hvordan de danner deres FKP korrektioner er gennemgået i afsnit 1.3.1. Alle beregningerne blev udført på en server i Leica-Geosystems A/S lokaler i Herlev.

### 2.2.2. Opstilling af test procedurer for test af GPS-referencen

Leica-Geosystems A/S havde udlånt en RTK modtager af nyeste model til testen. Denne er kort beskrevet i afsnit 3.1. Med kun en modtager var det ikke muligt splitte antennesignalet mellem to modtagere. Fordelen ved dette ville ellers have været, at den ene modtager kunne beregne sin position som traditionelt enkeltstations RTK, mens den anden kunne beregne en netværksløsning. Derved kunne man sikre sig at resultaterne mellem enkeltstations- og netværksløsning ville være fremskaffet under 100% ens forhold. For at omgå dette, er det muligt at benytte den viden om, at omløbstiden for NAVSTAR GPS satellitterne er 12 timer målt i stjernerødgn [3]. Det betyder, at satellitterne står omtrent samme sted på himlen efter ca. 24 timer. Helt præcist 23 timer 56 minutter og 4 sekunder efter en satellit har passeret et punkt på himlen befinder den sig der igen under forudsætning af, at der ikke i mellemtiden er foretaget korrektioner af dens omløbsbane.

Herved bliver det muligt at teste indflydelsen på forskellige opmålingsteknikker under tilnærmelsesvis samme forhold. Dog kan man langt fra være sikker på at ionosfære- og troposfæreforhold er tilnærmelsesvis ens, men når der kun er en modtager til rådighed, er det nødt til at foregå på denne måde. Forsøg har dog vist, at især ionosfærens indflydelse på GPS observationer er stærkest i dagtimerne, og bl.a. derfor er forsøgene lagt i aften og nattetimerne. Dette gør, at resultaterne ikke kan direkte overføres til forhold under en typisk opmålingsdag, da der her vil være højere atmosfæreforstyrrelser. Resultaterne i dette projekt burde derfor give et billede af de bedst opnåelige nøjagtigheder

Det har været et ønske at tilrettelægge testen således, at det bliver muligt at undersøge observationslængdens indflydelse på nøjagtigheden. En standard positionsbestemmelse med

RTK er typisk målt over 5 sekunder med 1 epoke per sekund. Spørgsmålet har været, om der er væsentlige forbedringer at hente ved at forlænge målingen. Generelt kan man af fejllophobningsloven [11] udlede, at ved at fordoble antallet af målinger, forbedres spredningen på observationerne kun med en faktor  $\sqrt{2}$ . En dobbelt så god nøjagtighed kræver altså 4 gange så mange observationer. Derfor er det besluttet at lave observationer med 5, 10, 15 og 30 sekunders varighed med en epokerate på 1 Hz.

For at teste, hvordan nøjagtigheden af kontinuert data opfører sig, er det besluttet også at opsamle flere timers kontinuerte data. Disse udskiller sig fra ovenstående data ved, at positionsbestemmelsen kun er dannet på baggrund af 1 epoke. Man kan altså forvente, at spredningen på disse punkter er noget dårligere end denne type observationer.

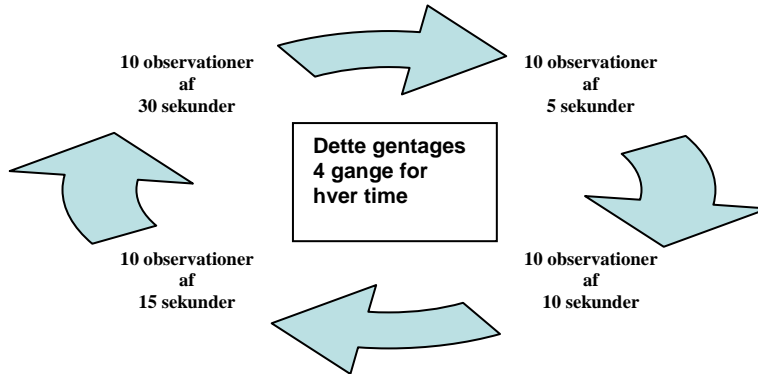
For at illustrerer opbygningen af testen af GPS-referencen er denne opsat på skemaform i Tabel 2-1. Tabellen dækker opmålingsproceduren for observationerne i et enkelt testpunkt. Her ses det, at der udføres både enkelstations og netværks RTK på begge dage. Dette er valgt for at sikre begge datatyper, hvis udstyr eller referencestationer skulle være ramt af tekniske problemer. Noget der skulle vise sig ikke at være helt unormalt.

Dag	Tid	Opmålingsart	Opmålingsstil
1	1. Time	Målinger i 5, 10, 15 og 30 sekunders intervaller	Enkelstation
1	2-3 time	Kontinuerte målinger med 1 sekunds intervaller	Enkelstation
1	4-5 time	Kontinuerte målinger med 1 sekunds intervaller	Netværksløsning
1	6. time	Målinger i 5, 10, 15 og 30 sekunders intervaller	Netværksløsning
2	1. time	Målinger i 5, 10, 15 og 30 sekunders intervaller	Netværksløsning
2	2-3 time	Kontinuerte målinger med 1 sekunds intervaller	Netværksløsning
2	4-5 time	Kontinuerte målinger med 1 sekunds intervaller	Enkelstation
2	6. time	Målinger i 5, 10, 15 og 30 sekunders intervaller	Enkelstation

**Tabel 2-1 Opmålingsprocedure for testen af GPS-referencen. Dækker både enkelstations- og netværks RTK.**

De målinger der blev foretaget i 5, 10, 15 og 30 sekunders intervaller var desuden underopdelt, således at de forskellige observationslængder var spredt ud over hele den periode, de blev målt i. Dette skulle medvirke til at observationerne for den enkelte time også er sammenlignelige, selv om de ikke er foretaget under helt identisk satellitkonstellation.

Fordelingen af dette kan ses på Figur 2-2.



**Figur 2-2 Rotationsprincip for testintervaller.**

Den endelige opmålingsplan kan ses i Tabel 2-2. Her kan man se, at punkt 14-08-00001 er genopmålt i opmåling "2aD". Dette skyldes store problemer med at få fase løsninger den i den planlagte opmålingssession. Man bør bemærke at start- og sluttidspunktet flyttes 3min 56sek frem hver dag. I Bilag 1 ses et eksempel på en detaljeret opmålingsplan, som blev brugt under målingerne.

Dag	Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Ugedag	Punkt	Opmåling
10-nov-04	21:00:00	3:00:00	Onsdag	2-07-00001	1A
11-nov-04	20:56:04	2:56:04	Torsdag	2-07-00001	2A
16-nov-04	20:36:24	2:36:24	Tirsdag	4-08-00001	1B
17-nov-04	20:32:28	2:32:28	Onsdag	4-08-00001	2B
21-nov-04	20:16:44	2:16:44	Søndag	14-08-00001	1D
24-nov-04	20:04:56	2:04:56	Onsdag	14-08-00001	2D
25-nov-04	20:01:00	2:01:00	Torsdag	3-07-00816	2C
30-nov-04	19:41:20	1:41:20	Tirsdag	14-08-00001	2aD
1-dec-04	19:37:24	1:37:24	Onsdag	3-07-00816	1C

**Tabel 2-2 Opmålingskalender for testen af GPS-referencen.**

### 2.2.3. Valg af kontrolpunkter til test af GPS-referencen

Der var kun ca. 1 måned til at få planlagt hvordan testen af Leicas netværksløsning samt enkeltstations RTK skulle foregå. Da undervisningen i GPS på DTU indtil testens start kun var foregået på udstyr fra Trimble, skulle der også bruges noget tid på at sætte sig ind i modtageren fra Leica. Det var vigtigt at undersøge, hvilke data det var muligt at logge under

testen, samt at finde en måde dette kunne eksekveres på, uden de store problemer i marken. Det blev besluttet at tiden var for knap til selv at etablere fikspunkter som kontrol for RTK testen, og i stedet for anvendtes allerede etablerede fikspunkter på Sjælland. KMS har et landsdækkende fikspunktsnet der er velegnet til GNSS målinger. Disse punkter ligger spredt over hele Danmark, og de er forsøgt anlagt således, at der er ca. 10 km mellem dem. Som regel består et punkt enten af et postament, gerne på en top eller gravhøj, eller også kan det være et jernspyd banket 1½ meter i jorden og beskyttet af et betonrør med låg. Det meste af nettet er målt op i 2001, og der er lavet en samlet udjævning over punkterne. Ifølge KMS har punkterne en middelfejl i planen på bedre end 0,005 meter og 0,010 meter i højden. Disse punkter blev derfor anset som velegnede til test af GPS-referencens RTK løsning. Information omkring 10-km punkterne kan findes online via KMS's Valdemar tjeneste.

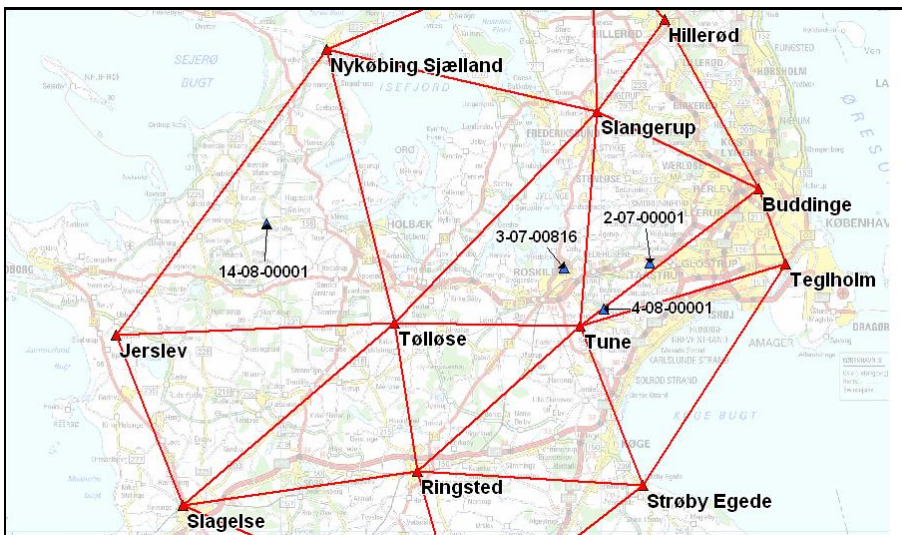
Da testen skulle prøve at afdække de afstandsafhængige fejl ved både enkeltstations og netværks RTK, var det vigtigt at vælge en serie testpunkter i stigende afstand fra nærmeste referencestation. På GPS-referencens hjemmeside er det muligt at se koordinaterne på samtlige 59 stationer, og stationerne på Sjælland blev lagt ind i et GIS. Ligeledes er 10-km punkterne fra KMS lagt ind i samme kort, og det var nu muligt at udvælge de punkter, der skulle indgå i testen ud fra kravet om en stigende afstand til nærmeste base. Figur 2-3 viser placeringen af GPS-referencens punkter sammen med KMS's 10-km punkter.



Figur 2-3 GPS-referencens stationer på sjælland markeret med rød. 10-km fikspunkter markeret med blå.

### 2.2.4. Fejl i udvælgelsen af testpunkter

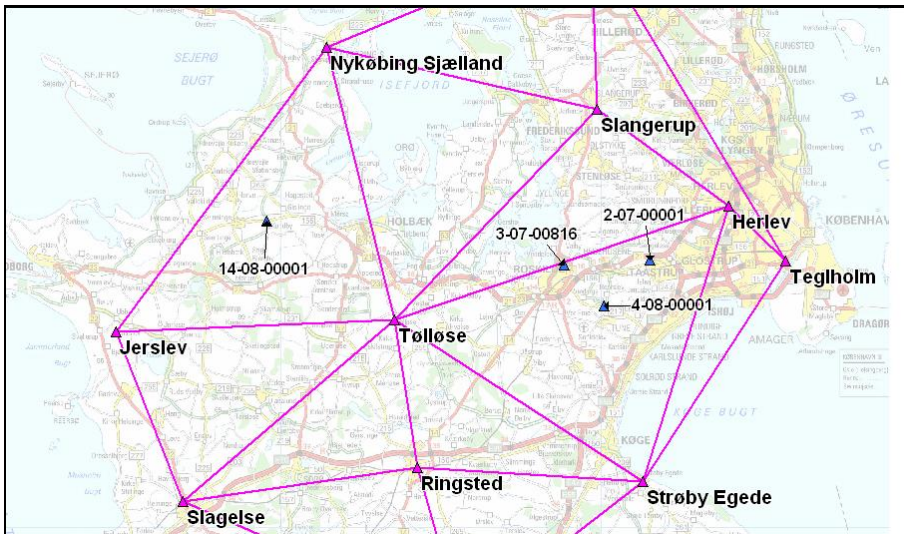
Umiddelbart når man ser på resultaterne og især afstanden til nærmeste base for FKP-testen, er det svært at forstå placeringen af testpunkterne. Dette skyldes, at der er sket en misforståelse i hvilke referencestationer, der har været en del af Leica's netværksløsning. I travlheden er det blevet overset, at det ikke var alle referencestationer på Sjælland, der også var med i netværksløsningen. Dette er et stort problem, når 75% af de valgte testpunkter har Tune som nærmeste base. På Figur 2-4 ses netværkskonfigurationen som den fejlagtigt blev fortolket. Her kan man se, at testpunkterne er valgt i en stigende afstand fra nærmeste base og at det for punkterne 4-08-00001, 3-07-00816 og 2-07-00001 er med Tune som nærmeste base.



**Figur 2-4** GPS-referencens netværksdel som den blev fejlfortolket. De fire testpunkter er markeret med blå.

Dette har ikke haft nogen indvirkning på testen af enkeltstations RTK, men først efter netværkstestperioden var udløbet den 1. december blev det klart, at Tune ikke indgik i netværksløsningen. Dette betød at netværket så helt anderledes ud. Det rigtige net under testperioden ses på Figur 2-5.





Figur 2-5 GPS-referencens netværkstest uden stationen i bl.a. Tune.

Her ses det, at de tre punkter omkring Tune, som var omhyggeligt planlagt til at ligge i jævnt stigende afstand fra nærmeste base, nu næsten ligger i samme afstand fra alle de omkringliggende referencestationer. Den præcise afstand til nærmeste base kan læses i Tabel 2-3.

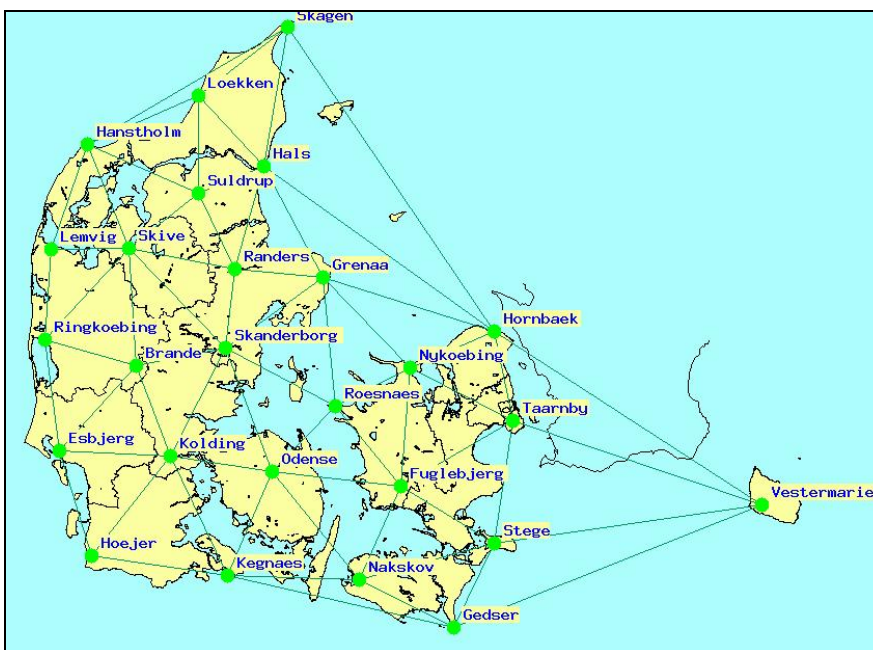
Punkt nr.	Nærmeste base	Afstand [km]	Nærmeste FKP base	Afstand [km]
4-08-00001	Tune	3,7	Herlev	20,1
3-07-00816	Tune	7,6	Slangerup	19,9
2-07-00001	Tune	11,8	Herlev	12,0
14-08-00001	Tølløse	20,2	Tølløse	20,2

Tabel 2-3 Afstande til nærmeste base for testpunkterne til testen af GPS-referencen.

Hvis Tune stationen havde været med i netværksdelen, så havde ”Nærmeste FKP base” været sammenfaldende med ”Nærmeste base”, og så ville afstandene have været støt stigende fra 3,7 km til 20,2 km. I stedet er der nu en FKP referencetest med en afstand på 12,0 km., og resten har en næsten identisk afstand på ca. 20 km. Dette gør det selvsagt svært at kunne se nogle tendenser ved andre afstande, og det er derfor svært at konkludere noget omkring størrelsen af den afstandsafhængige fejl for Leica’s netværks FKP løsning. En ærgerlig, men desværre uoprettelig fejl, da Leica’s netværkstest kun kørte til den 1. december 2004.

### 2.3. GPSNet

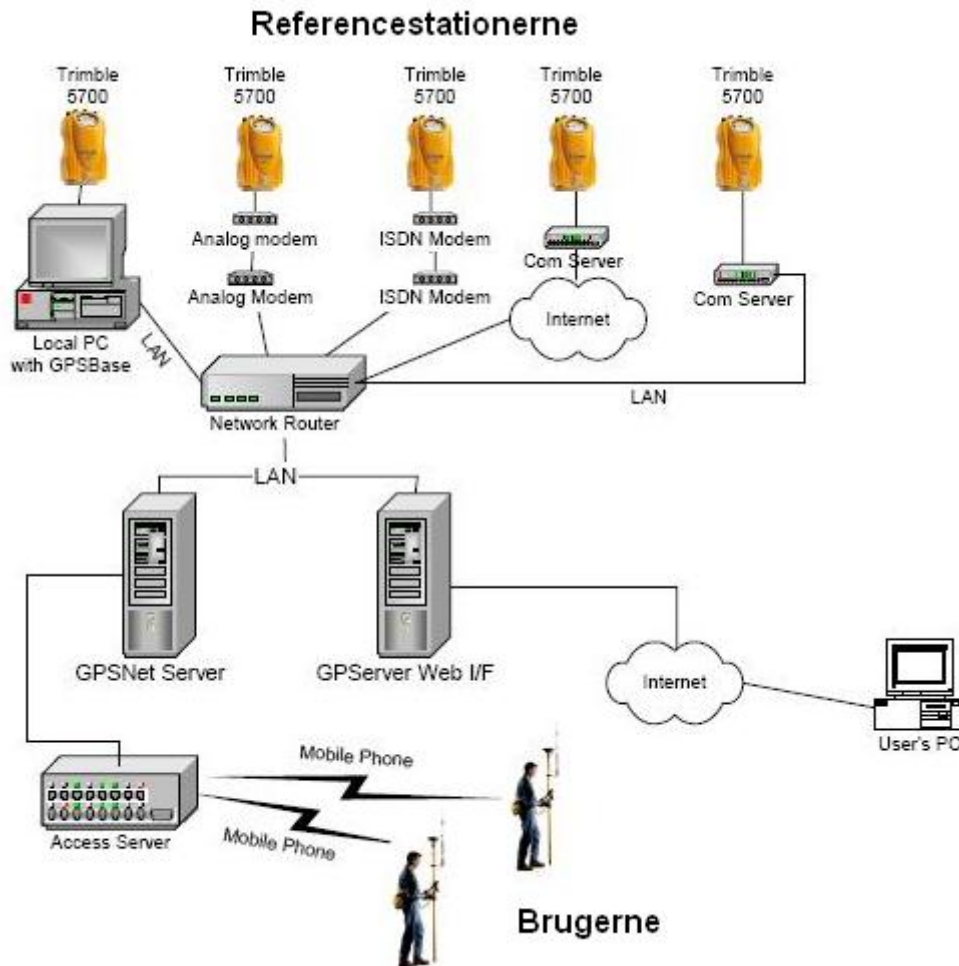
Danmark fik som det første land i verden et landsdækkende RTK netværk i foråret 2001 85. Det består af 26 permanente referencestationer, alle udstyret med 2-frekvente modtagere fra Trimble. Det er Trimble Center Danmark (GEOTEAM A/S fra 1. Januar 2006), der har stået for etableringen af nettet, og det har i dag brugere nok til at investeringen har kunne betale sig. I modsætning til GPS-referencen bliver Trimble's VRS teknologi brugt til at eliminere fejlbidragene i RTK observationerne. Placeringerne af referencestationerne kan ses på Figur 2-6. For at få adgang til Trimble Center Danmarks ydelser betaler man et årligt abonnement samt en afgift for antal minutter, man er koblet op på serveren via GSM modem. Det sidste nye er dataoverførsel via GPRS, hvor man betaler for størrelsen af datamængden, der downloades. Koblet med de sidste versioner af GPSNet, hvor brugeren kan nøjes med at downloade VRS data i de få øjeblikke, hvor der rent faktisk måles, er der her mange penge at spare. Dette er nævnt i Trimble Center Danmarks 7. Nyhedsbrev og kaldes "RTK on demand" ([www.trimblecenter.dk](http://www.trimblecenter.dk)).



Figur 2-6 Placeringen af referencestationerne i GPSNet ([www.everest.gpsnet.dk](http://www.everest.gpsnet.dk) 8/12-05).

Omdrejningspunktet i systemet er serverne i Trimble Center Danmarks lokaler i Herlev. Her samles konstant data fra de 26 referencestationer, så systemet hele tiden er i stand til at have et overblik over fordelingen af fejlbidrag i real time. For brugeren er der kun ét nummer at

ringe op til, hvorefter brugeren får adgang til VRS data til brug i opmålingsarbejdet. På Figur 2-7 ses et skematisk overblik over arbejdsgangen i Trimbles GPSNet.



Figur 2-7 Den tekniske konstruktion af GPSNet 85.

Udover at kunne levere RTK data over GSM modem til brugeren i marken, er det også muligt via hjemmesiden, [everest.gpsnet.dk](http://everest.gpsnet.dk), at hente data til efterprocessering. Det er ikke kun muligt at hente data, som rent fysisk stammer fra en af referencestationerne, men det er også muligt selv at bestemme positionen på en virtuel reference station og bede om data fra denne i et vilkårligt tidsinterval. Denne mulighed er rar at have i baghånden, hvis ens egen basisstation ikke har virket efter hensigten, da det derved er muligt, at erstatte den med en virtuel referencestation. Via hjemmesiden er det også muligt at downloade præcise efemerider, som kan bruges til at forbedre statiske efterprocesseringer. Der bliver også givet et bud på de aktuelle ionosfæreforhold, samt en fordeling af de ionosfæriske og geometriske restfejl i

netværket udtrykt ved en ppm værdi. Graferne mangler dog en signaturforklaring og har ikke nogen praktisk anvendelse for den almindelige bruger.

### 2.3.1. Opstilling af test procedurer for test af GPS-referencen

De data der ligger til grund for testen af Trimble's VRS løsning er lavet i september 2005. Altså næsten 10 måneder efter testen med Leica's udstyr. Grunden til at disse forsøg ikke blev lavet i samme periode, med forventelig nogenlunde samme satellitkonstellation, var ønsket om at lave testen med det nyeste hard- og soft-ware som Trimble kunne levere. Da Leica testen blev udført med deres nyeste udstyr, blev det besluttet at vente på at instituttet havde anskaffet sig tilsvarende udstyr fra Trimble. Testen er lavet med den nye R8 modtager fra Trimble, som kort vil blive gennemgået i afsnit 3.2.

For alligevel at have et rimeligt sammenligningsgrundlag, blev proceduren for Leica testen overført på testen af GPSNet. Da der her kun bliver målt RTK med netværksløsning, er opmålingsarbejdet dog ikke helt så stort. I Tabel 2-4 ses hvordan opmålingsdelen blev fordelt mellem kontinuerte og tidsintervalbestemte observationer.

