

# **Kompabilitet för Nätverks-RTK- programvaran Trimble GPS-Net med olika typer av rörliga mottagare**

**Jan Persson och Stefan Brynte**

**Gävle 2002**







## **Förord**

Det här examensarbetet avslutar vår utbildning till kart- och mättingenjörer vid Högskolan i Gävle. Vi har utfört examensarbetet på Lantmäteriets division för Landskaps- och Fastighetsdata, Geodetiska utvecklingsenheten.

Huvudhandledare på geodetiska utvecklingsenheten har varit Bo Jonsson. Andreas Engfeldt och Daniel Johansson har varit biträdande handledare. Dr. Stig-Göran Mårtensson har varit examinator.

Vi vill tacka våra handledare för att de har ställt upp och gett oss mycket stor hjälp med allehanda frågor. Vi vill även tacka Dan Norin för värdefulla synpunkter på rapporten och all övrig personal vid geodetiska utvecklingsenheten som alltid har haft tid för våra frågor. Ett speciellt tack till Göran Arrhén på Trimble för lån av utrustning.

Gävle den 5 juni 2002

Stefan Brynte

Jan Persson



## Sammanfattning

GPS med RTK-mätning har använts några år för geodetiska tillämpningar med centimeternoggrannhet. Genom att sammanfoga referensstationer för RTK i ett nätverk (Nätverks-RTK) kan täckningsområdet för varje RTK-station utökas från cirka 10 km vid vanlig RTK till 30-40 km och användare får dessutom ett sömlöst täckningsområde.

Lantmäteriet i samarbete med ett antal intressenter driver ett Nätverks-RTK-projekt i Mellansverige som heter "Position Stockholm – Mälaren 2" där de undersöker möjligheterna att få korrektioner som möjliggör centimeternoggrannhet från en virtuell referensstation.

I Skärplinge som ligger i centrum av Nätverks-RTK-triangeln Söderboda-Östervåla-Gävle, som ingår i "Position Stockholm – Mälaren 2", har vi etablerat och koordinatbestämt ett testfält.

I testfältet har vi undersökt noggrannhet och initialiseringstider, vid mätning med långa avstånd (30-40 km) till de fysiska referensstationerna.

Olika utrustningar har använts i arbetet. De använder olika metoder för att beräkna positioner, L1, L1+L2 samt med eller utan RTCM meddelande 59.

Våra resultat visar att det går att utföra mätningar med horisontell positionsnoggrannhet på 0.04 – 0.05 meter (95%) vid 40 km avstånd mellan mottagare och fysisk referensstation samt att RTCM meddelande 59 ger en viss förbättring av kvaliteten på mätningarna.



## **Abstract**

GPS-RTK has been used for surveying with centimetre accuracy for a couple of years. By Building a network of RTK-reference stations (Network-RTK) the area of coverage for each station can increase from approximately 10 km to 30 – 40 km.

The National Land Survey of Sweden runs in co-operation with some other authorities a Network-RTK project in the centre of Sweden called "Position Stockholm – Mälaren 2" in which they examine the possibility of centimetre accuracy corrections from a virtual reference station.

In Skärplinge, which is situated in the centre of the Network-RTK-triangle Söderboda-Östervåla-Gävle which is a part of "Position Stockholm – Mälaren 2", we established a testfield and achieved coordinates for it.

We have tested the accuracy and time for initialization in the testfield when surveying with a distance of 30 to 40 km to the physical reference stations.

Different equipments have been used in the thesis. They are using different methods for calculating the positions, L1, L1+L2 and with or without RTCM message 59

Our results shows that it is possible to perform surveys with an horizontal accuracy of 0.04 – 0.05 meters (95%) even with a distance of 30 to 40 km to the physical reference stations and that RTCM message 59 gives some improvement to the survey quality.





# Innehållsförteckning

## Förord

## Sammanfattning

## Abstract

1	Inledning .....	1
2	Introduktion till GPS-mätning.....	2
2.1	Kodmätning.....	2
2.2	Bärvågsmätning.....	3
2.3	Absolut- och relativmätning.....	3
2.4	Felkällor .....	4
2.4.1	Atmosfärsfel.....	4
2.4.2	Bandatafel .....	4
2.4.3	Klockfel .....	4
2.4.4	Flervägsfel .....	5
2.5	Statisk mätning .....	5
2.6	RTK-mätning (bärvågsmätning i realtid).....	5
3	Nätverks-RTK.....	6
3.1	Virtuell referensstation.....	6
3.2	RTCM Korrektioner.....	6
3.3	SWEPOS.....	7
4	Projekt Position Stockholm-Mälaren.....	8
4.1	Position Stockholm-Mälaren 1 .....	8
4.2	Position Stockholm-Mälaren 2 .....	9
5	Metod.....	10
5.1	Placering av testfält.....	10
5.2	Utrustning.....	11
5.2.1	Leica SR530 .....	11
5.2.2	Trimble 5700.....	11
5.2.3	Dorne-Margoline T .....	11
6	Etablering av testfältet i Skärplinge.....	12
6.1	Placering och markering av punkter .....	12
6.2	Statisk mätning av testfältet. ....	13
7	Genomförande av Nätverks-RTK-mätningarna .....	14