Dag	Tid [timer]	Opmålingsart	Opmålingsstil
1	0,5	Faststatic 15 sek interval	Statisk
1	1,0	Afmålte intervaller 5sek, 10sek, 15 sek, 30 sek	Netværksløsning
1	2,0	Kontinuert måling 1 sek	Netværksløsning
1	1,0	Afmålte intervaller 5sek, 10sek, 15 sek, 30 sek	Netværksløsning
1	0,15	Faststatic 15 sek interval	Statisk

**Tabel 2-4 Proceduren for testen af GPSNet.**

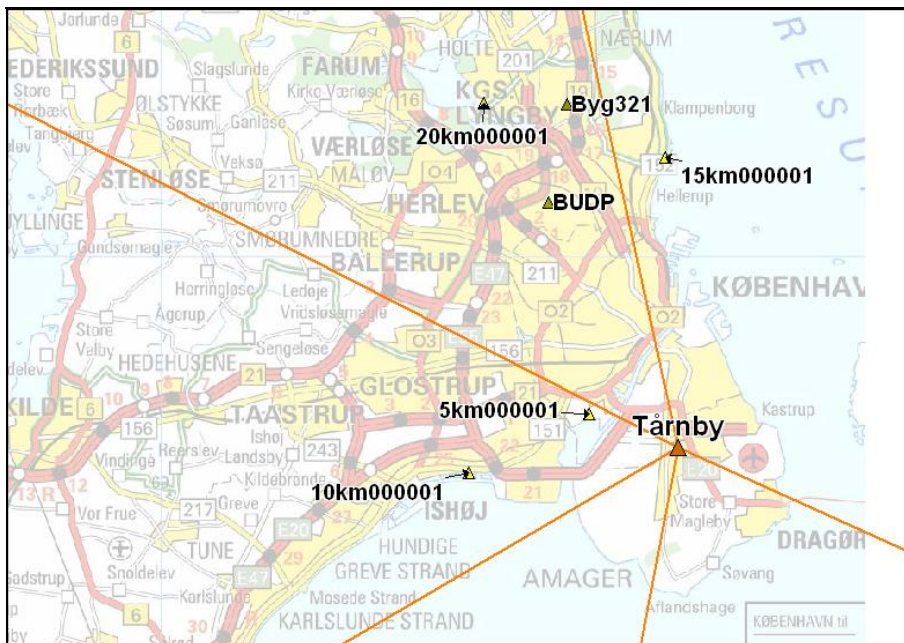
I forhold til testen på GPS-referencen er antallet af kontinuerte målinger halveret da det blev anset for at være en tilstrækkelig stor datamængde til analysen. Det ses også, at målingerne starter og slutter med statiske observationer. Dette skyldes, at der i denne test ikke blev anvendt allerede etablerede fikspunkter, men at antennens position i stedet blev bestemt i samme arbejdsgang. Grunden til at punkterne fra testen af GPS-referencen ikke kunne bruges, er, at der ikke måles til de samme referencestationer og fordelingen af testpunkter med stigende afstand til nærmeste referencestation derfor ikke ville kunne blive som ønsket. Testpunktet blev også kun besøgt en gang, men da koordinaterne til punktet blev bestemt med

en mere nøjagtig metode i samme opstilling, blev det ikke anset for nødvendigt at genmåle punktet. Derved var der heller ikke problemer med antennehøjderne, som ellers traditionelt er stor bidragsyder til unøjagtigheder i højdemålingen. Punkterne blev dog alligevel markeret i marken, så disse kunne genfindes, hvis det skulle vise sig nødvendigt. I Tabel 2-5 ses hvornår de enkelte observationerne i testen er udført.

Dag	Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Ugedag	Punkt
2-sep-05	20:00:00	1:00:00	Fredag	20km
3-sep-05	19:56:04	0:56:04	Lørdag	5km
4-sep-05	19:52:08	0:52:08	Søndag	10km
6-sep-05	19:44:16	0:44:16	Tirsdag	15km

**Tabel 2-5 Kalender for opmålingstidspunkter i testen af GPSNet.**

Da der ikke blev benyttet faste fikspunkter, var det mere frit at finde egnede testpunkterne til testen. Lige som ved testen af GPS-referencen blev der udvalgt 4 punkter ud i stigende afstand fra nærmeste referencestation. Det blev tilstræbt at afstandene skulle være ca. 5km, 10km, 15km og 20km. Placeringen af VRS testpunkterne kan ses på Figur 2-8.



**Figur 2-8 Placeringen af testpunkterne til testen af GPSNet. GPSNet's referencestation i Tårnby, samt referencestationerne i Buddinge og på DTU er også indtegnede.**

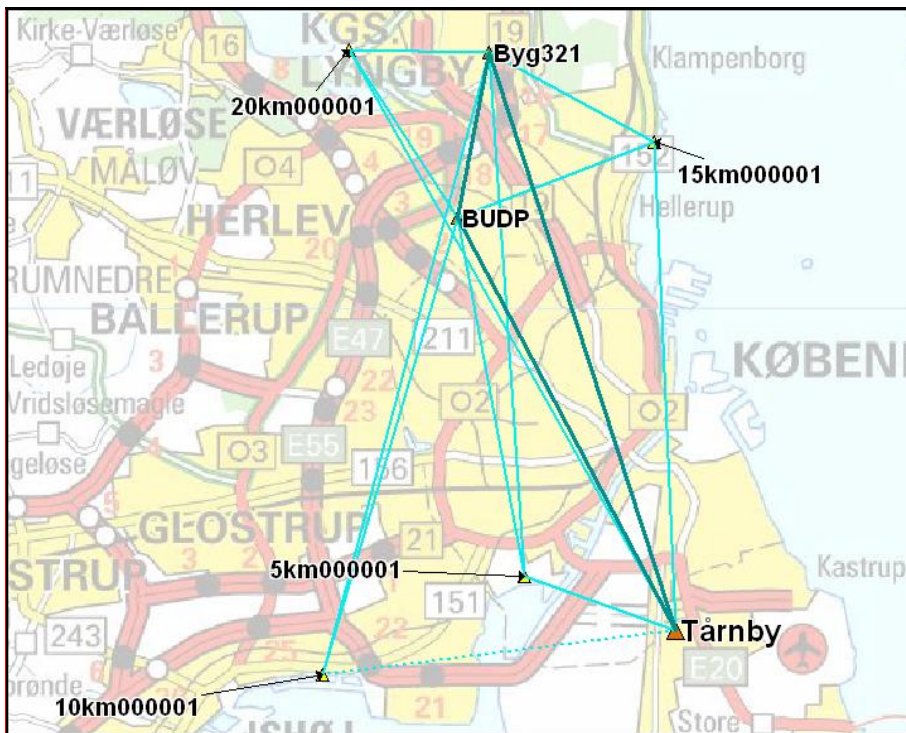
Punkternes placering er valgt således, at der har været fuldt udsyn til satellitterne fra minimum 10 grader over horisonten. Denne elevationsvinkel er også valgt i modtageren under målingerne. Den faktiske afstand til nærmeste RTK base kan ses i Tabel 2-6.

Punkt nr.	Afstand [km]	Nærmeste base
5km000001	4,9	Tårnby
10km000001	10,8	Tårnby
15km000001	14,9	Tårnby
20km000001	20,3	Tårnby

**Tabel 2-6 Afstand til nærmeste referencestation for testpunkterne af GPSNet.**

### **2.3.2. Bestemmelse af koordinater til VRS testpunkter**

Ovenstående testpunkter er blevet indmålt med statiske fasemålinger i samme session som de egentlige testmålinger. Da det er GPSNet der testes på, er det besluttet at hænge de statiske målinger op på GPSNet's referencestation i Tårnby. Derved skabes der sikkerhed for at der ikke sniger sig små offset værdier ind fra andre fikspunkter. Da nogle af testpunkterne befinder sig over 10 km fra Tårnby, er der også beregnet basislinier fra IMM's egen referencestation placeret i bygning 321 på DTU samt fra KMS's permanente referencestation i Buddinge. Denne station er med til at definere referencenettet i Europa og koordinaterne fra denne anses for at være af meget høj nøjagtighed. Trimble Center Danmark betaler desuden KMS for at kontrolregne deres referencenet løbende hver år, og man må derfor forvente, at koordinaterne for Buddinge og Tårnby hænger godt sammen. Dette har senere vist sig ikke af være tilfældet. De basislinier der ligger til grund for bestemmelsen af testpunktskoordinaterne til GPSNet testen kan ses på Figur 2-9.



**Figur 2-9** Beregnede basislinier til bestemmelse af koordinater til testpunkter i testen af GPSNet. Basislinier mellem Tårnby, BUDP og Byg321 er fra et separat datasæt og består af 20 timers filer fordelt over seks forskellige dage. Beregningen af basislinierne bygger på præcise efemerider. Data for basislinien mellem Tårnby og 10km000001 var fejlfyldt og er derfor ikke medtaget.

Oprindeligt blev det ikke vurderet nødvendigt at beregne basislinier mellem Tårnby og Buddinge. Det viste sig dog, at testpunkternes ellipsoidehøjder varierede kraftigt når det blev regnet fra henholdsvis Tårnby og Buddinge. Der var forskelle på 10-cm niveau. Derfor blev alle basislineberegningerne grundigt efterchecket. Dette gav dog ikke anledning til nogle forandring. Trimble Center Danmark kunne bekræfte, at koordinaterne på deres referencestationerne på deres hjemmeside var dem, de havde fået beregnet af KMS. Også KMS fik en forespørgsel på en verifikation af deres koordinater til referencestationen i Buddinge den 7/10-2005, men efter 2 måneder har de stadig ikke kommenteret sagen. Derfor blev det besluttet at genberegne Buddinge med Tårnby som base. Ligeledes blev også IMM's referencestation Byg321 genberegnet som skitseret i Figur 2-9. Resultatet er gengivet i Tabel 2-7.

Name	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Height [m]	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]
5km000001	6168821,441	344163,660	38,941	0,002	0,002	0,004	0,003
10km000001	6166356,923	337775,216	37,932	0,004	0,003	0,007	0,005
15km000001	6181644,693	349229,239	38,064	0,004	0,003	0,007	0,005
20km000001	6185233,771	340203,339	79,610	0,003	0,002	0,005	0,004
BUDP	6179864,152	343050,837	93,929	0,001	0,000	0,002	0,001
Byg321	6184792,119	344459,037	92,264	0,001	0,000	0,003	0,001
Taarnby	6166761,523	348606,949	47,971	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabel 2-7 Resultat af den samlede udjævning af VRS testpunkterne. Kun Tårnby er holdt fast i udjævningen. Koordinaterne vises i Euref89UTM33.**

### 2.3.3. Problemer med KMS's permanente referencestation i Buddinge

Hvis man sammenligner koordinaterne for Buddinge med dem, KMS opgiver i deres fikspunktsdatabase Valdemar samt i dataspecifikationerne på IGS's hjemmeside (se: [ftp://igs.ifag.de/EUREF/station/budp\\_20050901.log](ftp://igs.ifag.de/EUREF/station/budp_20050901.log)), er der stor uoverensstemmelse på højden. Dette ses i Tabel 2-8.

Punkt	Northing [m]	Easting [m]	Height [m]	Height <sub>DNN</sub>	Height <sub>DVR90</sub>
BUDP, GPSNet	6179864,152	343050,837	93,929		
BUDP, Valdemar	6179864,141	343050,834	94,015		
BUDP, IGS	6179864,142	343050,837	("57,891")	93,947	94,013

**Tabel 2-8 Sammenligning af koordinater for Buddinge. Koordinaterne er i Euref89UTM33.**

Koordinaterne fra IGS er fra 22/08-2002, og grunden til at højden er vist i parentes er, at den er angivet som Mean Sea Level, men der er ikke oplyst hvilken geoide der er brugt. KMS indførte den nye DVR90 geoide den 27/05-2002 som erstatning for den gamle geoide, DNN. Umiddelbart ser KMS's højder ud til at passe overens hvis DVR90 geoiden har været brugt, men på dataspecifikationerne på IGS's hjemmeside ligger ældre koordinater for referencestationen i Buddinge. Disse ses i Tabel 2-9.



Dato	MSLHeight [m]
03/03-1999	57,890
24/06-2001	57,893
22/08-2002	57,891

**Tabel 2-9 Højden over middelvandstand som opgivet på IGS's hjemmeside.**

Her ses det, at højden for Buddinge ikke har ændret sig markant med tiden, og der er derfor ikke noget, der giver anledning til, at tro, at koordinaterne har skiftet geoidegrundlag i perioden fra 1999 til 2002. Dette giver grund til at tro, at højderne på IGS's hjemmeside er defineret ved hjælp af DNN. Forskellen i ellipsoidehøjde for Buddinge referencestationen mellem GPSNet løsningen og de andre højdeangivelser ses i Tabel 2-10.

Difference mellem	BUDP, GPSNet
BUDP, Valdemar	0,086 m
BUDP, IGS DNN	0,018 m
BUDP, IGS DVR90	0,084 m

**Tabel 2-10 Højdeforskelle i Buddinge beregnet i forhold til GPSNet's referencestation i Tårnby.**

Dette giver tre mulige fejlscenarier:

- KMS anvender DNN på dataspecifikationerne på IGS's hjemmeside. Dette betyder at KMS har en uoverensstemmelse i højden på deres koordinater på referencestationen i Budding mellem henholdsvis Valdemar og IGS data. Buddinge og Tårnby passer indbyrdes med 18 mm difference i højden.
- KMS anvender DVR90 på dataspecifikationerne på IGS's hjemmeside. Det betyder der er en uoverensstemmelse mellem højden i Buddinge og Tårnby. KMS har lavet en regnefejl i beregningen af koordinaterne til GPSNets referencestationer.
- KMS anvender DVR90 på dataspecifikationerne på IGS's hjemmeside. Trimble Center Danmark har fået korrekte koordinater af KMS, men har gengivet dem forkert på deres hjemmeside.

Da Trimble Center Danmark gentagende gange har verificeret de koordinater, der står på deres hjemmeside, anses det for sandsynligt, at KMS har begået en fejl. Hvis fejlen ligger i

scenarie 1, så er det en intern fejl, hvor KMS ikke er konsekvent med at oplyse ensartede data afhængigt af, hvor man henter data. I dette tilfælde står KMS kun til regnskab over for sig selv. Hvis fejlen til gengæld ligger i scenarie 2, så er det meget mere alvorligt. Så betyder det, at Trimble Center Danmarks referencenet (i Tårnby stationen) er udstyret med fejlbehæftede koordinater i højden, og at målinger foretaget med GPSNet ikke vil passe sammen med KMS's fikspunkter. Dette vil have berørt alle brugere af GPSNet de sidste mange år. Når brugerne ikke har henvendt sig med dette problem kan det skyldes, at højdemålinger med RTK ikke er så nøjagtige, og at brugerne derfor har overset fejlen, der vil være af størrelseorden 6-8 cm.

Ovenstående analyse bygger på den antennekonfiguration der ses i Tabel 2-11.

	<b>From</b>	<b>To</b>
<b>Point Name:</b>	Taarnby	BUDP
<b>Receiver Type:</b>	4700	Micro Z
<b>Antenna type:</b>	Micro-centered L1/L2 Permanent	Ashtech D/M Choke, Rev B, GPS-Glonass
<b>Measured To:</b>	Bottom of antenna mount	Bottom of antenna mount
<b>Antennaheight:</b>	<b>Measured</b> 0,000m	0,000m
	<b>APC</b> 0,067m	0,110m
<b>Antenna Model:</b>	Trimble	Trimble

Tabel 2-11 Antennedefinitioner som analysen af højden i Buddinge bygger på.

### 3. Udstyr

Det følgende afsnit vil kort beskrive der hard- og software der er anvendt til testen. Afsnittet vil også give en kort oversigt over de data der har kunne trækkes ud af udstyret.

#### *3.1. Leica – GX1200*

Leica stillede følgende udstyr til rådighed til testen af deres netværksløsning.

- Leica GPS1200 GX1230
- Controller med Touchscreen
- CF memory kort, 32Mb
- PC-Card, CF reader
- Antenne AX1202
- GSM modul
- Leica Geo Office, LGO
- Antennestok, 2meter
- Fodstykke
- Overgangsstykke, fodstykke-antenne
- Antennehøjdemåler
- Batterilader
- Mammut, Leica rygsæk
- Div. Kabler

I Tabel 3-1 ses udvalgte tekniske specifikationer for ovenstående modtager. Dette stammer fra Leica's brochure [9].

Metode/RTK	Plan RMS	Vertikal RMS
Rapid static (phase)		
Static mode after initialization	5 mm + 0,5 ppm	10 mm + 0,5 ppm
Kinematic (phase)		
Moving mode after initialization	10 mm + 1 ppm	20 mm + 1 ppm

**Tabel 3-1 Udvalgte tekniske specifikationer for Leica GX1230 modtager.**

Data fra testen er overført til PC via CF-kortet som data bliver lagret på. Hertil benyttes det medfølgende software Leica Geo Office, LGO. Til hver RTK observation foretaget med modtageren, er der tilknyttet en lang række information ud over selve positionen. I dette projekt er et udvalg af disse informationer inddraget i det endelige datasæt. I Bilag 2 findes en oversigt over disse.

Dertil er der beregnet nogle ekstra attributter og disse er listet op her nedenfor.

- Diff. E [m]
- Diff. N [m]
- Diff. Hgt. [m]
- Diff. Plan [m]
- Diff. 3-D [m]

Fælles for dem alle er, at de er beregnet efter følgende formel:

$$Diff_{E,N,Hgt.,Plan,3-D} = Koordinat_{m\ddot{a}lt,RTK} - Koordinat_{opgivet,KMS} \quad (3.1)$$

Dette har været nødvendigt, da databehandlingen er foretaget i Microsoft Excel, og det har vist sig, at programmet ikke regner præcist, når standard afvigelsen skal bestemmes af store datasæt indeholdende store tal. Her har koordinater med 10 betydende cifre vist sig for store. Dette gælder også for data fra VRS testen.

I Bilag 3 findes den praktiske arbejdsgang ved testen med Leica udstyr.

### 3.2. *Trimble R8*

Instituttet investerede selv i en Trimble R8 modtager i sommeren 2005. Det samlede sæt bestod af følgende:

- Trimble R8 GPS modtager med indbygget antenne
- Trimble CU controller med touchscreen
- Radiomodul indbygget i Trimble R8
- GSM mobiltelefon med bluetooth
- Batterier til CU og R8
- Batteriladestation
- Antenne
- Dockingstation til CU'en
- Antennestok, kulfiber 2 meter
- Div. kabler
- Pelican case, kuffert til transport

I de tekniske specifikationer [15] er følgende nøjagtigheder for R8 modtageren angivet. Disse ses i Tabel 3-2.

Metode/RTK	Plan RMS	Vertikal RMS
Kinematic surveying	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$	$\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

**Tabel 3-2 Udvalgte tekniske specifikationer for Trimble's R8 modtager.**

Data er under VRS testen gemt på Trimble CU'en og overført til PC ved testens afslutning via den medfølgende docking station. Data er importeret direkte ind i Trimble Geomatics Office, TGO, som er det program der er benyttet til alt data vedrørende Trimble GPS data. For at få data overført til Excel var det nødvendigt selv at definere et eksport format, da TGO ikke havde noget standard format indeholdende information svarende til det output, der kom fra Leicas udstyr. I Bilag 4 ses den information der kunne trækkes ud af TGO, og som er indeholdt i data til analysedelen.

Ligesom ved Leica testen har det været nødvendigt at tilføje kolonner med differencen mellem målt RTK værdi og statisk værdi for Northing, Easting, Height, Plan og 3-D. Ud over det, har det været nødvendigt at tilføje en kolonne med "Point Subclass" svarende til den, der er i Leica's datasæt. Leica benytter denne attribut til at fortælle om positionen er en fase eller kode løsning. Denne funktion findes ikke i Trimble's udstyr og derfor har det været nødvendigt at vurdere alle resultaterne i VRS datasættet. Dette er gjort ved for hvert enkelt observation at undersøge, om den horisontale nøjagtighed er under 0,85 meter. Det har vist sig at der kun er et punkt, der ikke klarer dette krav, og det er derfor vurderet som en kodeløsning.

Der er også tilføjet en kolonne med tidsforbruget på den enkelte observation, kaldet "Duration" lige som i Leica's datasæt. Dette er helt simpelt sket ved at beregne differencen mellem start- og sluttid.

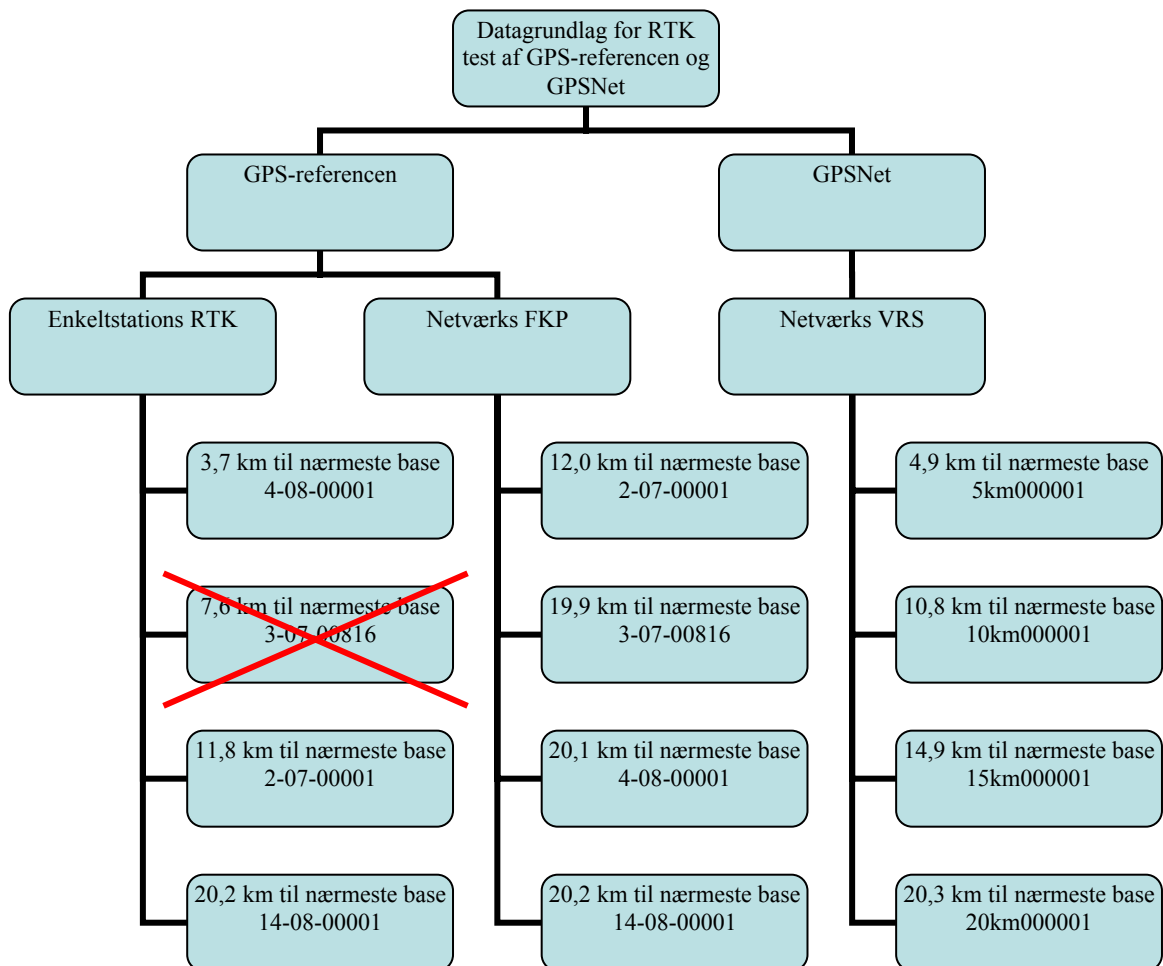
I Bilag 5 findes proceduren for selve det praktiske opmålingsarbejde i VRS testen.

## 4. Analyse af testresultater

Følgende afsnit analyserer resultaterne af de tests der er udført i forbindelse med dette projekt.

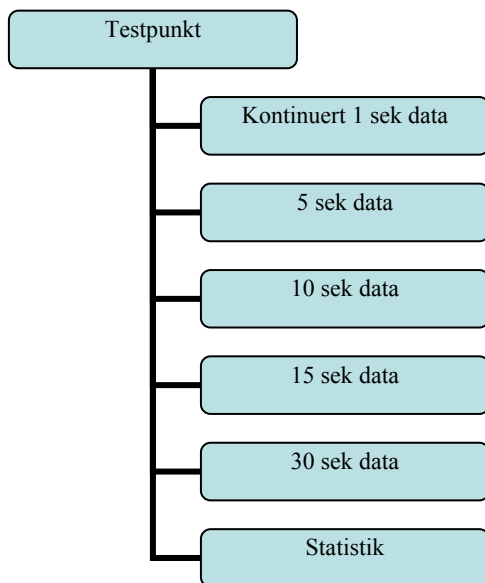
### 4.1. Datastruktur

Datamængderne er store og for at skabe overblik over de forskellige datasæt er det blevet arrangeret som vist i Figur 4-1.



**Figur 4-1** Skematisk oversigt over datasæt fra den samlede RTK test. Datasættet med kryds over er ikke tilgængeligt, da Tune referencestationen var meget ustabil i testperioden.

Dette giver tilsammen 11 datasæt til grundlag for analysen. De 11 datasæt er yderligere blevet arrangeret for at få endnu større oversigt over de enkelte testpunkter. Denne opdeling kan ses på Figur 4-2.



Figur 4-2 Opdeling af data for et enkelt testpunkt.

Det er ud fra denne opdeling af data, at de efterfølgende dataanalyser er foretaget. Fra Bilag 6 til Bilag 16 findes statistikken for alle 11 dataset. Hele datasættet inkl. statistik er samlet på den vedlagte CD.

#### 4.1.1. Statistiske beregningsdefinitioner

Grundlaget for beregningerne i statistikdelen bygger på velkendte formler der er gengivet herunder:

$$\text{Middelværdi: } \bar{x} = \frac{\sum obs}{n_{obs}} \quad (4.1)$$

$$\text{Spredning, Sigma: } \sigma = \frac{\sum (obs - \bar{x})^2}{n_{obs} - 1} \quad (4.2)$$

$$\text{RMS: } RMS = \frac{\sum (obs - sand)^2}{n_{obs}} \quad (4.3)$$

$$\text{Plan afstand: } Plan = \sqrt{(N_{obs} - N_{sand})^2 + (E_{obs} - E_{sand})^2} \quad (4.4)$$



3-D afstand: 
$$3-D = \sqrt{(N_{obs} - N_{sand})^2 + (E_{obs} - E_{sand})^2 + (H_{obs} - H_{sand})^2} \quad (4.5)$$

Observationerne fra de overordnede 11 datasæt er brugt til at belyse følgende problemstillinger:

- Nøjagtighed som funktion af afstand til nærmeste base.
- Nøjagtighed som funktion af antal epoker i løsning.
- Leica: Single vs. Netværk.
- Leica FKP vs. Trimble VRS.
- Pålidelighed, %-vis succesfuld fase-løsning.
- Leicas manglende evne til at udnytte samtlige satellitter.
- Analyse af modtagers bud på nøjagtighed vs. faktisk precision.
- Analyse af antal nødvendige epoker for given nøjagtighed.

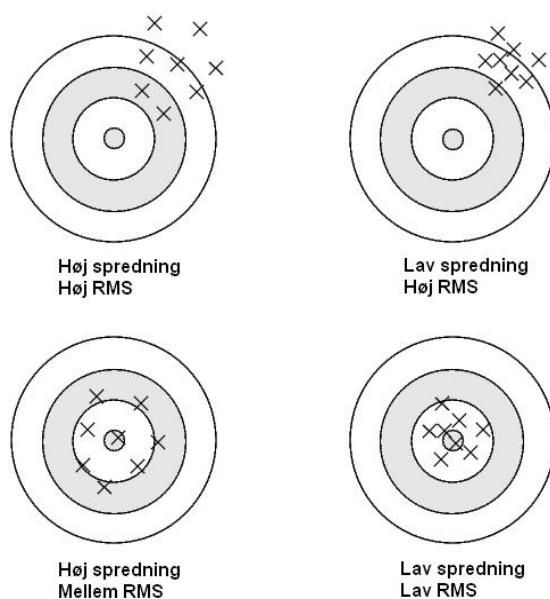
Ovenstående analyser vil blive afsluttet med en delkonklusion og til sidst vil rapporten prøve at give en samlet konklusion på testen med RTK målinger.

### 4.2. Nøjagtighed som funktion af afstand til nærmeste base

Som nævnt i teori afsnittet er det velkendt at RTK målinger, udover en grundfejl, også er behæftet med en afstandsafhængig fejl. Som slutbruger er det mest interessant at kende grundfejlen og den afstandsafhængige fejl i planen og højden. At kende fejlene på northing og easting koordinaterne har ingen praktisk anvendelse i daglige opmålingsopgaver.

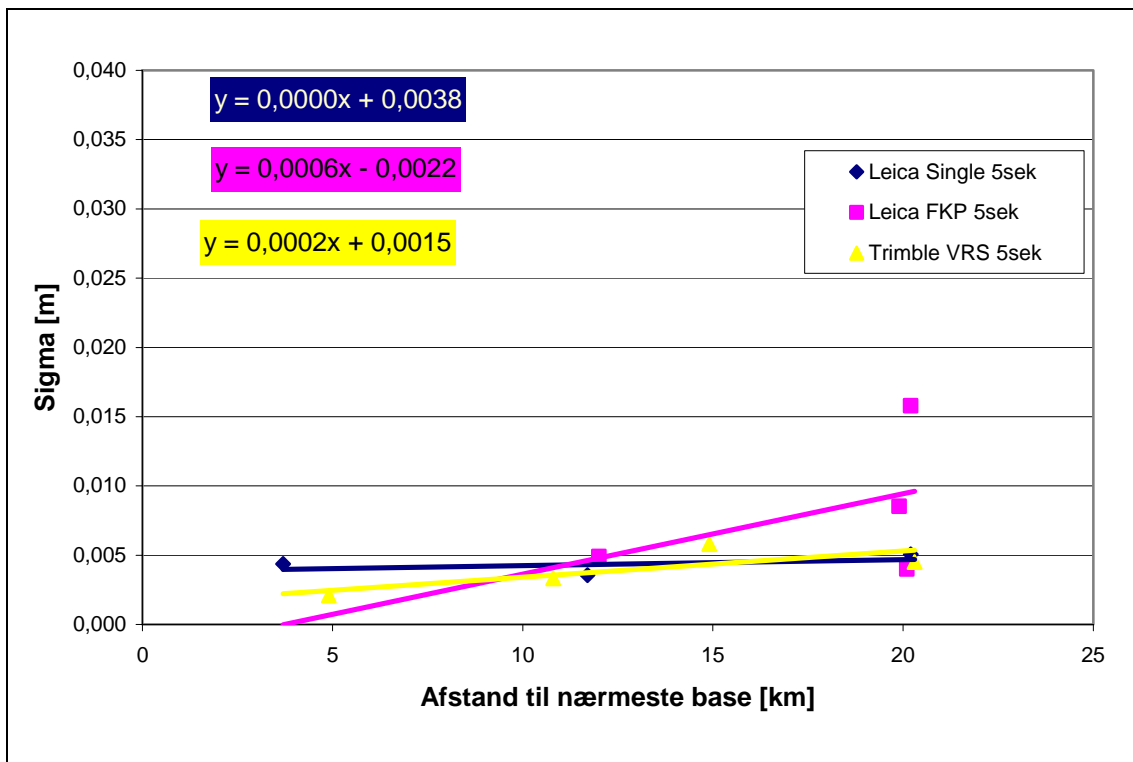
Der er to måder at bestemme nøjagtigheden på observationerne. Den kan bestemmes relativt til middelværdien eller den kan bestemmes absolut i forhold til en kendt, sand værdi. I denne rapport er nøjagtigheden omkring middel bestemt ved spredningen, kaldes Sigma, og den absolutte nøjagtighed er benævnt RMS (Root Mean Square).

For slutbrugeren kommer det an på tolerancerne på det givne projekt, hvilken angivelse af nøjagtigheden der er relevant at se på. Hvis der er tale om et lokalt projekt, hvor der ikke er noget krav om at knytte observationerne til et overordnet fikspunktsnet, så er det tilstrækkeligt at angive nøjagtigheden angivet ved spredningen. Hvis projektet derimod har store krav til at målingerne skal passe ind i et eksisterende referencenets rammer, så er det relevant at se på RMS. Forskellen mellem spredning og RMS er skitseret på Figur 4-3.

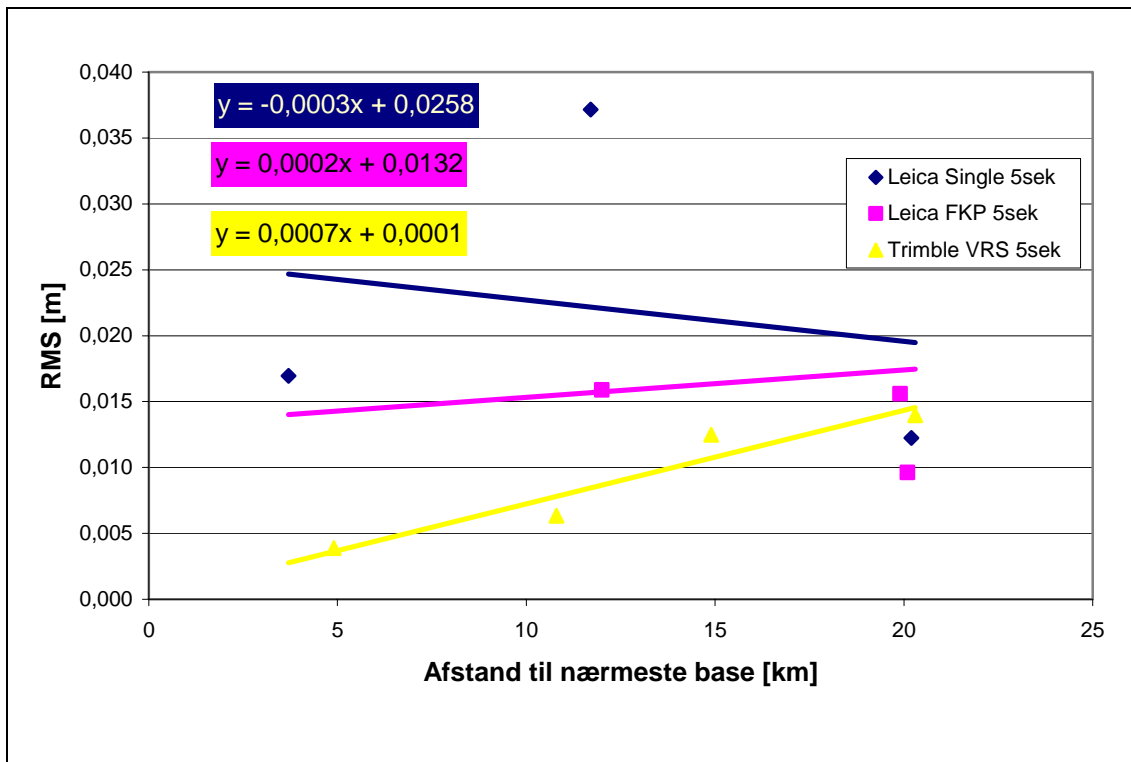


Figur 4-3 Forskellen på spredning og RMS.

For at bestemme den grundfejlen og den afstandsafhængige fejl ved en given opmålingsmetode er spredningen og RMS afbilledet som en funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Nedenstående grafer som er baseret på 5 sekunds data er afbilledet i Figur 4-4 og Figur 4-1. Graferne for de andre observationsintervaller følger stort set samme tendens.



Figur 4-4 Spredning i planen for 5sek data som funktion af afstanden til nærmeste referencestation.



Figur 4-5 RMS i planen som funktion af afstanden til nærmeste referencestation.

Ved at antage, at den afstandsafhængige fejl er lineær, er de tre datasæt blevet interpoleret til en ret linie. Hældningskoefficienten af denne er lig den afstandsafhængige fejl for den givne opmålingsmetode, mens skæringen med Y-aksen angiver grundfejlen ved  $1 \cdot \text{Sigma}$ . Data for Leica's FKP løsning er ikke specielt egnet til lineær interpolation, da punkterne ikke er spredt over mere end to afstande til nærmeste referencestation. Grunden til dette er givet i afsnit 2.2.4. Dette gør det svært at sige noget om den afstandsafhængige fejl for FKP løsningerne. Dette er ærgerligt, da det netop var en af hovedproblemstillingerne i testen. Data med Leica's enkeltstations RTK og Trimble's VRS løsning dækker derimod hele det afstandsinterval det er muligt at nå på Sjælland. I Tabel 4-1 er opstillet resultaterne af den lineære interpolation.

	Grundfejl [mm]		Afstandsafhængig fejl [ppm]	
	Spredning	RMS	Spredning	RMS
Leica, enkeltstation	3,8	25,8	0	-0,3
Leica FKP	(-2,2)	13,2	0,6	0,2
Trimble VRS	1,5	0,1	0,2	0,7

Tabel 4-1 Grundfejl og afstandsafhængig fejl ved forskellige RTK metoder. Resultatet er angivet som  $1 \cdot \text{sigma}$ .

Ifølge tilgængelig litteratur vises det, at den afstandsafhængige fejl er større for enkeltstations RTK end for en tilsvarende netværksløsning, se bl.a. [3]. I dette tilfælde ser det ud til at være omvendt, da Leica's enkeltstations RTK har en mindre afstandsafhængig fejl end VRS løsningen. Interpolationen af FKP løsningen regnes ikke for værende repræsentativ for en netværksløsning med FKP korrektioner, da testpunkterne ikke er fordelt jævnlige over afstandsintervallet. Brian Hansen fra Leica Geosystems har fået forlagt resultaterne for spredningen i planen og højden med det usædvanlige forløb af deres enkeltstationsløsning, og kunne fortælle, at Leica selvfølgelig har taget mange tiltag for at forbedre nøjagtigheden af RTK løsninger, både på hard- og software siden. Dette er dog ikke ensbetydende med at de har opnået en negativ afstandsafhængig fejl. Det hæmmer også analysen med enkeltstationsdata, at det ikke lykkedes at få data mellem referencestationen i Tune og punkt 3-07-00816 med en afstand på 7,6 km. Med kun tre afstandsintervaller, som dog indeholder mange datapunkter, er der stor sandsynlighed for, at de gode resultater med en afstandsafhængig fejl på 0 eller derunder for enkeltstations RTK er en tilfældighed og at det kræver yderligere data for at be- eller afkræfte dette.

En anden tendens mellem observationerne er forskellen mellem spredning og RMS. Ifølge Figur 4-3 kan ses det, at RMS altid vil være lig med eller større end spredningen. Dette svarer godt overens med de opnåede resultater. Der er især forskel på data optaget med enkeltstations RTK i punktet der er 11,7 km fra nærmeste referencestation. Dette er punkt 2-07-00001 og svarer til det punkt der er 12,0 km fra nærmeste referencestation i netværksløsningen. Spredningen på punktet er 9 mm og RMS er 37 mm. RMS indeholder unøjagtigheder fra centrering samt i de "sande" koordinater for referencestationen og testfikspunktet, hvilket kan være årsagen til det store udslag. Forholdene ved punkt 2-07-00001 har optimale forhold for modtagelse af satellitsignaler, så afvigelsen burde ikke skyldes multipath.

Trimble's VRS løsning viser derimod forventede resultater, som er sammenlignelig med tidligere undersøgelser. Grundfejlen er noget bedre, men den afstandsafhængige fejl stemmer godt overens med 0,4 ppm mod 0,3 ppm i [17] ( $1,96 \cdot \text{Sigma}$ ). I specifikationerne for R8 modtageren [15] angives den afstandsafhængige fejl for RTK til værende 1 ppm. Da der ikke angives nogen note om med hvilken metode dette resultat er opnået, antages det for

sandsynligt, at være ved enkeltstations RTK. Altså noget bedre, men der er også tale om en netværksløsning.

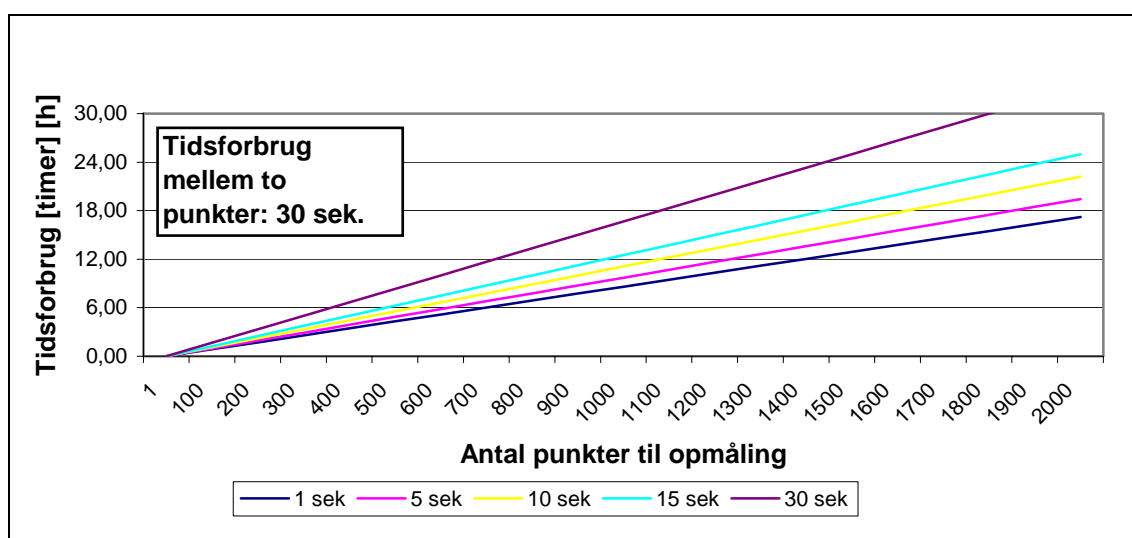
#### **4.2.1. Delkonklusion**

Det har ikke været muligt at påvise realistiske afstandsafhængige fejl for data lavet med Leica udstyr. For enkeltstations RTK er den afstandsafhængige fejl 0 eller ligefrem negativ. Dette er ikke påvist i andre undersøgelser. Da observationerne for de forskellige afstande er foretaget med næsten identisk satellitkonstellation er det muligt at resultatet skyldes lokale differencer i atmosfæreforholdene. Netværksløsningens testpunkter er, grundet misforståelse i hvilke referencestationer der er med i netværksløsningen, for lidt spredt over hele afstandsintervallet fra 5-20 km til at kunne udtale sig om den afstandsafhængige fejl.

Trimble's VRS løsning følger de resultater, der er vist i andre forsøg. Punkterne ligger også tilnærmelsesvis på en ret linie, og det er derfor logisk at antage, at den afstandsafhængige fejl ved Trimble's VRS løsninger fordeler sig lineært.

### 4.3. Nøjagtighed som funktion af antal epoker i løsning

Allerede i den tidlige fase af projektet var der en interesse i at undersøge nøjagtigheden som funktion af observationstiden. For slutbrugeren af et RTK system er der stor interesse for at kende den nødvendige observationstid for at opnå en given nøjagtighed. Hvis der kun skal indmåles få punkter gør det ikke så meget om hvert punkt tager 5 eller 30 sekunder, men hvis man i løbet af et projekt skal indmåle flere tusinde punkter, så er der ikke nogen grund til at måle hvert punkt i 30 sekunder, hvis det ikke giver nogen forbedring af nøjagtigheden. På Figur 4-3 er det forsøgt at estimerer tidsforbruget ved opmålingsarbejder af forskellig størrelse og ved forskellig tidsforbrug per opmåling.



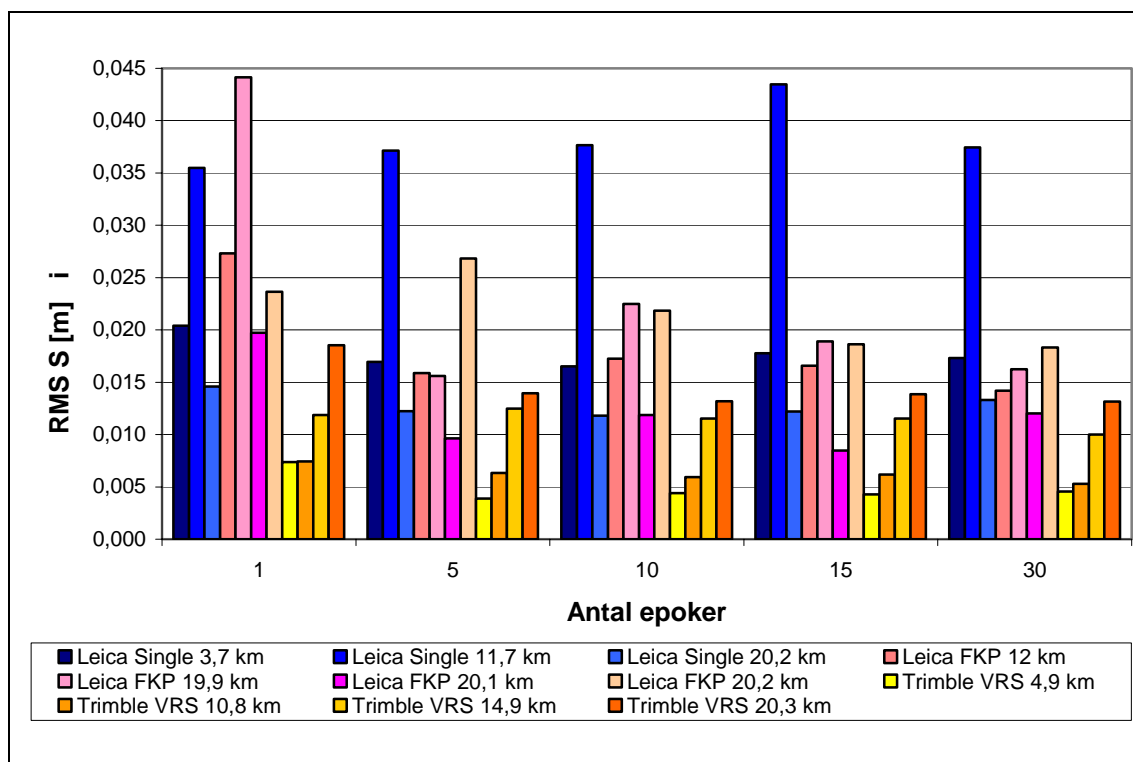
Figur 4-6 Simulering af tidsforbrug ved forskelligt tidsforbrug per observation.

Her ses, at det er muligt at opmåle ca. dobbelt så mange punkter ved at måle i 5 sekunders intervaller som ved 30 sekunders intervaller på en effektiv måledag på 6 timer. Det betyder der er store penge at spare, hvis den benyttede RTK metode er tilstrækkelig nøjagtig ved måling i 5 sekunders intervaller.

Som nævnt i teori afsnittet, så er forholdet mellem spredningen og antallet af observationer lig kvadratet på antallet af observationer. I teorien betyder det, at en RTK position bestemt ved 5 epoker har dobbelt så stor spredning som hvis den var bestemt med 20 epoker. Det er denne

sammenhæng, der er undersøgt nærmere ved, at alle RTK testene er foretaget ved forskellige antal epoker i løsningen af positionen.

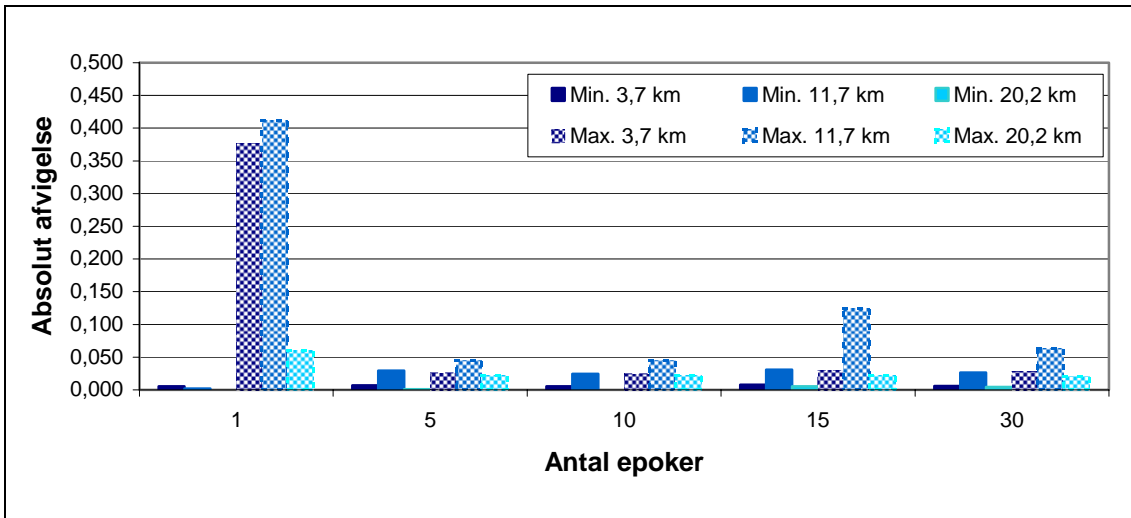
Resultatet af testen for både Leica og Trimble udstyr er samlet i Figur 4-7. Her ses RMS i planen for alle testpunkterne i den samlede test. Resultatet for RMS i højden, samt spredningen i planen og højden viser samme tendens som i Figur 4-7.



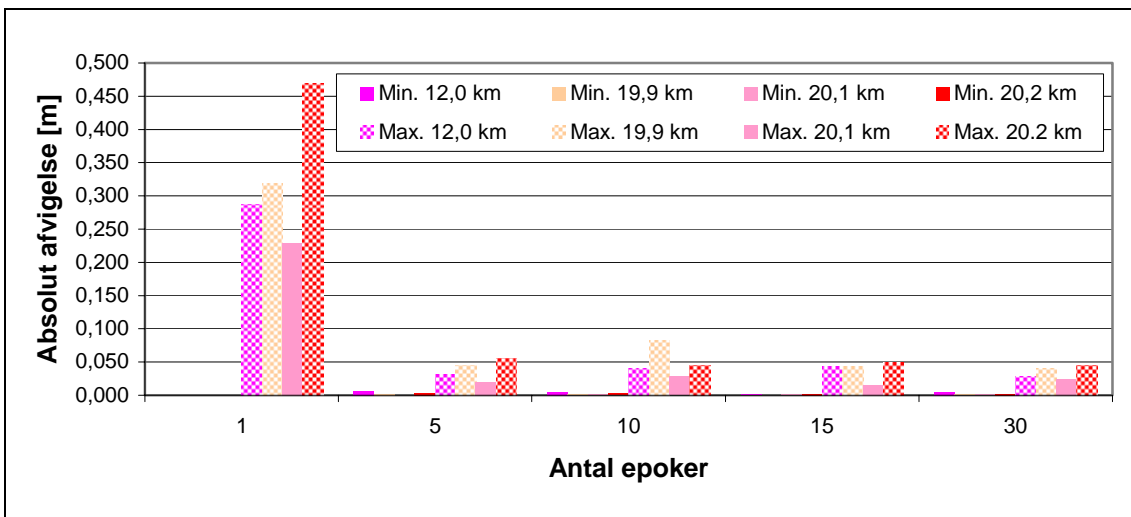
Figur 4-7 Plan RMS som funktion af antal epoker i løsningen. Samtlige 11 testpunkter er repræsenteret.

Et hurtigt blik på Figur 4-7 giver ikke meget håb for forbedringer af nøjagtigheden ved at måle flere epoker til samme punkt. I analysen skal det dog bemærkes, at data lavet på baggrund af en epoke består af mange flere observationer, og at RMS derfor er bestemt på et bedre statistisk grundlag. For at få et bedre billede af hvordan nøjagtigheden af en given position forandre sig som funktion af observationslængde er det relevant at se på de maksimale afvigelser i de enkelte datasæt. Dette er forsøgt illustreret i Figur 4-8 til Figur 4-10.

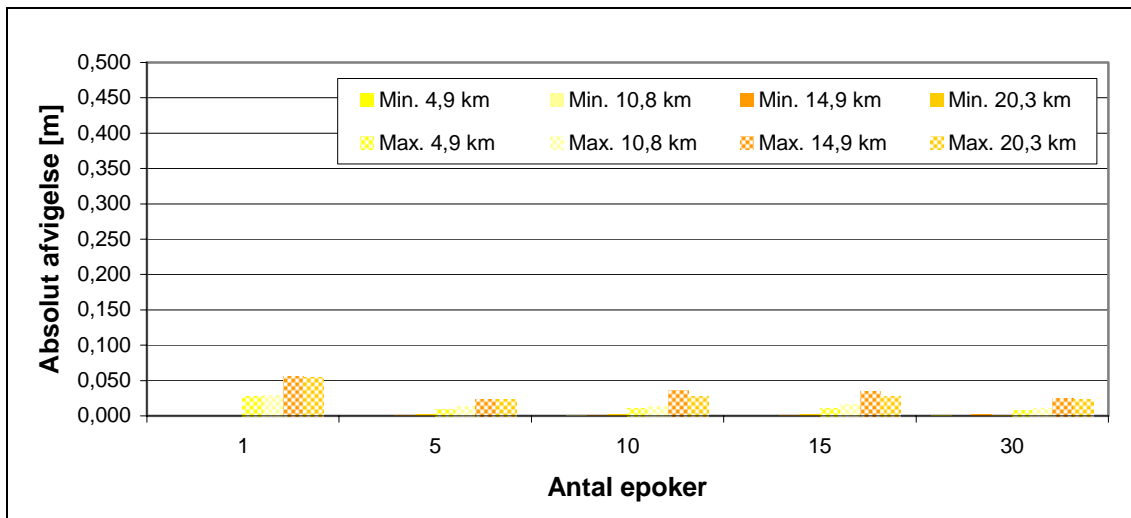




Figur 4-8 Min/Max Plan afvigelse for Leica enkeltstations RTK.



Figur 4-9 Min/Max plan afvigelse for Leica FKP RTK.



**Figur 4-10 Min/Max plan afvigelse for Trimble VRS RTK.**

Her er det tydeligt at for observationer foretaget med udstyr fra Leica er der stor forskel på at måle kontinuert med en epoke per sekund til at måle et punkt på baggrund af fem epoker. Umiddelbart kunne det se ud til at der er kodeløsninger med i Leica data, på grund af afvigelser på næsten en halv meter i planen. Dette er dog blevet undersøgt grundigt og alle resultaterne i denne rapport bygger kun på faseløsninger. Hele problematikken omkring fasekontra kodeløsninger kan ses i afsnit 4.5. Da RMS for testen, lavet med Leica udstyr, har spredninger, der er meget lavere end de maksimale afvigelser, må det være et fåtal af punkterne der har så store afvigelser. Det er dog noget brugeren af udstyret skal være opmærksom på. Hvis man definerer grovfejlsgrænsen som  $3 \cdot \text{Sigma}$ , er der heller ikke nogen tvivl om, at nogle af resultaterne målt med Leica udstyr er grove fejl. Hvad der gør at modtageren accepterer disse tydeligt fejlfyldte løsninger er ikke helt klart. I analysen i afsnit 4.6 bliver dette undersøgt nærmere. Plan data fra enkeltstations RTK med 20,2 km til nærmeste referencestation, Figur 4-8, viser dog, at Leica modtageren er i stand til at få maksimale afvigelser der er i samme størrelsesorden som for de andre RTK teknikker.

Forsøg med Trimble viser at det er muligt at halverer de maksimale afvigelser ved at gå fra en til fem epoker i bestemmelsen af et punkt. Den maksimale afvigelse i punkt 20,3 km svarer godt overens med resultatet for Leica's enkeltstations løsning i 20,2 km.

### 4.3.1. Delkonklusion

I data foretaget med Leica udstyr er der ikke den store forbedring at sporer i RMS ved at måle over flere epoker. Selv forskellen fra en til fem epoker giver i nogle tilfælde ligefrem en stigning af RMS i planen. Når man ser på de maksimale afvigelser fra koordinaterne af testpunkterne, optaget ved en epoke, er der afvigelser på langt over  $3 \cdot \text{Sigma}$ , hvilket indikerer grovfejl. Disse er dog stadig med i Leica's bud på en fase-løsning og det er noget slutbrugeren skal være opmærksom på i opmålingsopgaver foretaget med kontinuerte data.

Trimble udviser generelt forbedring på både RMS og maksimal afvigelse ved at gå fra kontinuert en epoke data til data med 5 epoker i løsningen. Samtidig viser resultaterne, at der med hensyn til nøjagtigheden ikke er vundet noget ved at have observationsintervaller længere end fem epoker.

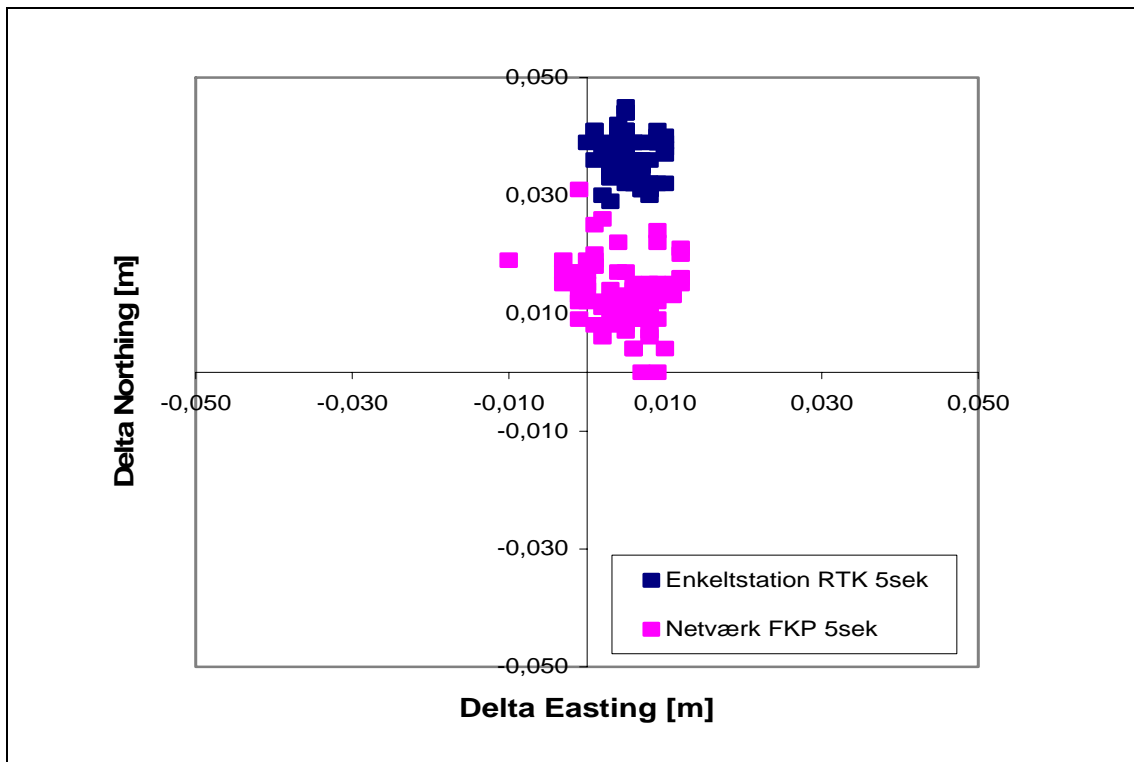
Generelt for begge typer løsninger ses der ikke nogen praktisk forbedring gående fra fem epoker til 30 epoker. Dette er værdifuld information for slutbrugeren. Resultaterne kan altså ikke forventes at blive mere nøjagtige ved at forlænge observationstiden.

#### ***4.4.Leica: Enkeltstations vs. Netværk RTK***

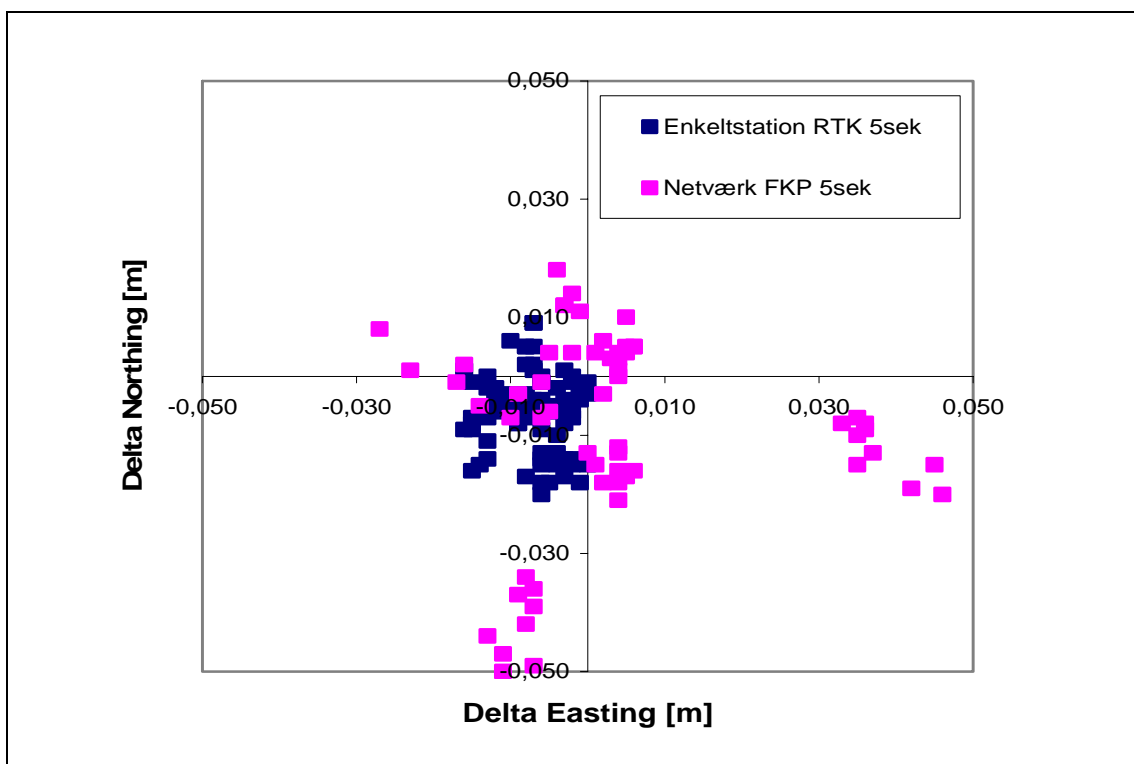
Leica begyndte allerede i 2004 at teste RTK på baggrund af netværksdata fra referencestationer på Sjælland. På dette tidspunkt havde Trimble Center Danmark allerede tilbudt RTK netværksløsning med deres GPSNet i mange år. Det har uden tvivl været en af grundene til selv at forsøge med en netværksløsning. Umiddelbart har GPS-referencen dog den fordel i forhold til GPSNet at på grund af ca. dobbelt så mange referencestationer som konkurrenten, så er afstanden til nærmeste referencestation sjældent over 25 km. Da et referencenetværk er mere omkostningstungt end en række enkeltstående stationer, har det for Leica og GPS-referencen været nødvendigt at undersøge eventuelt fordele og ulemper ved en mulig fremtidig netværksløsning. For at kunne skille sig ud fra GPSNet, har de valgt at baserer deres netværkskorrektioner på FKP metoden. Denne metode er langt fra så gennemtestet som VRS løsningen, der har virket i praksis i flere år.

Forrige afsnit gjorde det klart, at der ikke var den store forbedring at spore ved at se på data observeret med flere end fem epoker, så i dette afsnit vil der udelukkende blive set på data bestående af fem epoker. Derudover vil der kun blive set på data optaget i punkterne 2-07-00001 og 14-08-00001. Dette skyldes, at observationer ved disse to punkter har næsten samme afstand til nærmeste referencestation. Derved bliver en sammenligning af data fra netop de to punkter mest reel. Analysen matcher punkterne fra henholdsvis enkeltstationsløsningen og FKP løsningen, så punkterne ligger forskudt med et helt antal stjernedøgn. Derved skulle satellitkonstellationen være næsten identisk. Der kan være variationer i atmosfæreforhold på de forskellige observationsdage, som denne måde at analysere data på ikke kan tage højde for. Dette er dog den best egnede løsning, når man ikke har adgang til to identiske modtagere tilsluttet samme antenne med et splitterstik.

Figur 4-11 og Figur 4-12 viser et plot over de plane koordinater for de to testpunkter.



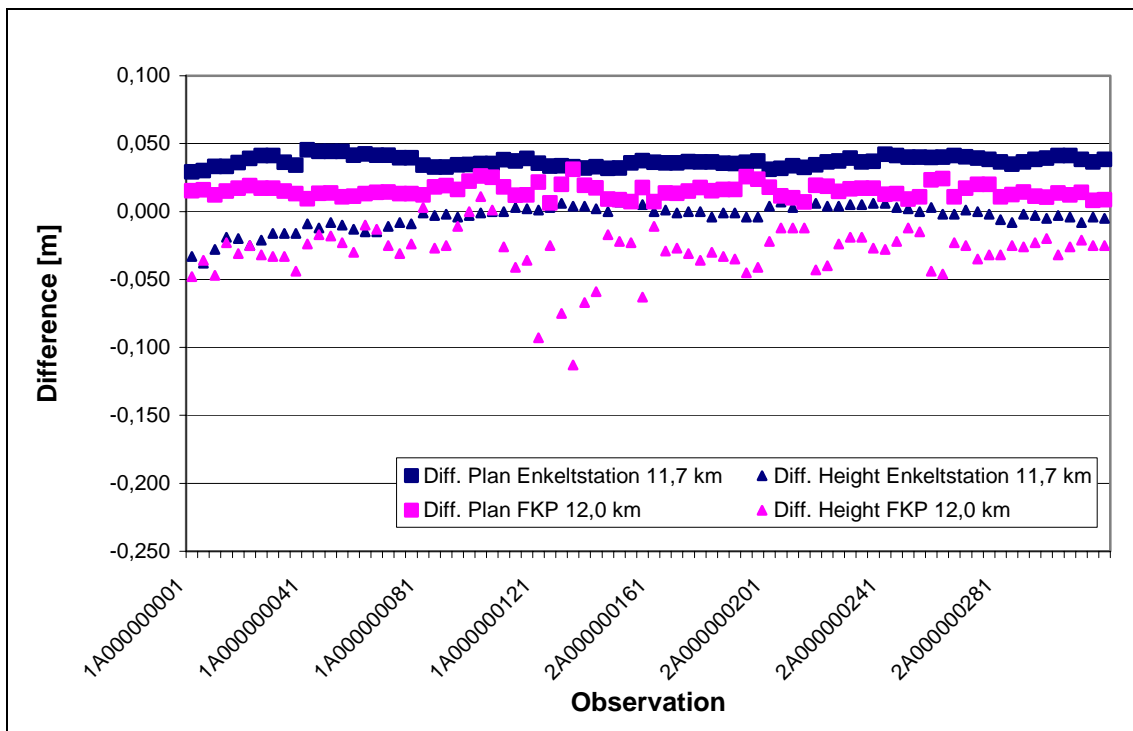
Figur 4-11 Punktplot i planen for enkeltstations- og FKP-løsning. Baseret på 5 sek data fra punkt 2-07-00001. Afstand til nærmeste referencestation er ca. 12 km.



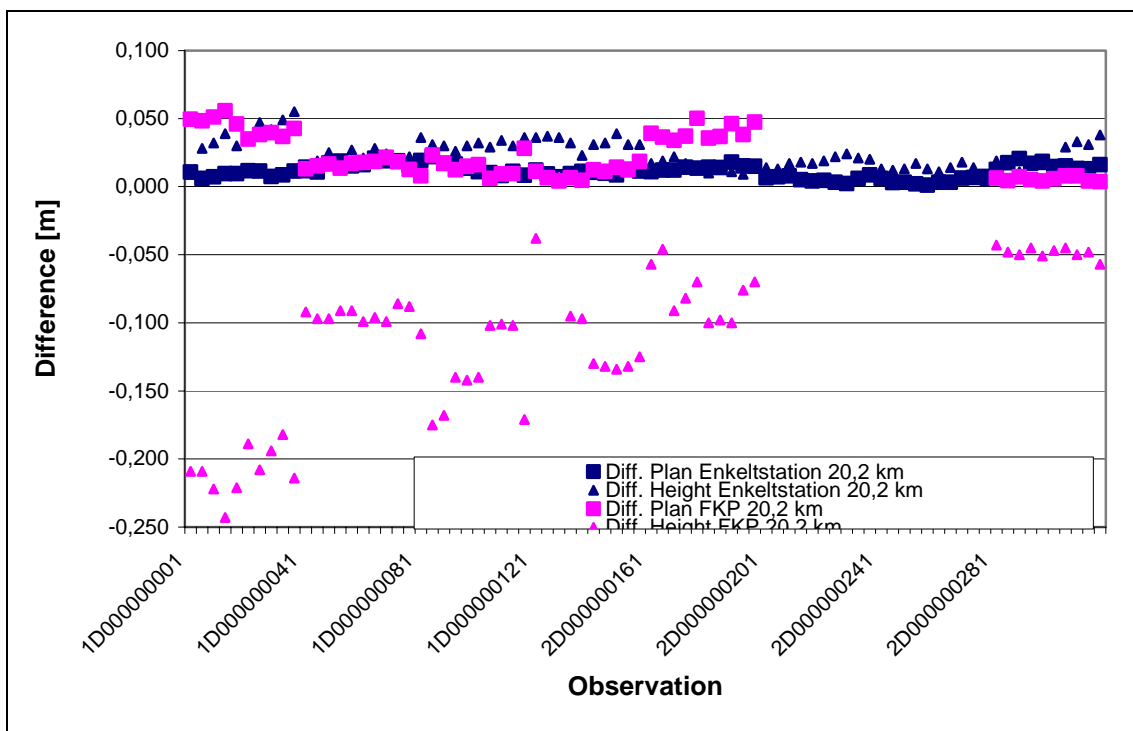
Figur 4-12 Punktplot i planen for enkeltstations- og FKP-løsning. Baseret på 5 sek data fra punkt 14-08-00001. Afstand til nærmeste referencestation er ca. 20 km.

For punkt 2-07-00001 ses klar tendens til, at den absolutte position fra netværksløsningen er bedre end enkeltstations observationerne. Som undersøgt tidligere ses dog en større præcision for enkeltstations RTK observationerne. Hvis man derimod ser på data fra punkt 14-08-00001, ser det anderledes ud. Her er den absolutte position generelt bedre for enkeltstations løsningen. Spredningen for netværksløsningen er meget stor og samtidig skal man bemærke, at der kun er 60 fase-observationer for netværksløsningen. Da FKP-netværksdata blev opsamlet, var der store problemer med at få en fase-løsning. De løsninger der er, har tydeligvis ikke samme kvalitet som enkeltstations RTK observationerne. Dette er ikke gode tegn, da grunden til at skifte til en netværksløsning netop ville være bedre nøjagtighed på afstande over 5-10 km. Ovenstående plot viser den præcis modsatte tendens. At netværksløsningen er bedre ved 12 km kan også skyldes spændinger i koordinaterne for både referencestationen og testpunktet. I enkeltstationsløsningen er der målt til referencestationen i Tune. Den station er ikke med i netværksdelen, og dette kan være grunden til at nøjagtigheden i planen er større for netværksløsningen. KMS kontrolregner dog koordinaterne for samtlige stationer i GPS-referencen, men måske er disse koordinater ikke blevet indkodet i referencestationerne..

For at undersøge sagen nærmere, er der lavet et plot der afbilder den plane og vertikale afstand for de enkelte koordinatsæt. Dette ses på Figur 4-13 og Figur 4-14.

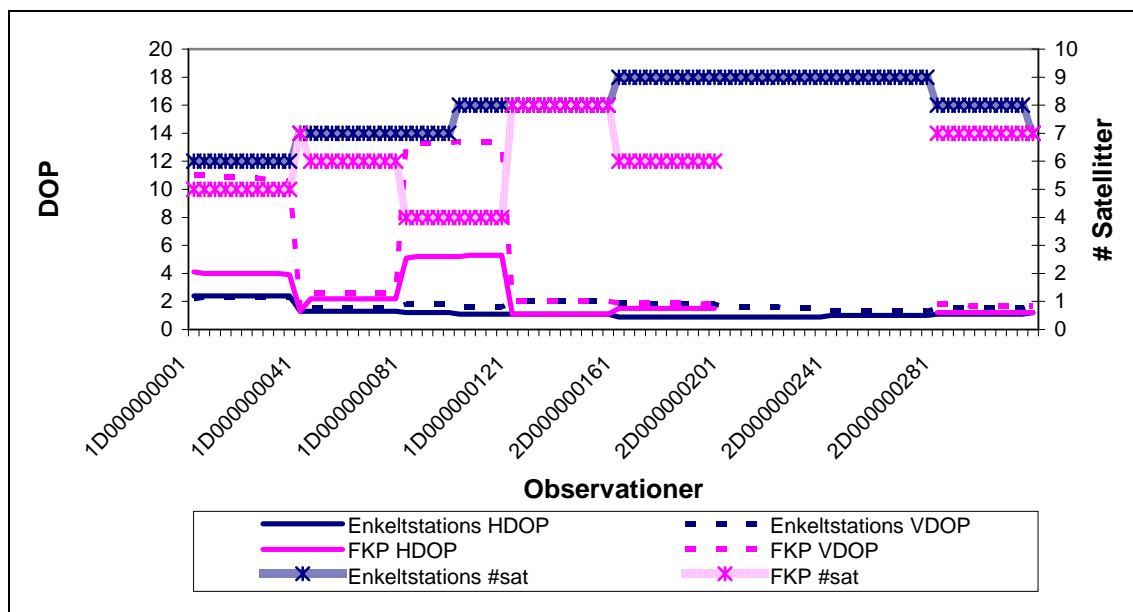


Figur 4-13 Differencer mellem observation og sand værdi mellem Leica enkeltstation og FKP for punkt 2-07-00001. Afstand til nærmeste referencestation ca. 12 km.



Figur 4-14 Differencer mellem observation og sand værdi mellem Leica enkeltstation og FKP for punkt 14-08-00001. Afstand til nærmeste referencestation er ca. 20km.

Her ses det tydeligt, at højdebestemmelsen i FKP løsningen er meget ustabil i forhold til enkeltstationsløsningen. Netop nøjagtigheden af højdebestemmelsen var Leica Geosystems meget interesseret i at få undersøgt nærmere. Generelt siges det, at højdebestemmelser med GPS er halvanden til to gange dårligere i højden end i planen. Dette skyldes primært forhold i troposfæren [18]. I dette tilfælde ser afvigelserne i højden dog ud til at være påvirket af kraftigere fejlkilder end det. For at undersøge denne fejlkilde nærmere er DOP, Dilution of Precision, og antallet af satellitter for hver observation undersøgt. I Figur 4-15 ses et plot af dette for punkt 14-08-00001. Tendensen er omtrent den samme for punkt 2-07-00001.



**Figur 4-15 HDOP, VDOP og antallet af satellitter for observationerne i punkt 14-08-00001. Afstanden til nærmeste referencestation er ca. 20 km.**

Her kan man aflæse HDOP og VDOP på den venstre akse og antallet af satellitter kan aflæses på højre akse. Det er straks klart, at der er stor forskel på DOP værdierne mellem enkeltstations og FKP løsningen. Dette kan undre, da DOP værdierne netop burde være ens for observationerne, da dataindsamlingen er sat sådan op. Ovenstående tendens har været gældende i de fleste forsøg med FKP dataopsamling og vil blive gennemgået i et senere analyseafsnit.



#### 4.4.1. Delkonklusion

Leica's initiativ til også at kunne tilbyde en RTK netværksløsning har været katalysatoren til dette projekt. Testproceduren er lagt sådan an, at det har været muligt at undersøge hvordan nøjagtigheden af enkeltstations RTK løsningen var i forhold til en netværksløsning baseret på FKP korrektioner. På grund af den allerede tætte dækning af referencestationer i GPS-referencen var det på forhånd ikke sikkert, at det overhovedet kunne betale sig at skifte til en netværksløsning hvis nøjagtigheden var den eneste parameter. Det, at have en RTK netværksløsning i sit produktudvalg, er dog helt sikkert et salg fremmende plus. I næste generations RTK bliver det et krav at have et referencenet der er tilsluttet en central server, så under alle omstændigheder er det en god investering.

Ovenstående test af Leica Geosystems FKP netværkstest, der kørte i november 2004 viser dog næsten entydigt, at der ikke er nogen fordel ved at skifte fra enkeltstations RTK til en FKP netværksløsning baseret på software fra det tyske firma Geo++. Dette skyldes primært at netværkssoftwaren tilsyneladende ikke er i stand til at benytte alle tilgængelige satellitter i en løsning. Dette giver høje DOP værdier og dermed en dårligere positionsbestemmelse. Dette er undersøgt nærmere i næste afsnit.

Hvis kunderne var blevet tilbudt netværksløsningen som den så ud i slutningen af november 2004, ville de have oplevet kraftig forringelse af nøjagtigheden. Her et år efter har Leica Geosystems i Danmark netop præsenteret deres netværksløsning. Den baseres på deres eget software kaldet SpiderNET. Der har været kick-off den 9. december og det bliver spændende at sammenligne denne netværks RTK-løsning med både den gamle enkeltstations løsning samt konkurrenten Trimble's GPSNet netværksløsning.

#### ***4.5. Leica FKP vs. Trimble VRS***

Siden projektets start har det været oplagt at test de to ledende leverandører af netværks RTK løsninger op mod hinanden. Da projektet startede stillede Leica deres nyeste RTK rover til rådighed. I foråret 2005 blev det overvejet at spørge Trimble Center Danmark om det var muligt at låne deres nyeste RTK rover, men så gik IMM ind i forhandlinger om køb af Trimble's nyeste GPS modtager, og det blev besluttet at vente til den blev indkøbt. Som beskrevet i afsnittet om udstyret er testen altså baseret på det nyeste hardware inden for RTK.

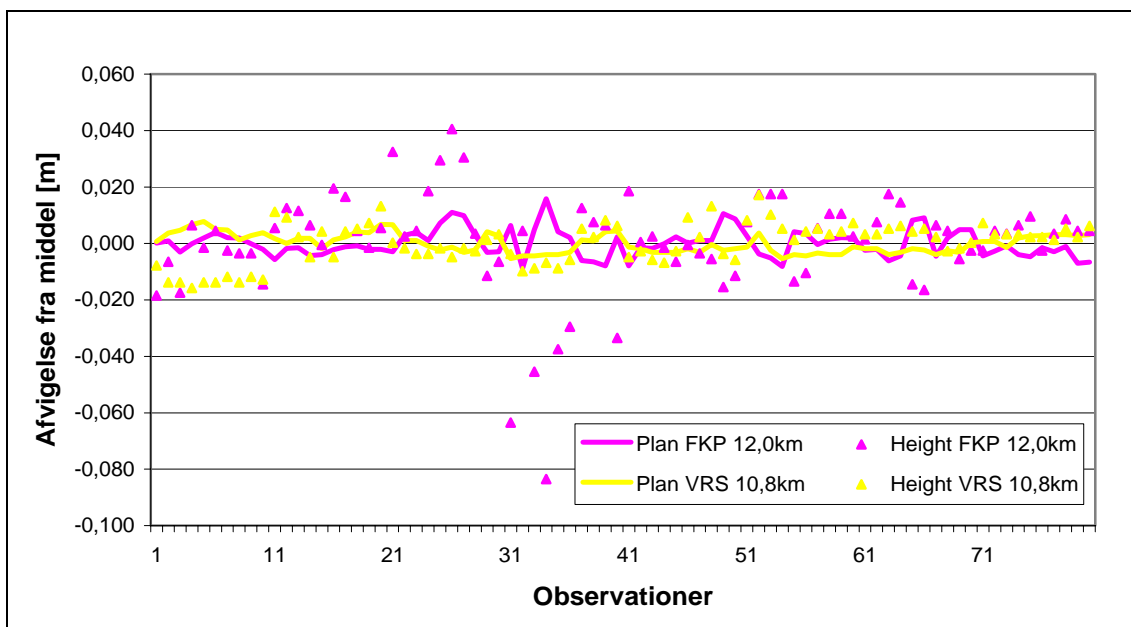
Da GPS-referencens netværksløsning er i den indledende testfase er det dog ikke helt retfærdigt at sammenligne det med en løsning, der har været tilgængelig for slutbrugeren de seneste fem år. GPSNet har derfor haft meget bedre muligheder for at rette eventuelle fejl og problemer med deres netværksløsning. Dette er vigtigt at holde for øje i analysen af de to systemer.

Da testen af Leica's FKP løsning ikke er foregået med den samme satellitkonstellation og fra de samme testpunkter som testen på GPSNet, kan der være afvigelser i en umiddelbar sammenligning mellem datapunkterne. Derfor er det yderst vigtigt at vurderer resultaterne i forhold til DOP og antallet af satellitter i de enkelte datapunkter. Kun på denne måde er det muligt at sammenligne datasæt, der er optaget på helt forskellige tidspunkter. De forrige analyser giver ikke anledning til at tro FKP løsningen har klaret sig bedre en VRS løsningen, men det vil her blive endeligt belyst ved at sammenligne plan og vertikal afvigelse, sammenholdt med information om satellitkonstellationen på de pågældende tidspunkter.

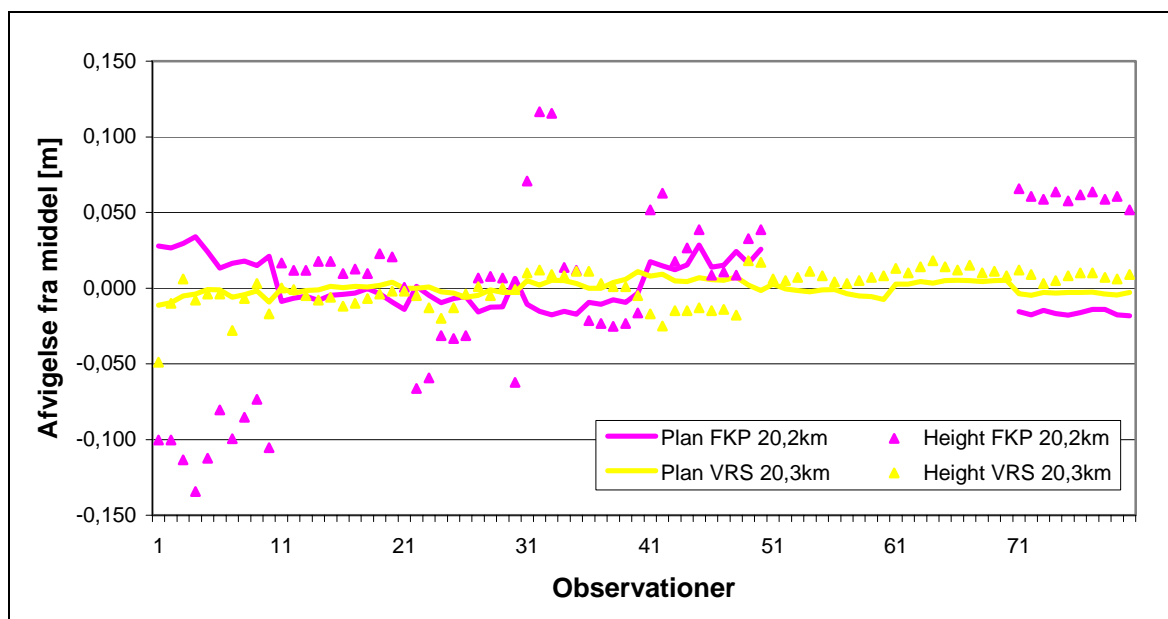
Et andet punkt, hvor testen ikke er helt sammenlignelig, er hvilke punkter, der er anvendt som kontrol. Testen af FKP løsningen har anvendt KMS's 10-km punkter som kontrol. Disse er ikke blevet indmålt som kontrol i dette projekt, og deres koordinater stammer derfor fra KMS's database Valdemar. Det er i forbindelse med testen af GPSNet konstateret, at der har været spændinger mellem KMS's og GPSNet's referencenet, og det er derfor ikke utænkeligt, at der også kan være lignende spændinger mellem GPS-referencen og KMS's 10-km net. For at dette ikke skal få indvirkning på en sammenligning af de to RTK systemer, er det mest

rimeligt at sammenligne dem i forhold til relative og ikke absolutte koordinater. På den måde kommer forskellige systematiske fejl fra forskellige referencenet ikke til at spille nogen rolle i vurderingen af resultaterne.

Også i denne analyse vil der blive set på fem sekunders data. For at gøre sammenligningen retfærdig vil der også her blive set på to datasæt fra henholdsvis FKP og VRS testen med en afstand til nærmeste referencestation på ca. 11 og 20 km. Derved sikres det, at data er fremskaffet under næsten identiske forhold. De første grafer sammenligner den plane og vertikale afstand fra middelværdien og kan ses på Figur 4-16 og Figur 4-17.

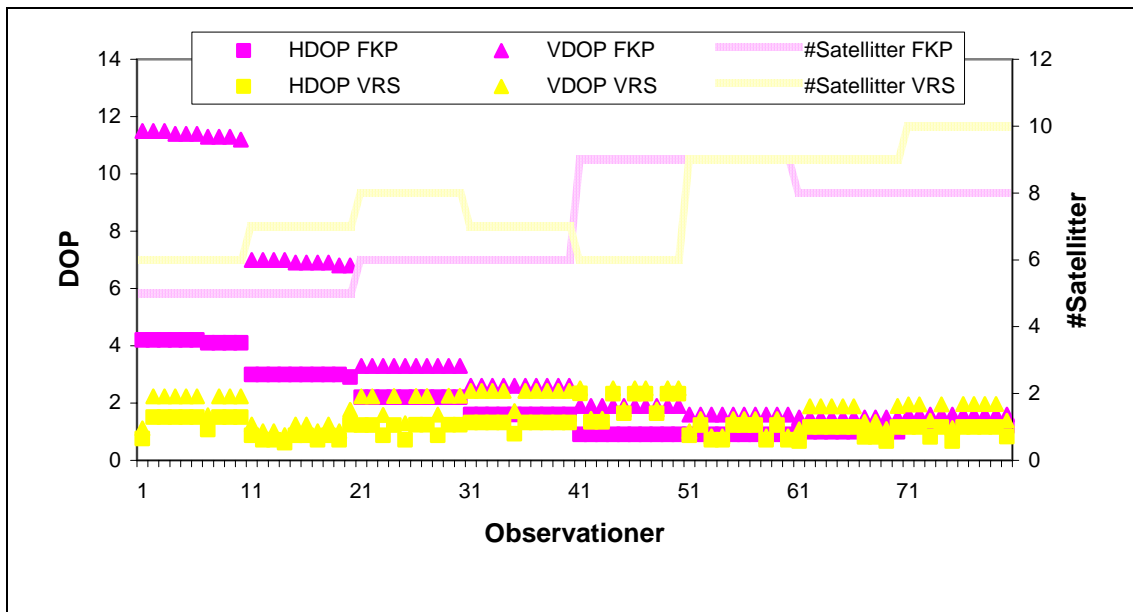


Figur 4-16 Plan og højde afvigelse fra middel for Leica FKP og Trimble VRS. Data stammer fra 5 sek observationer. Afstand til nærmeste referencestation er ca. 12 km.

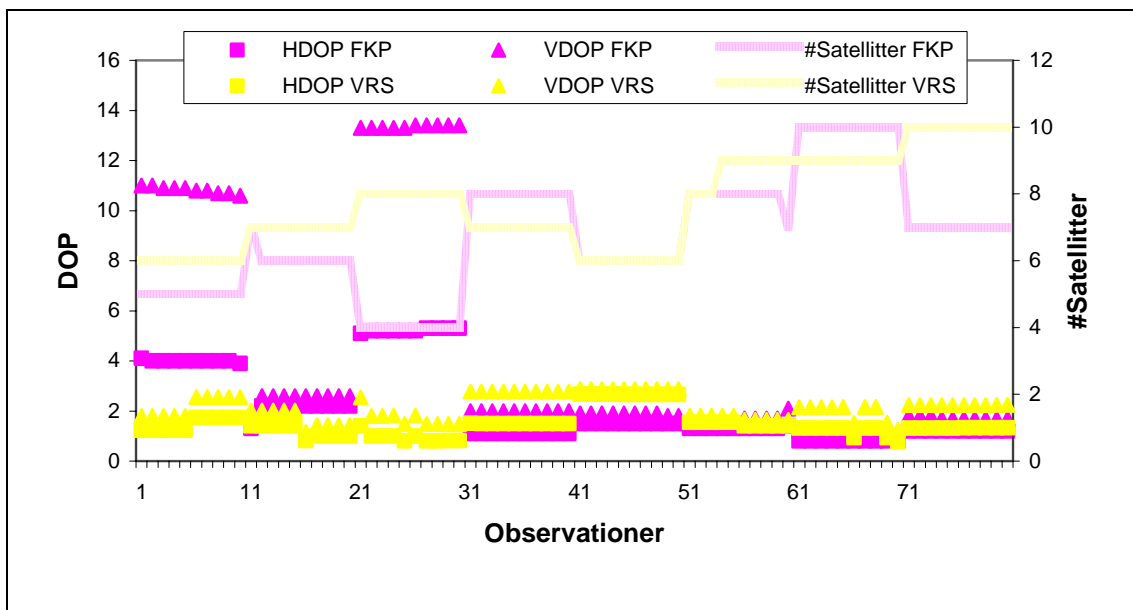


**Figur 4-17** Plan og højde afvigelse fra middel for Leica FKP og Trimble VRS. Data stammer fra 5 sek observationer. Afstand til nærmeste referencestation er ca. 20 km.

Her ses en generel tendens til mindre afvigelse for VRS teknikken. Dette gælder for både plane og vertikale koordinater. Det er især udtalt for FKP resultaterne for højdemålingerne ved en afstand på over 20 km til nærmeste referencestation. Her er der afvigelser på over 10 cm fra middel. Kun ca. halvdelen af højderne har værdier, der ligger tæt på resultaterne for VRS resultaterne. Der bemærkes også manglende faseløsninger fra FKP testen ved 20,2 km til nærmeste referencestation. Igen kan det undre da testpunkt 14-08-00001 lå på en bakketop med fuldt udsyn til himmelrummet, altså perfekt modtagerforhold til GNSS observationer. For at undersøge om de to RTK tests er gennemført under sammenlignelige forhold, er der udarbejdet der viser HDOP, VDOP og antallet af satellitter i løsningen for begge tests. Disse ses i Figur 4-18 og Figur 4-19.



**Figur 4-18** HDOP, VDOP og antallet af satellitter for Leica FKP og Trimble VRS. Data stammer fra 5 sek observationer. Afstanden til nærmeste base er ca. 12 km.



**Figur 4-19** HDOP, VDOP og antallet af satellitter for Leica FKP og Trimble VRS. Data stammer fra 5 sek observationer. Afstanden til nærmeste base er ca. 20 km.

Her ses tydelige problemer for FKP løsningen. Især i den første tredjedel på Figur 4-19 er der problemer med meget høje VDOP-værdier. Især mellem observation 21-31 er løsningen kun baseret på fire satellitter, hvilket virker mærkeligt, da der for resultaterne for den korte basisline er seks satellitter til rådighed i den samme periode. Dette undersøges senere i dette afsnit. For begge testpunkter ser det dog ud til, at resultaterne er sammenlignelige fra

observation 31 og fremefter. Her følger DOP-værdierne pænt hinanden for FKP og VRS løsningerne. I Tabel 4-2 og Tabel 4-3 er der derfor opstillet beregninger af middelværdier, spredninger, max og min værdier for observationerne fra 30-80.

Plan	Middel [m]	Spredning [m]	Min [m]	Max [m]
FKP 11,7km	0,000	0,005	-0,009	0,016
VRS 10,8km	-0,001	0,003	-0,005	0,004
FKP 20,2km	-0,003	0,016	-0,018	0,028
VRS 20,3km	0,001	0,004	-0,008	0,011

**Tabel 4-2 Statistik over Leica FKP i planen. Kun observationerne 30-80 er medtaget.**

Height	Middel [m]	Spredning [m]	Min [m]	Max [m]
FKP 11,7km	-0,003	0,020	-0,084	0,018
VRS 10,8km	0,002	0,006	-0,010	0,017
FKP 20,2km	0,034	0,041	-0,062	0,117
VRS 20,3km	0,005	0,010	-0,025	0,018

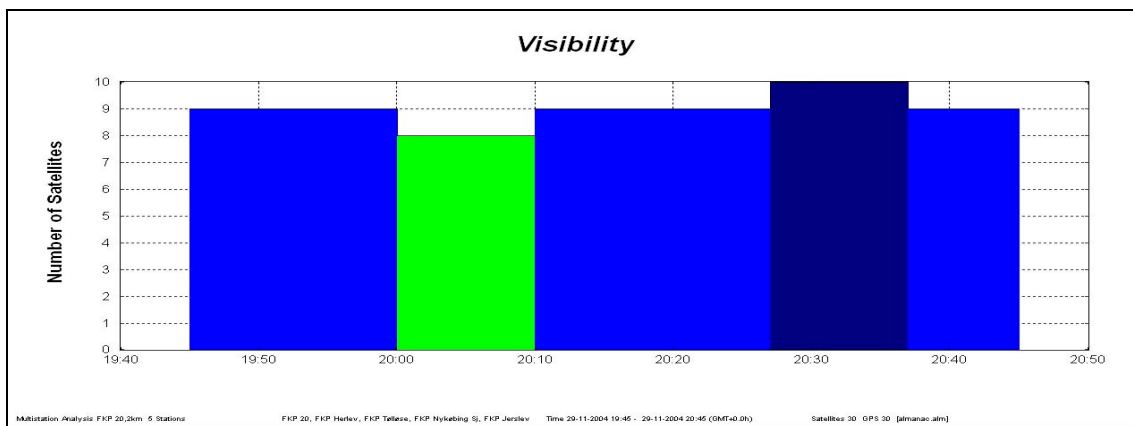
**Tabel 4-3 Statistik over Trimble VRS i planen. Kun observationerne 30-80 er medtaget.**

Selv i det interval hvor der er overensstemmelse mellem DOP-værdierne har FKP løsningerne spredninger, der er fra to til fire gange højere end VRS løsningerne. Der er gennemsnitligt lidt flere satellitter for VRS løsningen i det observationsinterval, som ovenstående tabeller bygger på. Forskellen i resultaterne kan skyldes flere faktorer:

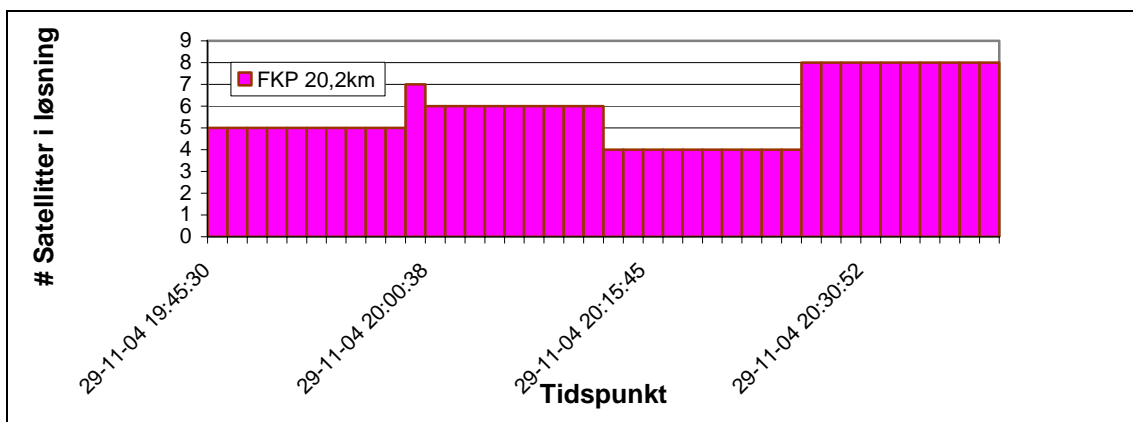
- Forskellige atmosfæreforhold.
- Forskelle i modtagerhardware.
- Forskelle i netværksløsningsmodel.
- Forskelle i software.
- Forskelle i multipath omkring testpunkter.

Generelt har der været problemer ved FKP testen. Det har primært drejet sig om problemer med at få modtageren til at levere fase løsninger. I mange tilfælde har modtageren tabt initialiseringen. Dette har givet en del kodeløsninger i datasættet. Under selve dataopsamlingen har det været frustrerende at se, at modtageren kun beregner positionen på baggrund af 4-5 satellitter, mens der ifølge skyplottet på modtageren har været mulighed for

at benytte 2-3 ekstra satellitter. Hvorfor disse ikke er medtaget i løsningen er et godt spørgsmål. Brian Hansen fra Leica Geosystems er blevet spurgt om dette. Svaret har været at de samme satellitter skal være tilgængelige på roverens position som i serverens software i Herlev. Ved at sammenligne antallet af tilgængelige satellitter i observationerne med en multistations analyse i et GNSS planlægningssoftware i samme tidsinterval, med en dertil gældende almanak, er det muligt at afgøre om der har været problemer med at se det samme antal satellitter. Nedenstående Figur 4-20 viser resultatet af en multistationsanalyse af tilgængelige satellitter i samme tidsrum som de første 40 observationer fra FKP løsninger i punkt 14-08-00001, som er 20,2 km fra nærmeste referencestation. I Figur 4-21 ses de faktisk anvendte satellitter i samme tidsrum.



**Figur 4-20** Multistationsanalyse indeholdende FKP netværksstationerne Tølløse, Nykøbing Sj., Jerslev og serverstationen i Herlev samt testpunkt 14-08-00001. Datoen er den 29/11-2004 og elevationsmasken er 10°.



**Figur 4-21** Det faktiske antal satellitter benyttet i løsningen af 5 sek observationerne den første time af FKP testen i punkt 14-08-00001.

Her ses det, at FKP løsningen har et kæmpe problem med at inddrage samtlige tilgængelige satellitter til positionsbestemmelsen. Måske er softwaren i FKP serveren sat op med en meget høj elevationsmaske, men selv hvis elevationsmasken blev hævet til 15 grader, bliver der højst 1-2 satellitter færre i multistationsanalysen. Hvorfor alle tilgængelige satellitter ikke benyttes er svært at sige noget om ud fra de data der er tilgængelige. Det kan dreje sig om en fejlagtig opsætning af den software der kører på netværksserveren i Herlev som Geo++ har leveret til testen. Der er dog ingen tvivl om at, en af grundene til at Leica's FKP løsning klarer sig dårligere end Trimble's VRS løsning skyldes ovenstående problem. Det har været medvirkende til, at FKP testen ikke har været i stand til at løse ambiguity, men kun leverer en kodeløsning i en stor procentdel af løsningerne. I Tabel 4-4 ses en opgørelse over hvor mange procent en given modtager giver en faseløsning når den måler kontinuert med en observation i sekundet.

FKP testpunkt	% faseløsning	VRS testpunkt	% faseløsning
2-07-00001	84,3	5km000001	96,9
3-07-00816	50,3	10km000001	95,6
4-08-00001	57,2	15km000001	99,4
14-08-00001	86,4	20km000001	99,4

**Tabel 4-4 Procentvis faseløsninger for 1sek kontinuert data i forhold til det teoretisk opnåelige.**

Her skinner Leica's FKP løsning igennem som værende markant dårligere til at producerer faseløsninger i netværksløsningen. Dette formodes primært at skyldes den manglende evne til at benytte samtlige tilgængelige satellitter i RTK løsningerne.

#### **4.5.1. Delkonklusion**

Hvis et landmålerfirma skulle beslutte hvilken leverandør og referencenet, der skulle leverer RTK data og beslutningsgrundlaget er ovenstående data, er der nok ikke nogen tvivl om hvad valget ville blive. Trimble's VRS løsning klarer sig markant bedre end Leica's FKP referencenet. Det er dog vigtigt i denne konklusion at lægge vægt på, at testen af Leica's netværksløsning er foretaget på et system der har været i en meget tidlig testfase. Der må derfor påregnes mange problemer, hvilket ovenstående analyse har illustreret. FKP-løsningen



klarer sig endda også dårligere end deres enkeltstationsløsning, så på baggrund af ovenstående data ville der ikke være nogen grund til at etablerer en fast FKP RTK løsning. At Leica her et år efter netop præsenterer deres netværksløsning må betyde, at de det sidste års tid har fået styr på indkøringsproblemerne.

Det er også forbundet med stor prestige (og penge) at kunne levere den bedste RTK løsning. Der er fremlagt en del artikler fra de to konkurrerende sider, Trimble og Leica, gående på hvorfor lige netop deres fremgangsmåde i at behandle korrektioner til RTK er bedre en konkurrentens. Se bl.a. [10], [7] og [16]. Ovenstående analyse viser fordelene af at være først på markedet med et nyt produkt. Det er tydeligt at se, at Trimble's GPSNet efter at have kørt nogle år i Danmark har fået elimineret diverse indkøringsproblemer. Denne fase har Leica arbejdet kraftigt på de sidste års tid, og det kræver en ny undersøgelse for endeligt at kunne konkludere, hvilken metode der giver de mest nøjagtige resultater. Der er dog ingen tvivl om, at fordelene ved at kunne modellere fejlbidragene i real time på baggrund af informationerne i et referencenetværk, er store. Fremtiden går måske mere i retning af PPP-RTK [22], hvor referencenetværkene bliver brugt til at løbende at beregne størrelsen af samtlige fejlkilder i fundamentalligningen. Derved ville roveren være i stand til løbende beregne sin position på cm-niveau uden at danne differencer til nærmeste referencestation. Metoden skulle gøre det muligt at have meget længere mellem referencestationerne end i dag, hvilket ville gøre det endnu mere økonomisk interessant.

#### 4.6. Analyse af modtagers bud på nøjagtighed vs. faktisk nøjagtighed

De to RTK modtagere, der er testet i forbindelse med dette projekt, er begge i stand til, at vise brugeren i marken hvad den forventede nøjagtighed af observationerne er i real time. Derved er det hele tiden muligt at checke, om nøjagtighedskravene for den pågældende opgave er overholdt. Hvordan de forskellige fabrikanter af GNSS modtagere beregner disse nøjagtigheder, er ikke umiddelbart offentligt tilgængeligt. Ved hjælp af tests der er foretaget i dette projekt, er det muligt at undersøge om de enkelte modtageres bud på nøjagtigheden svarer overens med den der rent faktisk er målt med.

Både Leica's og Trimble's udstyr giver mulighed for at eksporterer den forventede spredning/RMS for de enkelte observationer. Denne information er så blevet midlet over de enkelte datasæt og sammenlignet med den beregnede spredning og RMS. For at gøre det mere overskueligt er det kun data på baggrund af 5 sekunders observationer, der er medtaget her. Resten kan ses i Bilag 6 - 16. Analysen af ovenstående kan ses nedenfor i Tabel 4-5 til Tabel 4-7.

Datasæt	Plan		Højde	
	$\Delta$ Sigma [m]	$\Delta$ RMS [m]	$\Delta$ Sigma [m]	$\Delta$ RMS [m]
4-08-00001	0,003	-0,009	0,002	0,002
2-07-00001	0,006	-0,027	0,006	0,005
14-08-00001	0,019	0,012	0,027	0,012
Middel	0,010	-0,008	0,012	0,006

**Tabel 4-5 Afvigelser på spredning og RMS i forhold l til modtagers bud på samme. Leica enkeltstations RTK med 5 sekunders observationsinterval.**

Datasæt	Plan		Højde	
	$\Delta$ Sigma [m]	$\Delta$ RMS [m]	$\Delta$ Sigma [m]	$\Delta$ RMS [m]
2-07-00001	0,006	-0,005	0,003	-0,013
3-07-00816	0,025	0,018	0,021	-0,064
4-08-00001	0,026	0,020	0,026	-0,003
14-08-00001	0,026	0,015	0,023	-0,042
Middel	0,025	0,018	0,023	-0,036

**Tabel 4-6 Afvigelser på spredning og RMS i forhold l til modtagers bud på samme. Leica FKP RTK med 5 sekunders observationsinterval.**

Datasæt	Plan		Højde	
	$\Delta$ Sigma [m]	$\Delta$ RMS [m]	$\Delta$ Sigma [m]	$\Delta$ RMS [m]
5km000001	0,005	0,003	0,003	-0,006
10km000001	0,007	0,004	0,000	-0,015
15km000001	0,006	-0,001	-0,010	-0,018
20km000001	0,007	-0,003	-0,004	-0,020
Middel	0,006	0,000	-0,005	-0,018

**Tabel 4-7 Afvigelser på spredning og RMS i forhold 1 til modtagers bud på samme. Trimble VRS RTK med 5 sekunders observationsinterval.**

Data i ovenstående tabeller bygger på nedenstående formel:

$$\Delta_{\text{Sigma,RMS}} = \sigma_{\text{middel modtagerbud}} - \sigma_{\text{beregnet}} \quad (4.6)$$

Ovenstående måde at beregne forskellen mellem modtagerens bud og den beregnede spredning betyder, at positive værdier betyder, at modtageren er pessimistisk omkring nøjagtigheden. Omvendt betyder negative værdier, at modtageren tror positionen er bedre end den rent faktisk er.

Hvis man ser på differencen på spredningen i planen, Sigma, er Leica's FKP løsning den der angiver den mest pessimistiske værdi i modtageren, mens Trimble's VRS metode er den som angiver den mest præcise værdi i planen. Trimble's vurdering af spredningen i højden er derimod generelt for optimistisk, mens Leica her har nogenlunde uændrede værdier i forhold til planen. I de forrige analyser er det blevet klart, at FKP løsningen har haft den største spredning, men det positive i den sammenhæng er, at modtageren godt er klar over det. Det havde set meget dårligt ud, hvis det modsatte havde været tilfældet.

Det er muligt at ane tendens for at Trimble's modtager bliver dårligere til at vurdere den faktiske spredning jo større afstand til en fysisk referencestation. Det kan måske skyldes, at modtageren benytter afstanden til den virtuelle referencestation, i stedet for afstanden til den fysiske referencestation til at estimere nøjagtigheden. Da længden af basislinien i alle ovenstående VRS tilfælde har været meget tæt på nul, har Trimble's modtager tilsyneladende

svært ved at bedømme nøjagtigheden afhængigt af basislinelængden. Dette kan være en ulempe ved VRS teknikken, da alle korrektioner foretages af en central server og modtageren derfor ikke kender de afstandsfhængige fejl i referencenettet.

#### **4.6.1. Delkonklusion**

Generelt er modtagerens bud på positionens nøjagtighed et godt og pålideligt værktøj. Leica's modtagerer giver brugeren ærligt besked om de tilfælde med stor spredning. Dette ses af tabellen med Leica FKP data. På nær  $\Delta$  RMS i højden for FKP og VRS metoden er de fleste bud på nøjagtigheden fra modtageren for pessimistiske, hvilket er godt for brugeren. Det betyder generelt, at de værdier modtageren angiver for nøjagtigheder i planen, som hovedregel også er dem målingerne rent faktisk holder sig inden for.

## 5. Samlet Konklusion

Positionsbestemmelse med RTK teknikker er kommet for at blive. Især er der store perspektiver i netværks RTK. Dette skyldes de åbenlyse fordele der er forbundet med metoden, bl.a.:

- Reduktion af fejlbidrag fra atmosfæren.
- Færre referencestationer til at dække samme areal.
- Fælles referencenet for hele landet.
- Effektivt opmålingsarbejde, høj nøjagtighed.

Dette projekt har testet de tre landsdækkende RTK teknikker der er tilgængelig i Danmark 2004-2005. Før december 2005 var Trimble's GPSNet det førende netværks RTK system. Dette skyldes deres eksistens på markedet i over 4 år. Leica har i december 2005 haft kick-off på deres første netværks RTK løsning baseret på deres eget SpiderNet software. Resultaterne i dette projekt er ikke baseret på Leica's endelige netværksløsning, og derfor falder konklusionen også ud til GPSNet's fordel. På alle områder har GPSNet vist høj nøjagtighed i forhold til Leica's FKP test.

Dette skyldes primært, at Leica's system ikke har været i stand til at benytte sig af alle tilgængelige satellitter over den fastsatte elevationsmaske. Grunden til dette skyldes formodentligt en software fejl, da udstyret generelt holder en høj standard.

Man skal dog ikke glemme Leica's enkeltstations RTK løsning. Den har vist sig meget konkurrencedygtig i forhold til Trimble's VRS teknik. I de data der er indhentet i forbindelse med dette projekt har enkeltstationsløsningen en afstandsafhængig fejl der er tæt på nul. Grunden til dette kan være tilfældigheder, men der foregår også meget forskning i at reducerer de afstandsafhængige fejl, selv ved enkeltstations RTK.

En resultat der er slået helt fast er, at det sjældent kan betale sig at benytte flere end fem epoker til en positionsbestemmelse. Spredningen er i mange tilfælde blevet højere ved observationer baseret på flere end 5 epoker. Dette var mest udtalt for FKP resultaterne.

Der er fordele og ulemper ved at benytte enten FKP eller VRS teknik i RTK observationer. Der bliver forsket kraftigt fra begge tilhængere for at kunne levere de bedste resultater. I fremtiden er der dog store perspektiver i næste generations netværks RTK. PPP-RTK (Precise Point Positioning) benytter data fra et referencenetværk som hele tiden er i stand til at beregne og modellere alle fejlbidrag i fundamentalligningen og disse fejlbidrag for alle satellitter sendes til brugeren, som derefter kan bestemme sin position uden at skulle danne dobbelt-differenser med en referencestation.

## **6. Forslag til fremtidige undersøgelser**

Her vil jeg kort nævne nogle af de projekter jeg kunne forestille mig der ville være spændende at arbejde videre med i fremtidige projekter.

### ***6.1. Test af Leica's SpiderNet mod GPSNet***

Da Leica lige har offentliggjort sin nye netværkstjenste, ser jeg det som en naturlig forlængelse af dette projekt, at sammenligne disse to netværkssystemer når de er fuldt operationelle.

### ***6.2. Gå i dybden med højdedifferencer mellem forskellige referencenet***

På grund af uoverensstemmelsen mellem GPSNet og KMS's permanente referencestation i Buddinge, kunne det være spændende at få en endelig sammenligning af de to referencerammer. GPS-referencens stationer kunne også medtages i sådan et arbejde. Selvfølgelig skulle 10-km punkterne også kontrolleres i en sammenhæng.

### ***6.3. Indhentelse af referencenet data til efterprocesering***

Ved at have f.eks. en uges 1 sekunds data fra enten GPSNet eller GPS-referencen, ville det være muligt selv at lave programmer der kan udjævne fejlbidrag, danne atmosfæremodeller og beregne korrektionsdata. Dette kunne sammenlignes med egne målinger fra samme periode.

### ***6.4. Lave forsøg med flere modtagere tilsluttet samme antenne***

For at være sikker på at de forsøg man udfører, er så sammenlignelige som overhovedet muligt, ville det være en stor hjælp af data var fremskaffet under helt identiske forhold. Dette

ville være muligt, ved at benytte flere modtagere koblet til samme antenne med et antenne splitter kabel. Alle resultater fra sådan en test ville indeholde identiske fejlbidrag for samtlige observationer.



## 7. Appendiks A: Radiovejledning

Instituttets to Pacific Crest radioer er indkøbt med det formål at udbrede radiosignaler til korrektion af RTK målinger på DTU og på Landmålervej/Dyrehaven. Radioerne er begge af typen Pacific Crest PDL LPB med en sendestyrke på 2W. Dette skulle gøre det muligt at modtage et tilfredsstillende signal på de ønskede arealer.

Instituttet har en stor økonomisk interesse i at få deres eget GPS RTK system op at køre, da det er dyrt i længden at være afhængig af Trimble og deres GPSNet. Dette kræver en dyr mobiltelefonforbindelse. Ved selv at kunne udsende korrektioner til brug i RTK målinger via radio bliver systemet meget billigt i længden.

Meningen med denne vejledning er, at gennemgå de opsætninger der skal foretages for at få systemet til at fungere optimalt.

### Udstyr

Grundlæggende består systemet af følgende:

1 GPS base modtager, her Trimble 4400

1 GPS antenne, her Trimble Compact L1/L2 with Groundplane

1 Base radioantenne.

1 Base radio, her PDL LPB 2W

1 PC

Software til styring af basisstationen, her Trimble Reference Software, TRS

Software til instilling af radioen

Diverse kabler til at forbinde udstyret

Ovenstående er nok til at styre en simpel opsætning af en GPS RTK base. Opsætningen af dette udstyr i bygning 321 på DTU, gør det muligt at modtage korrektionssignaler af en god kvalitet på hele DTUs område. Dette er testet i flere forsøg med gode resultater. Da det er en

2W radio der bliver benyttet, er det faktisk også muligt at modtage signalet på Landmålervej, men signalet her er ikke særligt stærkt, og det kan derfor anbefales at anvende en repeater.

Anvendes der repeaterteknik skal følgende udstyr også anvendes:

1 repeater radio, her PDL LPB 2W

Strømkilde 12V, enten batteri eller netspænding

Stativ eller beslag til opstilling

Mobil antenne

### **Radiolovgivning**

Da instituttet benytter kraftige 2W radioer, gælder der særlige regler for anvendelse af disse. Telestyrelsen har givet tilladelse til at benytte radioerne på DTU og på Landmålervej. Hvis de opstilles andre steder kræver det en tilladelse af Telestyrelsen. Hvis der er behov for at flytte en radio til et andet område kan der i stedet benyttes en radio med en sendestyrke på 0,5W, da der ikke kræves nogen særlig tilladelse for at bruge radioer med sendestyrker under 0,5W. Dette er værd at være opmærksom på, når der benyttes radioer til RTK målinger.

### **Opsætning af basestationen**

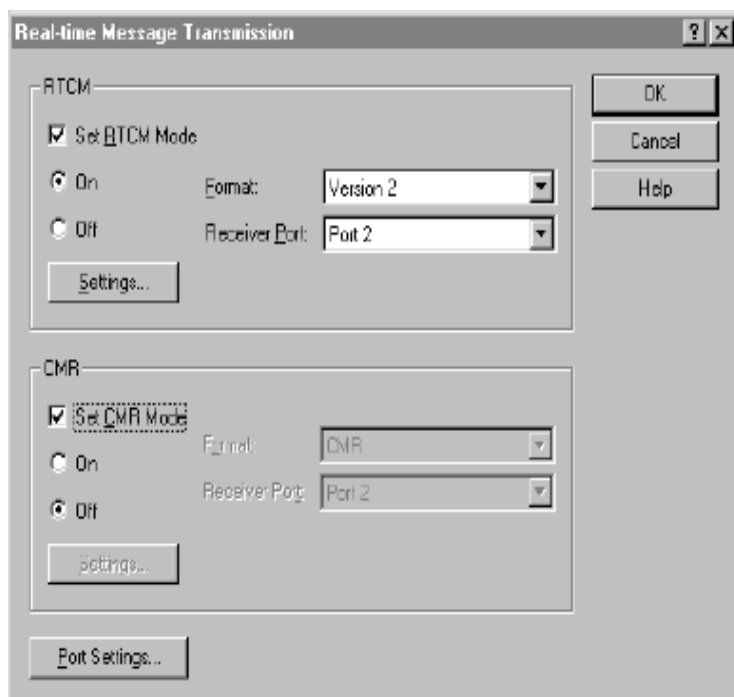
Selve opsætningen af basestationen foregår i to etaper. Først skal alle indstillingerne i Trimble Reference Station, TRS, være på plads og derefter skal man indstille radioen ved hjælp af softwaren PDLCONF 2.40.

### **Opsætning af TRS**

Det forudsættes, at basis opsætningen af TRS er foretaget. Her tænkes især på, at de rigtige koordinater for antennens placering er læst korrekt ind i TRS. Hvis dette ikke er gjort korrekt, vil der komme en fejl på de RTK korrektioner der sendes videre ud til brugeren via radioen. Hvordan dette gøres er beskrevet i manualen til TRS..

For at kunne ændre på indstillingerne for udsendelse af RTK korrektioner, er det nødvendigt at stoppe de aktuelle målinger ved at vælge "Stop logging". Husk at undersøge om der er andre i gang med at lave observationer, da disse ellers bliver forstyret.

Parametrene for udsending af RTK korrektioner kan findes under menupunktet Tools – Real-time settings. Figur 7-1 viser skærbilledet for RTK indstillingerne.

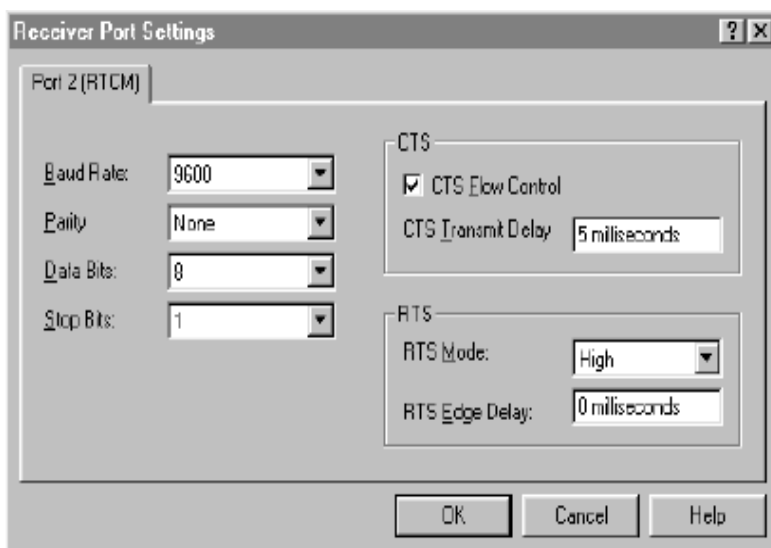


**Figur 7-1** Indstilling af RTCM korrektioner i TRS.

For at sætte modtageren til at sende RTK korrektioner skal der være ”hak” i ”Set RTCM Node”. Denne skal sættes til ”On” for at give modtageren besked om at sende korrektioner. Som format vælges ”Version 2.1 + RTK” og ”Receiver Port” sættes til ”Port 2” som er den port radioen er tilsluttet GPS modtageren via.

Under ”Settings...” er det bl.a. muligt at indstille, om radioen skal sende et ID fra basestationen og andre instilinger.

De vigtigste indstillinger findes under ”Port Settings...”. Her bestemmes med hvilken hastighed data udveksles mellem modtager og radio. For at de skal kunne kommunikere perfekt sammen, er det af højeste vigtighed, at disse indstillinger er ens i GPS modtager og radio. Figur 7-2 viser skærbilledet for ”Port Settings...”.



**Figur 7-2** Indstilling af kommunikationshastigheden for GPS porten.

Her skal forbindelsens ”Baud Rate”, ”Parity”, ”Data Bits” og ”Stop Bits” sættes. Følgende opsætning har jeg fået til at virke upåklageligt.

---

Baud Rate	38600
Parity	Odd
Data Bits	8
Stop Bits	1

---

Denne indstilling skal være identisk i både GPS modtager og radio. De resterende indstillinger er ikke testet og det anbefales derfor at beholde standard indstillingerne på disse områder.

Der klikkes derefter ”Ok” for at vende tilbage til hovedskærmen. Her vælges ”Start logging” og ændringerne bliver først nu udført. GPS modtageren sender nu et RTK korrektionssignal ud af port 2.

### **Opsætning af PDL LPB**

Da radioen PDL LPB ikke giver brugeren mulighed for at ændre i indstillingerne direkte, er det nødvendigt at tilslutte den til en computer via et data/strømskik. Det er et Y-stik med et

stik til radioen, et stik til at tilslutte strøm og et datainterface i form af et serielstik.

Programmet til at kommunikere med radioen hedder PDLCONF 2.40. Den nyeste version ligger til gratis download på Pacific Crest's hjemmeside [www.paccrest.com](http://www.paccrest.com). Samtidig med at indstillingerne for baseradioen er beskrevet, vil det også blive nævnt hvis der er steder hvor indstillingerne for repeateren fraviger fra basen.

Programmet startes op på PC'eren. Radioen og PC'eren forbindes med Y-stikket hvortil der også sættes strøm til enten vha. et 12V batteri eller anden 12V jævnstrømskilde. I valgknapperne til venstre i programmets interface trykkes der "Load" og lige derefter tændes radionen. Der skulle nu være forbindelse mellem software og radioen.

Den første side i programmets interface - "Identification", giver bl.a. information om radioens firmware version og hvilket frekvensbånd den sender på. Det er her muligt at tildele radioen et "Call Sign", så denne radio kan identificeres entydigt af roveren. Udover dette er der ingen grund til at foretage ændringer

Den næste side – "Radio Link" – er derimod meget vigtig for at få radioen til at kommunikere optimalt med andre enheder. I "Channel Select" er det muligt enten at vælge en forudbestemt radiofrekvens som radioen skal benytte, eller også via "Auto Base" eller "Repeater" fortælle radioen at den selv skal lede efter den bedst mulige frekvens af dem der er indlæst i radioens software. Radioen der skal anvendes som base kan med fordel anvende "Auto Base" funktionen, mens den der skal anvendes som repeater vælger den tilsvarende funktion.

"Link Rate" er den vigtigste indstilling for at radioerne fungerer optimalt. Her er det bedste resultat opnået ved at vælge "9600 baud GMSK". For basen sættes "Digisquelch" til "Low", mens repeateren sættes til "High". Dette siger noget om hvilken følsomhed radioen har over for andre radiofrekvenser i nærheden. En lav værdi vil mindske forstyrrelsen fra andre signaler men den vil også forringe rækkevidden af signalet den sender. De andre værdier i denne kategori kan med fordel blive stående som fabriksstandard.

I "Serial Interface" fanebladet er det vigtigt at kontrollere at "Baud Rate" og "Parity" er sat til samme værdier som i TRS. Dette sikre, at enhederne virker optimalt sammen. "Mode"

sættes til "TrimTalk at 9600" og for repeateren sættes der hak i checkboxen "Repeater". De resterende indstillinger skal ikke ændres fra fabriksstandarderne.

Når alle ændringerne er foretaget trykkes der "Program" og de nye indstillinger bliver læst ind i radioen. Derefter afbrydes forbindelsen ved at trykke "Close". Radioen er herefter klar til brug.

### **Opsætning og igangsætning af base radio**

Under forudsætning af, at ovenstående opsætning af TRS og PDLCONF er foretaget korrekt, tilsluttes radioen til en ledig port på referencestationens modtager med et Lemo Kabel. Base radioen får strøm gennem GPS modtagerens og skal derfor ikke forsynes med ekstern strøm. Ved referencestationen på DTU bygning 321 er der installeret en fast antenne ved siden af den faste GPS antenne, og antennekablet til radioen er trukket ned så slutmuffen ligger lige ved GPS modtageren. Denne skrues på selve radioen og den er nu klar til brug.

Selve betjeningen af radioen er yderst simpel. Ved at trykke på "On" knappen lyser displayet op og en rød diode lyser ved "ON". Ved at trykke på "Channel" knappen indtil der vises et lille "b" i displayet, indstilles radioen til at stå i "Auto Base". Det betyder, at den scanner alle frekvenserne for de indprogrammerede kanaler for at vælge den med mindst interferens. Da DTU kun er tildelt en frekvens, går dette rimeligt hurtigt, men ifølge manualen kan det tage helt op til 16 minutter, hvis alle kanalerne benyttes.

Efter at have scannet alle kanaler igennem viser radioen den valgte kanal i displayet efterfulgt af et punktum, hvilket betyder at radioen står i "Auto Base" mode. Nu skulle dioden med markeringen "Tx" gerne blinke ca. en gang i sekundet. Dette betyder, at radioen nu sender RTK korrektioner ud via antennen. Hvis dette ikke sker, så er der gået noget galt i opsætningen af enten TRS eller PDLCONF.

### **Opsætning og igangsætning af repeater radio**

Opsætningen for repeateren er næsten identisk med opsætningen for base radioen. Der er dog få forskelle. Da den ikke har indbygget batteri, er det nødvendigt at tilfører strøm. Enten med det medfølgende 12V batteri eller med en 12V jævnstrømstransformer. Radioen kan monteres

på landmålerstativ eller monteres på væg med det beslag, der er lavet til den. Den løse antenne monteres på toppen af repeateren. Det er vigtigt, at montere antennen højt da rækkevidden for signalet er meget afhængig, hvor højt den sidder.

Repeateren tændes ved trykke "On". I modsætning til base radioen vælges "r" i displayet ved at trykke "Channel" nogle gange. Herefter scanner repeateren frekvenserne på de indbyggede kanaler og vælger det stærkeste signal. Igen er der kun en kanal og det tager derfor ikke lang tid.

Når den har låst sig fast på en kanal begynder dioderne "Rx" og "Tx" at blinke ca. en gang i sekundet. "Rx" betyder, at repeateren modtager et signal og "Tx" betyder, at det bliver sendt videre. Hvis dette ikke sker undersøges først om basen fungerer korrekt og derefter kan der ledes efter fejl i opsætningen af repeateren ved hjælp af PDLCONF.

Ifølge Pacific Crest er radioen bygget solidt, men den er ikke beregnet til at sidde ude hele året. Det kan derfor betale sig at have et forlænger-kabel til repeateren så antennen kan være monteret udenfor, mens selve radioen ligger indenfor, hvis det drejer sig om en permanent placering.

### **Problemer med hardware**

Der har været store problemer med at få især repeateren til at fungerer efter hensigten. Det er svært at lave fejlfinding da betjeningen af radioerne er reduceret til et display med relativt få informationer samt to betjeningsknapper. Ved projektets afslutning var der stadig problemer med at få repeateren til at køre stabilt. Selv om den har været til service i løbet af sommeren 2005 opfører den sig stadig utilregneligt til tider. En tilbunds-gående servicegennemgang kunne være på sin plads.





## 8. Litteraturliste

- [1] Alber, C., R. Ware, C. Rocken, J. Braun (2000). Obtaining single path phase delays from GPS double differences. *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, No. 7, Pages 2661-2664.
- [2] Alves, P., I. Geisler, N. Brown, J. Wirth, H.-J. Euler (2005). Introduction of a geometry-Based Network RTK Quality Indicator. *Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland*.
- [3] Dueholm, K., M. Laurentzius (2002). GPS. *Ingeniøren/bøger*, 2. udgave, 1. oplag, Denmark. ISBN 87-571-2412-4.
- [4] Euler, H.-J., B. Zebhauser, B. Townsend, G. Wübbena (2002). Comparison of Different Proposals for Reference Station Network Information Distribution Formats. *Published in Proceedings of ION GPS 2002, Portland, Oregon*.
- [5] Keenan, R. (2003). GPS-Newsletter – General. *Monthly newsletter on System 500 GPS*, [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com).
- [6] Landau, H., U. Vollath, X. Chen (2002). Virtual Reference Station Systems. *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 1, No. 2: 137-143.
- [7] Landau, H., U. Vollath, X. Chen (2003). Virtual Reference Satations versus Broadcast Solutions in Network RTK – Advantages and Limitations. Paper submitted to GNSS 2003.
- [8] Leica booklet (2005). GPS Reference Stations and Networks An introductory guide. *Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland*.
- [9] Leica Data Sheet (2005). Leica GPS1200 Series Technical Data. [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com).
- [10] Leica White Paper (2005). Networked Reference Stations Take it to the MAX! [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)
- [11] Mærsk-Møller, E., P. Frederiksen (1984). Elementudjævning. *Den private ingeniørfond. Danmarks Tekniske Højskole. Lyngby, Danmark*.
- [12] Pacific Crest Cooperation (2000). The Guide to Wireless GPS Data Links. *Third Edition*, [www.paccrst.com](http://www.paccrst.com).

- [13] Rizos, C. (2003). Network RTK Research and Implementation – A Geodetic Perspective. *Journal of Global Positioning Systems (2002), Vol.1, No. 2:144-150.*
- [14] Rocken, C., J. M. Johnson, J. J. Braun, H. Kawawa, Y. Hatanaka, T. Imakiire (2000). Improving GPS surveying with modeled ionospheric corrections. *Geophysical Research Letters. Vol 27, 3821. 2000.*
- [15] Trimble Data Sheet (2004). Trimble R8 GPS System. [www.trimble.com](http://www.trimble.com).
- [16] Trimble White Paper (2005). Support of Network Formats by Trimble GPSNet Network RTK Solution. [www.trimble.com](http://www.trimble.com).
- [17] Villadsen, S.S. (2002). RTK test udført ved Kort- & Matrikelstyrelsen. *Kort- og Matrikelstyrelsen, København, Danmark.*
- [18] Vollath, U., E. Brockmann, X. Chen (2003). Troposphere: Signal or Noise? *ION GPS/GNSS 2003, Sept. 9-12, 2003, Portland, Oregon.*
- [19] Vollath, U., H. Landau, X. Chen (2002). Network RTK – Concept and Performance. [www.trimble.com](http://www.trimble.com), *Trimble Terrasat GmbH.*
- [20] Vollath, U., H. Landau, X. Chen, K. Doucet, C. Pagels (2002). Network RTK Versus Single Base RTK – Understanding the Error Characteristics. *Presented at ION GPS 2002, Portland, Oregon.*
- [21] Wübbena, G., A. Bagge (2002). RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP, Version 1.0. [www.geopp.de](http://www.geopp.de).
- [22] Wübbena, G., M. Schmitz, A. Bagge (2005). PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks. *Presented at the International Technical Meeting, ION GNSS-05, Long Beach, California.*
- [23] Xu, G. (2003). GPS Theory, Algorithms and Applications. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. ISBN 3-540-67812-3.*

**Bilag 1** Eksempel på opmålingstidsplan

Specifik opmålingsplan for et opmålingssæt	Del 1
--	-------

Dag:	10-nov-04	Antennehøjde før:		Master:	Tune
Start kl:	21:00:00	Antennehøjde efter:		Rover:	2-07-00001

Net	Starttid	Obslængde [sek]	Antal obs	Præfiks	Code	Bemærkning
Enkelt	21:00:00	5	10	1A	Single5	
	21:01:50	10	10	1A	Single10	
	21:04:30	15	10	1A	Single15	
	21:08:00	30	10	1A	Single30	
	21:15:00	5	10	1A	Single5	
	21:16:50	10	10	1A	Single10	
	21:19:30	15	10	1A	Single15	
	21:23:00	30	10	1A	Single30	
	21:30:00	5	10	1A	Single5	
	21:31:50	10	10	1A	Single10	
	21:34:30	15	10	1A	Single15	
	21:38:00	30	10	1A	Single30	
	21:45:00	5	10	1A	Single5	
	21:46:50	10	10	1A	Single10	
	21:49:30	15	10	1A	Single15	
	21:53:00	30	10	1A	Single30	
	22:00:00	Kontinuert	1	1A	SingleCont	

Netværk	0:00:00	Kontinuert	1	1A	NetCont
	2:00:00	5	10	1A	Net5
	2:01:50	10	10	1A	Net10
	2:04:30	15	10	1A	Net15
	2:08:00	30	10	1A	Net30
	2:15:00	5	10	1A	Net5
	2:16:50	10	10	1A	Net10
	2:19:30	15	10	1A	Net15
	2:23:00	30	10	1A	Net30
	2:30:00	5	10	1A	Net5
	2:31:50	10	10	1A	Net10
	2:34:30	15	10	1A	Net15
	2:38:00	30	10	1A	Net30
	2:45:00	5	10	1A	Net5
	2:46:50	10	10	1A	Net10
	2:49:30	15	10	1A	Net15
	2:53:00	30	10	1A	Net30

**Bilag 2** Data output fra Leica udstyr

Point ID	Point Class	Point Subclass
Date/Time	Coordinate Type	Coordinate Format
Coordinate Source XY	Coordinate Source Z	Easting
Northing	Ellip. Hgt.	Code
M0	Q11	Q12
Q13	Q22	Q23
Q33	Sd. Easting	Sd. Northing
Sd. Height	Posn. Qlty	Hgt. Qlty
Posn. + Hgt. Qlty	Semi-major (a)	Semi-minor (b)
Orientation (Phi)	Reliability (E-W)	Reliability (N-S)
Reliability Height	Avg. Limit Exceeded	Start
Duration	Latitude	Longitude
HDOP	VDOP	TDOP
GDOP	No. satellites	Sensor type
Point type	End	Height reading
Measurement type	Moving antenna height	Antenna type
Antenne vertical offset	Creator	Sensor id
Sensor serial no.		

**Bilag 3** Procedure for opmåling. Test af Leica's netværks RTK-løsning.

## Pre-markarbejde

Download nyeste version af almanakken.

Udarbejd og print opdateret forsøgsplan.

Check for regelmæssigheder i Leica's referencenet.

Check at Compact Flash kortet har tilstrækkelig hukommelse til næste måling.

## Huskeliste

Modtager, interface og antenne.

Stativ, fodstykke og antennehøjdemålerbeslag.

Forlængerledning.

Compact Flash kort, 32 mb.

Telt, underlag og sovepose.

Pandelampe og olielampe

Opdateret forsøgsplan, skriveplade og skriveredskaber.

Lidt godt til ganen. Mad og vand.

## Opstillingsprocedure

Slå telt op, fold underlag ud og pak sovepose ud.

Centrer stativ og fodstykke over punkt.

Monter antenne med "Leica" orienteret mod nord.

Mål antennehøjden og noter denne på forsøgsplanen.

Placer modtager i fortelt og tag interface med ind i teltet.

Tænd modtager og check at der er forbindelse til satellitterne.

## Pre-testfase

Check opmålingsrækkefølgen på forsøgsplanen.

Check de 2 opmålingskonfigurationer GSM Rover og FKP.

Indtast antennehøjden i dem begge.

Indtast antal observationer til måling (start med 5 observationer).

Ring op til det ønskede nummer. Enten enkeltnet eller FKP3.

## Testfase

Følg opmålingsplanen slavisk.

Noter hvis der er uregelmæssigheder.

#### Posttestfase

Sluk for modtageren.  
Pak udstyr i teltet ned.  
Mål antennehøjden igen og notér denne.  
Pak udstyr sammen.  
Pak telt sammen.  
Kør hjem.

#### Post-markarbejde

Download GPS-data til PC.  
Lav back-up på CD-rom og anden harddisk.  
Hent ionosfærisk indeks, I95.  
Lad batterier op.  
Gør klar til næste opmåling.

**Bilag 4** Trimble Data Output

Punkt	Kode	Northing [m]
Easting [m]	Kote [m] (DK98)	Ellipsoidehøjde [m]
Starttid	Stoptid	Antennehøjde
Horisontal nøjagtighed [m]	Vertikal nøjagtighed [m]	RMS [m]
Max PDOP	Max RDOP	Max HDOP
Max VDOP	Min antal Satellitter	Antal epoker
S <sub>0</sub>	DeltaX [m]	DeltaY [m]
DeltaZ [m]	Sigma nord [m]	Sigma east [m]
Sigma up [m]		



## **Bilag 5** Procedure for opmåling. Test af Trimble's netværks-RTK.

### Pre-markarbejde

Download nyeste version af almanakken.  
Udarbejd og print opdateret forsøgsplan.  
Check for regelmæssigheder i GPSNet.  
Check at Trimble CU'en har tilstrækkelig hukommelse til næste måling.

### Huskeliste

Modtager, CU.  
Stativ, fodstykke og tommestok.  
Kabel mellem modtager og CU.  
Pæle, muggert og søm.  
Pandelampe.  
Opdateret forsøgsplan og skriveredskaber.  
Lidt godt til ganen. Mad og vand.

### Opstillingsprocedure

Etabler et punkt med en pæl med søm i.  
Centrer stativ og fodstykke over punkt.  
Monter antenne med dioderne orienteret mod nord.  
Mål antennehøjden og noter denne på forsøgsplanen.  
Monter kabel mellem modtager og CU..  
Tænd modtager og check at der er forbindelse til satellitterne.

### Pre-testfase

Check opmålingsrækkefølgen på forsøgsplanen.  
Check de 2 opmålingskonfigurationer FastStatic og GPSNet.  
Indtast antennehøjden i dem begge.  
Indtast antal observationer til måling (start med 5 observationer).  
Check at der er god forbindelse til mobilnet.

### Testfase

Følg opmålingsplanen slavisk.  
Noter hvis der er uregelmæssigheder.

### Posttestfase

Sluk for modtager og CU.  
Mål antennehøjden igen og notér denne.  
Pak udstyr sammen.  
Kør hjem.

### Post-markarbejde

Download GPS-data til PC.  
Lav back-up på CD-rom og anden harddisk.  
Hent ionosfærisk indeks, I95.  
Lad batterier op.  
Gør klar til næste opmåling.

**Bilag 6** Statistik – Leica Enkelstation – 2-07-00001

Opmålingsstil:	<b>Enkelstations</b>	Metode:	<b>Single</b>
----------------	----------------------	---------	---------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
2-07-00001	6173285,670	705988,932	79,341	0,005	0,010	11,7

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kodeløsn.	% fase-løsn.	%SekSlip
Kontinuert 1sek	13800	12272	1528	89	100,0
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	%Kont. Faseløsning
15sek	80	80	0	100	88,9
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,033	0,009	0,035	-0,385	0,104
5 sek	0,036	0,004	0,037	0,029	0,045
10sek	0,037	0,004	0,037	0,024	0,045
15sek	0,040	0,015	0,043	0,030	0,123
30sek	0,037	0,005	0,037	0,026	0,063

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,006	0,005	0,008	-0,145	0,035
5 sek	0,005	0,002	0,006	0,000	0,010
10sek	0,007	0,003	0,007	-0,001	0,011
15sek	0,007	0,003	0,008	0,000	0,017
30sek	0,005	0,002	0,006	0,000	0,011

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	0,002	0,023	0,023	-1,459	0,238
5 sek	-0,004	0,009	0,010	-0,038	0,007
10sek	-0,002	0,007	0,007	-0,039	0,011
15sek	0,006	0,019	0,020	-0,032	0,101
30sek	0,002	0,009	0,009	-0,018	0,032

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,034	0,009	0,035	0,002	0,411
5 sek	0,037	0,004	0,037	0,029	0,045
10sek	0,037	0,004	0,038	0,025	0,046
15sek	0,041	0,015	0,043	0,031	0,124
30sek	0,037	0,005	0,037	0,026	0,063

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,038	0,018	0,042	0,011	1,516
5 sek	0,038	0,004	0,038	0,031	0,048
10sek	0,038	0,004	0,038	0,032	0,046
15sek	0,043	0,020	0,048	0,031	0,160
30sek	0,038	0,006	0,038	0,027	0,071

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,011	0,006	0,025	0,013	0,028
5 sek	0,008	0,005	0,015	0,010	0,018
10sek	0,008	0,005	0,015	0,009	0,018
15sek	0,009	0,005	0,017	0,011	0,020
30sek	0,008	0,005	0,014	0,009	0,017

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	5,06	1,43	4,00	15,00
10sek	9,95	0,22	9,00	10,00
15sek	14,85	0,36	14,00	15,00
30sek	30,15	1,69	29,00	45,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	6,49	1,83	6	9
5 sek	7,80	1,01	6	9
10sek	7,78	1,11	5	9
15sek	7,56	1,19	5	9
30sek	7,55	1,02	6	9

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,24	0,43	0,8	8,0
5 sek	1,24	0,43	0,9	2,3
10sek	1,27	0,58	0,9	4,0
15sek	1,49	0,89	0,9	4,7
30sek	1,37	0,46	0,9	2,3

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	3,31	2,37	1,6	14,8
5 sek	1,73	0,25	1,3	2,2
10sek	1,96	1,43	1,3	10,7
15sek	2,06	0,82	1,4	5,1
30sek	2,02	0,51	1,4	3,3

**Bilag 7** Statistik – Leica Enkeltsation – 4-08-00001

Opmålingsstil: <b>Enkelstations</b>	Metode: <b>Single</b>
-------------------------------------	-----------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
4-08-00001	6167566,165	700234,961	106,762	0,005	0,010	3,7

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kode-løsn.	% fase-løsn.	% SekSlip
Kontinuert 1sek	6869	6869	0	100	100,0
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	%Kont. Faseløsning
15sek	80	80	0	100	100,0
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,019	0,006	0,020	-0,338	0,053
5 sek	0,016	0,004	0,017	0,007	0,026
10sek	0,016	0,004	0,016	0,005	0,024
15sek	0,017	0,005	0,017	0,008	0,030
30sek	0,017	0,004	0,017	0,005	0,028

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	-0,001	0,004	0,004	-0,167	0,024
5 sek	0,000	0,004	0,003	-0,006	0,007
10sek	-0,001	0,003	0,003	-0,007	0,008
15sek	-0,002	0,003	0,003	-0,010	0,004
30sek	0,000	0,003	0,003	-0,006	0,010

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	0,010	0,018	0,021	-1,220	0,103
5 sek	0,001	0,011	0,011	-0,024	0,028
10sek	0,000	0,009	0,009	-0,023	0,012
15sek	0,007	0,010	0,012	-0,007	0,036
30sek	0,000	0,009	0,009	-0,023	0,015

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,019	0,006	0,020	0,005	0,377
5 sek	0,016	0,004	0,017	0,007	0,026
10sek	0,016	0,004	0,017	0,005	0,024
15sek	0,017	0,005	0,018	0,008	0,030
30sek	0,017	0,004	0,017	0,006	0,028

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,023	0,018	0,029	0,007	1,277
5 sek	0,020	0,005	0,020	0,011	0,038
10sek	0,018	0,004	0,019	0,012	0,028
15sek	0,020	0,008	0,021	0,009	0,046
30sek	0,019	0,005	0,020	0,006	0,031

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,007	0,005	0,016	0,008	0,018
5 sek	0,006	0,004	0,013	0,008	0,015
10sek	0,006	0,004	0,012	0,008	0,014
15sek	0,006	0,004	0,012	0,007	0,014
30sek	0,007	0,004	0,012	0,008	0,014

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,91	0,28	4,00	5,00
10sek	9,86	0,35	9,00	10,00
15sek	15,11	1,23	14,00	25,00
30sek	30,16	0,91	29,00	34,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	8,29	0,71	5	9
5 sek	7,84	1,14	5	9
10sek	7,85	1,03	6	9
15sek	7,68	1,00	6	9
30sek	7,64	1,11	5	9

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,32	0,70	0,8	2,6
5 sek	1,32	0,70	0,9	4,2
10sek	1,24	0,46	0,9	2,4
15sek	1,29	0,46	0,9	2,4
30sek	1,34	0,50	0,9	3,3

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	1,87	0,33	1,6	8,3
5 sek	2,05	1,87	1,3	11,4
10sek	1,71	0,30	1,3	2,3
15sek	1,82	0,32	1,4	3,2
30sek	2,04	0,88	1,3	8,1

**Bilag 8** Statistik – Leica Enkeltsation – 14-08-00001

Opmålingsstil: <b>Enkelstations</b>	Metode: <b>Single</b>
-------------------------------------	-----------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
14-08-00001	6178118,172	657977,274	82,544	0,005	0,010	20,2

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kode-løsn.	% fase-løsn.	% SekSlip
Kontinuert 1sek	13790	12294	1496	89	90,2
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	%Kont. Faseløsning
15sek	80	80	0	100	80,4
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	-0,008	0,007	0,011	-0,052	0,045
5 sek	-0,006	0,007	0,009	-0,020	0,009
10sek	-0,004	0,006	0,008	-0,018	0,010
15sek	-0,006	0,006	0,009	-0,019	0,010
30sek	-0,006	0,006	0,008	-0,018	0,012

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	-0,008	0,005	0,010	-0,041	0,011
5 sek	-0,007	0,004	0,008	-0,016	0,000
10sek	-0,007	0,005	0,009	-0,019	0,004
15sek	-0,007	0,004	0,009	-0,015	0,006
30sek	-0,009	0,004	0,010	-0,017	0,000

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	0,028	0,017	0,033	-0,050	0,213
5 sek	0,024	0,010	0,026	0,004	0,055
10sek	0,030	0,017	0,034	0,002	0,066
15sek	0,022	0,013	0,026	0,003	0,061
30sek	0,026	0,013	0,029	-0,014	0,058

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,013	0,006	0,015	0,000	0,060
5 sek	0,011	0,005	0,012	0,001	0,022
10sek	0,011	0,005	0,012	0,000	0,021
15sek	0,012	0,004	0,012	0,005	0,022
30sek	0,013	0,004	0,013	0,004	0,021

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,033	0,014	0,036	0,000	0,217
5 sek	0,027	0,010	0,029	0,008	0,056
10sek	0,033	0,015	0,036	0,007	0,067
15sek	0,026	0,012	0,028	0,008	0,062
30sek	0,030	0,010	0,032	0,010	0,060

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,019	0,013	0,040	0,023	0,046
5 sek	0,020	0,013	0,038	0,024	0,045
10sek	0,020	0,013	0,037	0,024	0,044
15sek	0,019	0,013	0,035	0,023	0,042
30sek	0,019	0,013	0,036	0,023	0,043

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,69	0,49	4,00	6,00
10sek	9,74	0,44	9,00	10,00
15sek	14,59	0,50	14,00	15,00
30sek	29,63	0,49	29,00	30,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	8,29	0,60	6	9
5 sek	7,93	1,04	6	9
10sek	7,81	1,02	6	9
15sek	7,85	0,83	6	9
30sek	7,76	0,94	6	9

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,23	0,46	0,8	3,6
5 sek	1,23	0,46	0,9	2,4
10sek	1,25	0,46	0,9	2,4
15sek	1,16	0,26	0,9	2,4
30sek	1,21	0,30	0,9	2,0

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	1,79	0,27	1,4	4,1
5 sek	1,71	0,30	1,3	2,3
10sek	1,75	0,28	1,3	2,3
15sek	1,70	0,24	1,4	2,4
30sek	1,85	0,55	1,3	3,3



**Bilag 9** Statistik – Leica Netværksløsning – 2-07-00001

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>FKP</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
2-07-00001	6173285,670	705988,932	79,341	0,005	0,010	12,0

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kode-løsn.	% fase-løsn.	% SekSlip
Kontinuert 1sek	12666	11644	1022	92	91,7
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	%Kont. Faseløsning
15sek	80	80	0	100	84,3
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,009	0,020	0,022	-0,248	0,189
5 sek	0,014	0,005	0,015	0,000	0,031
10sek	0,015	0,007	0,017	0,005	0,040
15sek	0,013	0,009	0,016	-0,011	0,043
30sek	0,012	0,005	0,013	-0,001	0,027

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,005	0,015	0,016	-0,144	0,145
5 sek	0,005	0,004	0,006	-0,010	0,012
10sek	0,002	0,005	0,005	-0,008	0,012
15sek	0,005	0,004	0,006	-0,005	0,023
30sek	0,004	0,004	0,006	-0,008	0,015

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	-0,009	0,065	0,065	-0,225	0,550
5 sek	-0,029	0,019	0,035	-0,113	0,011
10sek	-0,032	0,011	0,034	-0,058	-0,001
15sek	-0,033	0,023	0,040	-0,091	0,061
30sek	-0,027	0,015	0,031	-0,069	0,021

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,021	0,017	0,027	0,000	0,287
5 sek	0,015	0,005	0,016	0,006	0,031
10sek	0,016	0,007	0,017	0,005	0,040
15sek	0,015	0,008	0,017	0,001	0,043
30sek	0,014	0,004	0,014	0,005	0,028

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,052	0,049	0,071	0,001	0,560
5 sek	0,034	0,017	0,038	0,013	0,117
10sek	0,037	0,011	0,038	0,007	0,061
15sek	0,039	0,019	0,043	0,008	0,091
30sek	0,032	0,011	0,034	0,011	0,070

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,013	0,008	0,030	0,016	0,034
5 sek	0,009	0,006	0,022	0,011	0,024
10sek	0,009	0,006	0,021	0,011	0,023
15sek	0,009	0,006	0,021	0,011	0,024
30sek	0,009	0,006	0,019	0,010	0,021

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,89	0,32	4,00	5,00
10sek	9,94	0,29	9,00	11,00
15sek	15,08	1,26	14,00	26,00
30sek	29,91	0,28	29,00	30,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	6,29	1,24	5	9
5 sek	7,00	1,59	5	9
10sek	6,80	1,57	5	9
15sek	6,95	1,61	4	9
30sek	6,94	1,37	5	9

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,87	1,11	0,9	8,3
5 sek	1,87	1,11	0,9	4,2
10sek	1,76	1,04	0,9	4,0
15sek	1,76	0,95	0,8	3,9
30sek	1,66	0,73	0,9	3,4

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	3,42	2,31	1,6	15,0
5 sek	3,85	3,33	1,5	11,5
10sek	3,63	3,08	1,3	10,9
15sek	3,54	2,91	1,3	14,5
30sek	2,98	2,04	1,4	8,7

**Bilag 10** Statistik – Leica Netværksløsning – 3-07-00816

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>FKP</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
3-07-00816	6172741,093	695290,054	71,148	0,005	0,010	19,9

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kode-løsn.	% fase-løsn.	% SekSlip
Kontinuert 1sek	13732	7606	6126	55	90,8
5 sek	80	65	15	81	
10sek	80	77	3	96	%Kont. Faseløsning
15sek	80	76	4	95	50,3
30sek	80	77	3	96	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	-0,001	0,036	0,036	-0,254	0,163
5 sek	-0,002	0,012	0,012	-0,030	0,018
10sek	0,002	0,012	0,012	-0,028	0,026
15sek	0,006	0,009	0,011	-0,011	0,026
30sek	0,003	0,011	0,011	-0,023	0,026

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,002	0,026	0,026	-0,233	0,318
5 sek	0,002	0,010	0,010	-0,016	0,036
10sek	0,007	0,018	0,019	-0,024	0,077
15sek	-0,003	0,015	0,016	-0,035	0,042
30sek	-0,004	0,011	0,012	-0,034	0,019

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	-0,102	0,083	0,131	-0,927	0,966
5 sek	-0,120	0,043	0,127	-0,243	-0,057
10sek	-0,115	0,058	0,129	-0,253	0,067
15sek	-0,103	0,051	0,115	-0,229	0,017
30sek	-0,110	0,037	0,116	-0,197	-0,032

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,028	0,034	0,044	0,000	0,318
5 sek	0,013	0,009	0,016	0,002	0,044
10sek	0,016	0,016	0,022	0,001	0,082
15sek	0,015	0,011	0,019	0,000	0,043
30sek	0,014	0,009	0,016	0,001	0,041

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,123	0,063	0,139	0,004	1,011
5 sek	0,121	0,042	0,128	0,067	0,245
10sek	0,122	0,046	0,131	0,035	0,254
15sek	0,106	0,049	0,117	0,026	0,231
30sek	0,111	0,037	0,117	0,034	0,201

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,047	0,033	0,129	0,060	0,144
5 sek	0,025	0,020	0,063	0,033	0,072
10sek	0,025	0,021	0,063	0,033	0,071
15sek	0,025	0,020	0,063	0,033	0,071
30sek	0,024	0,018	0,056	0,031	0,064

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,91	0,29	4,00	5,00
10sek	9,77	0,43	9,00	10,00
15sek	14,68	1,02	9,00	15,00
30sek	29,88	0,32	29,00	30,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	5,67	1,23	5	9
5 sek	6,80	1,21	5	9
10sek	6,44	1,11	5	9
15sek	6,33	1,36	5	9
30sek	6,51	1,40	5	9

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,80	1,08	0,9	8,1
5 sek	1,80	1,08	0,9	4,1
10sek	1,86	0,94	0,9	3,9
15sek	2,09	1,65	0,9	14,3
30sek	1,95	1,49	0,9	13,2

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	5,14	3,19	1,7	14,7
5 sek	3,51	3,28	1,5	11,2
10sek	3,54	2,87	1,5	10,5
15sek	3,95	3,60	1,4	26,2
30sek	3,49	3,10	1,3	24,2

**Bilag 11** Statistik – Leica Netværksløsning – 4-08-00001

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>FKP</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
4-08-00001	6167566,165	700234,961	106,762	0,005	0,010	20,1

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kode-løsn.	% fase-løsn.	% SekSlip
Kontinuert 1sek	6544	4509	2035	69	83,0
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	%Kont. Faseløsning
15sek	80	80	0	100	57,2
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,000	0,016	0,016	-0,149	0,229
5 sek	0,003	0,007	0,007	-0,012	0,020
10sek	0,001	0,010	0,010	-0,026	0,016
15sek	0,005	0,005	0,007	-0,008	0,013
30sek	0,002	0,010	0,010	-0,019	0,021

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,002	0,011	0,011	-0,088	0,098
5 sek	0,001	0,006	0,006	-0,012	0,016
10sek	0,002	0,006	0,006	-0,010	0,027
15sek	0,000	0,005	0,005	-0,011	0,011
30sek	0,001	0,006	0,006	-0,011	0,018

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	-0,049	0,036	0,061	-0,383	0,316
5 sek	-0,052	0,032	0,061	-0,140	0,015
10sek	-0,056	0,042	0,070	-0,186	0,035
15sek	-0,048	0,028	0,055	-0,107	0,069
30sek	-0,050	0,023	0,055	-0,120	0,002

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,013	0,015	0,020	0,000	0,229
5 sek	0,009	0,004	0,010	0,000	0,020
10sek	0,010	0,006	0,012	0,001	0,028
15sek	0,008	0,003	0,008	0,001	0,016
30sek	0,011	0,006	0,012	0,001	0,025

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,056	0,032	0,064	0,004	0,397
5 sek	0,054	0,030	0,061	0,012	0,141
10sek	0,059	0,040	0,071	0,012	0,187
15sek	0,052	0,020	0,056	0,007	0,107
30sek	0,052	0,022	0,056	0,011	0,122

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,028	0,017	0,058	0,033	0,066
5 sek	0,024	0,017	0,057	0,030	0,065
10sek	0,023	0,017	0,056	0,029	0,064
15sek	0,023	0,015	0,049	0,027	0,056
30sek	0,025	0,015	0,047	0,029	0,055

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	5,10	1,55	4,00	18,00
10sek	9,95	0,31	9,00	11,00
15sek	14,88	0,43	12,00	15,00
30sek	30,78	5,32	29,00	75,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	7,73	0,62	4	9
5 sek	6,98	1,88	4	9
10sek	7,00	1,68	4	9
15sek	6,74	1,45	4	9
30sek	6,61	1,62	4	9

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,87	1,20	0,9	7,4
5 sek	1,87	1,20	0,9	4,9
10sek	1,80	1,11	0,9	5,1
15sek	1,68	0,76	0,9	3,7
30sek	1,67	0,62	0,9	3,6

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	2,09	1,37	1,4	14,7
5 sek	3,64	3,69	1,3	13,6
10sek	3,41	3,31	1,3	13,7
15sek	2,78	2,29	1,4	9,7
30sek	2,40	0,79	1,3	3,8

**Bilag 12** Statistik – Leica Netværksløsning – 14-08-00001

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>FKP</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]	Middelfejl Plan [m]	Middelfejl Højde [m]	Afst. til base [km]
14-08-00001	6178118,172	657977,274	82,544	0,005	0,010	20,2

Euref89 UTM32

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kode-løsn.	% fase-løsn.	% SekSlip
Kontinuert 1sek	13795	12237	1558	89	97,4
5 sek	80	60	20	75	
10sek	80	60	20	75	%Kont. Faseløsning
15sek	80	64	16	80	86,4
30sek	80	70	10	88	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (faseløsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,000	0,015	0,015	-0,307	0,203
5 sek	-0,010	0,018	0,020	-0,054	0,018
10sek	-0,004	0,017	0,017	-0,038	0,044
15sek	-0,004	0,014	0,014	-0,044	0,025
30sek	-0,003	0,013	0,013	-0,025	0,028

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (faseløsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,009	0,016	0,018	-0,164	0,354
5 sek	0,004	0,017	0,017	-0,027	0,046
10sek	0,001	0,013	0,013	-0,028	0,031
15sek	0,001	0,012	0,012	-0,039	0,048
30sek	0,004	0,012	0,013	-0,014	0,044

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (faseløsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	-0,040	0,088	0,097	-0,731	0,341
5 sek	-0,109	0,059	0,123	-0,243	0,008
10sek	-0,095	0,096	0,135	-0,570	0,074
15sek	-0,081	0,044	0,092	-0,177	0,059
30sek	-0,066	0,040	0,077	-0,147	0,055

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (faseløsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,017	0,017	0,024	0,000	0,469
5 sek	0,022	0,016	0,027	0,004	0,056
10sek	0,019	0,012	0,022	0,003	0,045
15sek	0,015	0,011	0,019	0,002	0,050
30sek	0,016	0,009	0,018	0,002	0,044

## Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,074	0,067	0,100	0,001	0,732
5 sek	0,112	0,058	0,126	0,008	0,249
10sek	0,110	0,082	0,136	0,028	0,572
15sek	0,088	0,033	0,094	0,009	0,183
30sek	0,073	0,032	0,080	0,009	0,147

## Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	Sigma N [m]	Sigma E [m]	Sigma H [m]	Sigma Plan [m]	Sigma 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,024	0,018	0,052	0,030	0,060
5 sek	0,032	0,026	0,082	0,042	0,093
10sek	0,034	0,030	0,089	0,046	0,102
15sek	0,027	0,021	0,050	0,035	0,062
30sek	0,028	0,021	0,051	0,036	0,063

## Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	5,03	0,41	4,00	8,00
10sek	10,28	2,44	9,00	25,00
15sek	14,83	0,38	14,00	15,00
30sek	29,99	0,21	29,00	31,00

## Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	7,40	0,85	4	8
5 sek	6,02	1,31	4	8
10sek	5,83	1,30	4	8
15sek	6,77	1,02	4	8
30sek	6,86	1,03	4	8

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	2,52	1,57	0,8	6,8
5 sek	2,52	1,57	1,1	5,3
10sek	2,68	1,63	1,1	5,9
15sek	1,73	0,91	1,1	4,3
30sek	1,58	0,82	1,1	4,9

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	2,15	0,69	1,4	6,8
5 sek	5,38	4,85	1,5	13,4
10sek	5,72	4,63	1,7	13,9
15sek	2,41	1,45	1,4	9,3
30sek	2,55	2,35	1,5	13,2



**Bilag 13** Statistik – Trimble Netværkløsning – 5km000001

Opmålingsstil: <b>Netværkløsning</b>	Metode: <b>VRS</b>
--------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]
5km000001	6168821,441	344163,660	38,941

Euref89 UTM33

Sigma N	Sigma E	Sigma H	Sigma Plan	Afs. base [km]
0,002	0,002	0,004	0,003	4,9

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kodeløsn.	% fase-løsn.	%SekSlip
Kontinuert 1sek	6900	6900	0	100	96,9
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	
15sek	80	80	0	100	
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,001	0,006	0,006	-0,021	0,024
5 sek	-0,001	0,003	0,003	-0,007	0,005
10sek	0,000	0,003	0,003	-0,005	0,007
15sek	0,000	0,003	0,003	-0,006	0,010
30sek	0,000	0,003	0,003	-0,008	0,005

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	-0,001	0,004	0,004	-0,016	0,018
5 sek	0,000	0,003	0,003	-0,009	0,008
10sek	-0,002	0,003	0,003	-0,010	0,004
15sek	-0,002	0,003	0,003	-0,007	0,004
30sek	-0,002	0,003	0,004	-0,008	0,005

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	-0,014	0,012	0,019	-0,074	0,026
5 sek	-0,015	0,006	0,016	-0,043	0,000
10sek	-0,012	0,006	0,014	-0,025	0,004
15sek	-0,016	0,006	0,017	-0,028	-0,003
30sek	-0,013	0,005	0,014	-0,023	-0,001

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,006	0,004	0,007	0,000	0,028
5 sek	0,003	0,002	0,004	0,000	0,010
10sek	0,004	0,002	0,004	0,000	0,010
15sek	0,004	0,002	0,004	0,000	0,011
30sek	0,004	0,002	0,005	0,001	0,008

Differentiel middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,018	0,010	0,020	0,000	0,075
5 sek	0,015	0,006	0,016	0,005	0,043
10sek	0,013	0,005	0,014	0,004	0,027
15sek	0,017	0,006	0,018	0,006	0,028
30sek	0,014	0,004	0,014	0,005	0,023

Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	$\sigma$ Plan [m]	$\sigma$ H [m]	$\sigma$ 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,010	0,014	0,018
5 sek	0,007	0,010	0,012
10sek	0,006	0,009	0,011
15sek	0,006	0,009	0,011
30sek	0,006	0,009	0,011

Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,44	0,63	4,00	6,00
10sek	9,73	1,15	9,00	13,00
15sek	15,08	1,70	14,00	25,00
30sek	32,05	3,42	29,00	41,00

Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	6,41	0,55	6	8
5 sek	7,73	1,39	6	10
10sek	7,63	1,33	6	10
15sek	7,61	1,45	6	10
30sek	7,89	1,29	6	10

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,40	0,36	0,9	2,0
5 sek	1,08	0,38	0,5	2,0
10sek	1,14	0,34	0,6	2,0
15sek	1,11	0,35	0,5	2,0
30sek	1,02	0,23	0,4	1,5

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	1,92	0,24	1,4	2,4
5 sek	1,59	0,39	0,7	2,2
10sek	1,72	0,34	0,9	2,2
15sek	1,72	0,40	0,8	2,4
30sek	1,65	0,40	0,8	2,4

## PDOP (faseløsning), "RDOP" for 5, 10, 15, 30 sek (ident. med PDOP)

Datasæt	Middel PDOP	Sigma PDOP	Min PDOP	Max PDOP
Kontinuert 1sek	2,39	0,36	1,8	2,9
5 sek	1,93	0,52	0,9	2,9
10sek	2,07	0,45	1,1	2,9
15sek	2,06	0,50	1,0	2,9
30sek	1,95	0,44	0,9	2,7

**Bilag 14** Statistik – Trimble Netværksløsning – 10km000001

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>VRS</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]
10km000001	6166356,923	337775,216	37,932

Euref89 UTM33

Sigma N	Sigma E	Sigma H	Sigma Plan	Afs. base [km]
0,004	0,003	0,007	0,005	10,8

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kodeløsn.	% fase-løsn.	%SekSlip
Kontinuert 1sek	6801	6801	0	100	95,6
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	
15sek	80	80	0	100	
30sek	80	79	1	98,75	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	-0,002	0,006	0,006	-0,025	0,019
5 sek	-0,001	0,005	0,005	-0,008	0,013
10sek	-0,001	0,004	0,004	-0,007	0,007
15sek	-0,002	0,004	0,005	-0,008	0,009
30sek	-0,003	0,004	0,005	-0,010	0,006

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	-0,002	0,004	0,004	-0,017	0,015
5 sek	-0,002	0,004	0,004	-0,012	0,009
10sek	-0,001	0,004	0,004	-0,012	0,010
15sek	-0,002	0,004	0,004	-0,014	0,007
30sek	-0,001	0,002	0,003	-0,006	0,004

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	0,031	0,012	0,033	-0,050	0,116
5 sek	0,021	0,007	0,022	0,005	0,038
10sek	0,022	0,006	0,023	0,008	0,030
15sek	0,020	0,005	0,020	0,006	0,035
30sek	0,021	0,006	0,022	0,009	0,035

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,006	0,004	0,007	0,000	0,029
5 sek	0,005	0,003	0,006	0,000	0,013
10sek	0,005	0,003	0,006	0,001	0,013
15sek	0,005	0,003	0,006	0,000	0,016
30sek	0,005	0,002	0,005	0,000	0,010

Differentiel middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,032	0,011	0,034	0,003	0,117
5 sek	0,022	0,007	0,023	0,010	0,039
10sek	0,023	0,006	0,023	0,009	0,031
15sek	0,021	0,005	0,021	0,007	0,035
30sek	0,021	0,006	0,022	0,012	0,036

Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	$\sigma$ Plan [m]	$\sigma$ H [m]	$\sigma$ 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,011	0,015	0,019
5 sek	0,007	0,010	0,012
10sek	0,006	0,010	0,012
15sek	0,006	0,010	0,012
30sek	0,006	0,009	0,011

Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,44	1,73	4,00	19,00
10sek	10,21	1,57	9,00	16,00
15sek	15,61	2,38	14,00	26,00
30sek	31,56	3,28	29,00	42,00

Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	6,42	0,55	6	8
5 sek	7,75	1,40	6	10
10sek	7,63	1,33	6	10
15sek	7,74	1,40	6	10
30sek	7,81	1,20	6	10

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,40	0,36	0,9	2,0
5 sek	1,03	0,36	0,5	2,0
10sek	1,08	0,29	0,6	2,0
15sek	0,99	0,30	0,5	2,0
30sek	1,00	0,20	0,5	1,5

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	1,91	0,24	1,4	2,4
5 sek	1,53	0,46	0,7	2,2
10sek	1,63	0,31	0,9	2,2
15sek	1,54	0,40	0,8	2,4
30sek	1,63	0,39	0,8	2,4

## PDOP (faseløsning), "RDOP" for 5, 10, 15, 30 sek (ident. med PDOP)

Datasæt	Middel PDOP	Sigma PDOP	Min PDOP	Max PDOP
Kontinuert 1sek	2,38	0,36	1,8	3,0
5 sek	1,85	0,56	0,9	2,9
10sek	1,96	0,40	1,1	2,9
15sek	1,84	0,48	1,0	2,9
30sek	1,92	0,41	0,9	2,7

**Bilag 15** Statistik – Trimble Netværksløsning – 15km000001

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>VRS</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]
15km000001	6181644,693	349229,239	38,064

Euref89 UTM33

Sigma N	Sigma E	Sigma H	Sigma Plan	Afs. base [km]
0,004	0,003	0,007	0,005	14,9

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kodeløsn.	% fase-løsn.	%SekSlip
Kontinuert 1sek	6939	6939	0	100	99,4
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	
15sek	80	80	0	100	
30sek	54	54	0	100	

Differential middelværdi på Northing koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	-0,004	0,009	0,010	-0,054	0,028
5 sek	-0,005	0,009	0,010	-0,023	0,017
10sek	-0,004	0,008	0,009	-0,034	0,009
15sek	-0,007	0,007	0,010	-0,035	0,004
30sek	-0,004	0,007	0,008	-0,024	0,010

Differential middelværdi på Easting koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,000	0,007	0,007	-0,023	0,021
5 sek	-0,002	0,007	0,007	-0,015	0,011
10sek	-0,002	0,007	0,007	-0,019	0,014
15sek	-0,001	0,006	0,006	-0,014	0,009
30sek	-0,001	0,006	0,007	-0,018	0,011

Differential middelværdi på Height koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	0,013	0,017	0,022	-0,077	0,070
5 sek	0,019	0,018	0,026	-0,025	0,042
10sek	0,018	0,018	0,025	-0,021	0,046
15sek	0,019	0,018	0,026	-0,022	0,051
30sek	0,011	0,012	0,017	-0,026	0,044

Differential middelværdi på Plan koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,010	0,006	0,012	0,000	0,057
5 sek	0,011	0,006	0,012	0,001	0,024
10sek	0,009	0,007	0,012	0,001	0,036
15sek	0,010	0,007	0,012	0,001	0,036
30sek	0,009	0,005	0,010	0,002	0,025

Differentiel middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,022	0,012	0,025	0,001	0,078
5 sek	0,026	0,013	0,029	0,002	0,046
10sek	0,025	0,012	0,028	0,003	0,057
15sek	0,025	0,013	0,029	0,002	0,060
30sek	0,017	0,010	0,019	0,002	0,050

Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	$\sigma$ Plan [m]	$\sigma$ H [m]	$\sigma$ 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,016	0,022	0,027
5 sek	0,008	0,011	0,014
10sek	0,007	0,010	0,012
15sek	0,007	0,011	0,013
30sek	0,007	0,011	0,013

Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	5,99	3,05	4,00	16,00
10sek	12,05	4,20	9,00	26,00
15sek	18,56	5,06	14,00	31,00
30sek	36,07	10,27	29,00	68,00

Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	6,45	0,61	6	8
5 sek	7,68	1,41	6	10
10sek	7,50	1,35	6	10
15sek	7,65	1,40	6	10
30sek	8,13	1,23	6	10



## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,39	0,36	0,9	2,0
5 sek	1,12	0,36	0,6	2,0
10sek	1,09	0,26	0,7	2,0
15sek	1,07	0,31	0,6	2,0
30sek	1,00	0,21	0,6	1,5

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	1,90	0,25	1,4	2,4
5 sek	1,65	0,38	0,7	2,4
10sek	1,67	0,30	1,1	2,4
15sek	1,68	0,35	1,0	2,4
30sek	1,55	0,33	1,0	2,3

## PDOP (faseløsning), "RDOP" for 5, 10, 15, 30 sek (ident. med PDOP)

Datasæt	Middel PDOP	Sigma PDOP	Min PDOP	Max PDOP
Kontinuert 1sek	2,37	0,36	1,8	3,0
5 sek	2,00	0,49	0,9	2,9
10sek	2,00	0,36	1,3	2,9
15sek	2,00	0,43	1,1	2,9
30sek	1,85	0,37	1,1	2,6

**Bilag 16** Statistik – Trimble Netværksløsning – 20km000001

Opmålingsstil: <b>Netværksløsning</b>	Metode: <b>VRS</b>
---------------------------------------	--------------------

Punkt nr	Northing [m]	Easting [m]	Ellip. Højde [m]
20km000001	6185233,771	340203,339	79,610

Euref89 UTM33

Sigma N	Sigma E	Sigma H	Sigma Plan	Afs. base [km]
0,003	0,002	0,005	0,004	20,3

Antal observationer opdelt i fase- og kodeløsninger

Datasæt	# obs	# fase-løsn.	# kodeløsn.	% fase-løsn.	%SekSlip
Kontinuert 1sek	6900	6900	0	100	99,4
5 sek	80	80	0	100	
10sek	80	80	0	100	
15sek	80	80	0	100	
30sek	80	80	0	100	

Differential middelværdi på **Northing** koordinater(obs(N) - fikspunkt(N)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel N [m]	Sigma N [m]	RMS N [m]	Min N [m]	Max N [m]
Kontinuert 1sek	0,012	0,010	0,016	-0,025	0,053
5 sek	0,011	0,006	0,013	-0,003	0,024
10sek	0,011	0,006	0,012	-0,003	0,028
15sek	0,011	0,008	0,013	-0,003	0,027
30sek	0,010	0,006	0,012	-0,005	0,023

Differential middelværdi på **Easting** koordinater(obs(E) - fikspunkt(E)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel E [m]	Sigma E [m]	RMS E [m]	Min E [m]	Max E [m]
Kontinuert 1sek	0,003	0,009	0,009	-0,023	0,035
5 sek	0,001	0,006	0,006	-0,011	0,012
10sek	0,001	0,004	0,005	-0,012	0,013
15sek	-0,001	0,004	0,004	-0,011	0,008
30sek	0,001	0,006	0,006	-0,008	0,017

Differential middelværdi på **Height** koordinater(obs(H) - fikspunkt(H)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel H [m]	Sigma H [m]	RMS H [m]	Min H [m]	Max H [m]
Kontinuert 1sek	0,004	0,034	0,034	-0,101	0,071
5 sek	0,025	0,012	0,028	-0,024	0,043
10sek	0,024	0,013	0,028	-0,008	0,048
15sek	0,030	0,015	0,033	0,002	0,052
30sek	0,030	0,015	0,033	-0,014	0,049

Differential middelværdi på **Plan** koordinater(obs(Plan) - fikspunkt(Plan)) (fase-løsning)

Datasæt	Middel P [m]	Sigma P [m]	RMS P [m]	Min P [m]	Max P [m]
Kontinuert 1sek	0,017	0,008	0,019	0,000	0,055
5 sek	0,013	0,005	0,014	0,002	0,024
10sek	0,012	0,006	0,013	0,003	0,028
15sek	0,012	0,007	0,014	0,002	0,028
30sek	0,012	0,005	0,013	0,001	0,024

Differential middelværdi på 3-D koordinater(obs(3-D) - fikspunkt(3-D)) (faseløsning)

Datasæt	Middel 3D [m]	Sigma 3D [m]	RMS 3D [m]	Min 3D [m]	Max 3D [m]
Kontinuert 1sek	0,036	0,015	0,039	0,001	0,109
5 sek	0,030	0,009	0,031	0,008	0,046
10sek	0,029	0,010	0,031	0,009	0,049
15sek	0,034	0,012	0,036	0,011	0,054
30sek	0,034	0,010	0,036	0,013	0,050

Middelværdi af modtagers bud på nøjagtighed (faseløsning)

Datasæt	$\sigma$ Plan [m]	$\sigma$ H [m]	$\sigma$ 3-D [m]
Kontinuert 1sek	0,016	0,022	0,027
5 sek	0,008	0,011	0,013
10sek	0,007	0,011	0,013
15sek	0,007	0,011	0,013
30sek	0,006	0,010	0,012

Observationslængde (faseløsning)

Datasæt	Middel [s]	Sigma Obs.L	Min [s]	Max [s]
Kontinuert 1sek				
5 sek	4,24	0,48	4,00	6,00
10sek	9,58	0,90	9,00	12,00
15sek	14,54	0,94	14,00	18,00
30sek	29,93	1,76	29,00	37,00

Antal satellitter (faseløsning)

Datasæt	Middel #Sat	Sigma #Sat	Min #Sat	Max #Sat
Kontinuert 1sek	6,45	0,61	6	8
5 sek	7,71	1,38	6	10
10sek	7,63	1,33	6	10
15sek	7,65	1,38	6	10
30sek	7,81	1,25	6	10

## HDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel HDOP	Sigma HDOP	Min HDOP	Max HDOP
Kontinuert 1sek	1,38	0,35	0,9	2,0
5 sek	1,10	0,39	0,6	2,0
10sek	1,04	0,28	0,5	2,0
15sek	1,12	0,33	0,7	2,0
30sek	1,04	0,22	0,6	1,5

## VDOP (faseløsning)

Datasæt	Middel VDOP	Sigma VDOP	Min VDOP	Max VDOP
Kontinuert 1sek	1,90	0,25	1,4	2,4
5 sek	1,61	0,38	0,9	2,2
10sek	1,58	0,31	0,8	2,2
15sek	1,71	0,28	1,2	2,4
30sek	1,69	0,35	1,0	2,4

## PDOP (faseløsning), "RDOP" for 5, 10, 15, 30 sek (ident. med PDOP)

Datasæt	Middel PDOP	Sigma PDOP	Min PDOP	Max PDOP
Kontinuert 1sek	2,36	0,36	1,8	2,9
5 sek	1,96	0,51	1,1	2,9
10sek	1,90	0,39	1,0	2,9
15sek	2,05	0,40	1,4	2,9
30sek	1,99	0,38	1,2	2,7