7.1.1	Leica.....	14
7.1.2	Trimble-Trimble (simultanmätning 1) .....	14
7.1.3	Trimble-Leica (simultanmätning 2) .....	15
7.2	Bearbetning av mätningarna .....	15
8	Resultat av Nätverks-RTK-mätningarna .....	16
8.1	Definitioner .....	16
8.1.1	Noggrannhet .....	16
8.1.2	Precision .....	17
8.1.3	Medeldifferens.....	17
8.1.4	Största avvikelse .....	17
8.1.5	Planavvikelse från sant värde i meter.....	18
8.1.6	Medelhöjdavvikelse från sant värde i millimeter.....	18
8.1.7	Initialiseringstid .....	18
8.1.8	Initialiseringstid i förhållande till antal använda satelliter .....	18
8.2	Redovisning av resultat.....	19
8.2.1	Mätning med Leica .....	19
8.2.2	Simultanmätning 1 med Trimble utan meddelande 59.....	20
8.2.3	Simultanmätning 1 med Trimble med meddelande 59.....	21
8.2.4	Simultanmätning 2 med Leica .....	22
8.2.5	Simultanmätning 2 med Trimble med meddelande 59.....	23
8.2.6	Resultat samtliga mätningar .....	24
8.2.7	Medelavvikelse i höjd för simultanmätning 2 .....	24
8.3	Initialiseringstider.....	24
9	Diskussion och slutsatser.....	28
10	Referenser .....	30

## Bilagor

Bilaga 1 Jonosfärsaktivitet

Bilaga 2 Punktvis redovisning

Bilaga 3 Punktvisa plan- och höjdavvikelser

# 1 Inledning

Lantmäteriet driver i samarbete med ett antal intressenter ett projekt i Mellansverige som avser positionsbestämning i realtid med centimeternoggrannhet med hjälp av fasta referensstationer, tekniken kallas Nätverks-RTK. Ett nätverk av fasta referensstationer används för att utveckla nätverks-RTK men det går redan idag att använda vid produktionsmätningar.

Den stora fördelen med Nätverks-RTK, jämfört med vanlig RTK, som denna metod kallas är att endast en mätutrustning per mätlag behövs samt att avståndet mellan mottagare och referensstation kan ökas från 10-15 km upp till 40 km med noggrannhet godtagbar för detaljmätning.

Examensarbetet avser studier av positionsnoggrannheter på maximalt avstånd från referensstationerna för olika typer av beräkningsförfarande i den rörliga mottagaren. Två utrustningar har använts för att utföra Nätverks-RTK-mätning. Båda använder L1/L2 för lösning av periodobekanta, den ena använder L1/L2 för positionsberäkning och den andra L1 eller L1/L2 lösning för positionsberäkningen. Den senare utrustningen kan även utnyttja RTCM meddelande 59. Utrustningarna har använts var för sig men även vid simultanmätning med gemensam antenn. Mätserierna upprepades ett antal gånger för att få tillförlitliga resultat.

I Skärplinge som ligger i centrum av den befintliga nätverkstriangeln Söderboda-Östervåla-Gävle har vi etablerat och koordinatbestämt ett testfält, bestående av 8 punkter, med statisk GPS-mätning. I testfältet har vi sedan provat Nätverks-RTK i Lantmäteriets projekt "Position Stockholm-Mälaren 2". Nätverks-RTK-mjukvaran "GPS-Net" från Trimble har använts för att räkna fram korrektionerna.

Vi har i första hand undersökt noggrannheten i mätningarna samt tiden det tar att erhålla fixlösning.

## 2 Introduktion till GPS-mätning

Global Positioning System (GPS) är ett världsomspännande radionavigeringssystem skapat av USAs försvarsdepartement och består av en konstellation av minst 24 satelliter och deras markstationer. GPS använder dessa konstgjorda fixstjärnor som referenspunkter vid positionsberäkning. Grunden för GPS-positionering är inbindning från mottagaren till satelliterna som har kända lägen. För detta mäter GPS-mottagaren avståndet med hjälp av att mäta den tid det tar för radiosignalen att färdas från satelliterna till mottagaren. Det finns två metoder som GPS-mottagarna använder för positionsbestämning, den enklaste metoden kallas kodmätning, den något mera avancerade metoden heter bärvågsmätning.

### 2.1 Kodmätning

Kodmätning är den metod som bland annat används av enkla handhållna GPS-mottagare för privat bruk. Vid kodmätning beräknas positionen genom att mottagaren observerar pseudoavstånd till satelliterna som har kända positioner. Pseudoavståndet fås ur jämförelsen mellan den satellitsignal som tas emot i GPS-mottagaren och den referenssignal som genereras i GPS-mottagaren. Formel 1 som beräknar detta lyder:

$$R = c\Delta t \quad (1)$$

Där

R:	Pseudoavståndet
c:	Ljusets hastighet
$\Delta t$ :	Tidsskillnaden

[1]

Detta ger en noggrannhet på cirka 10 meter, se kapitel 2.3, och används bland annat för navigering.

## 2.2 Bär vågsmätning

Bär vågsmätning är den metod som används för positionsbestämning med centimeternoggrannhet och använder betydligt dyrare tvåfrekvensmottagare. Vid bär vågsmätning mäts skillnaden i fas mellan den satellitgenererade signalfrekvensen och den mottagargenererade frekvensen. Dessutom bestäms antal hela perioder för avståndet mellan mottagaren och satelliten. Detta görs med hjälp av formel 2:

$$\Phi = \frac{1}{\lambda} \mathbf{r} + \frac{c}{\lambda} \Delta \delta + N \quad (2)$$

där	$\Phi$ :	Fasobservationen
	$\lambda$ :	Våglängden
	$\rho$ :	Avstånd mellan satellit och mottagare
	$c$ :	Ljusets hastighet
	$\Delta \delta$ :	Klockfel
	$N$ :	Antal periodobekanta (hela cykler)

[1]

## 2.3 Absolut- och relativmätning

Vid absolutmätning används endast en mottagare som mäter mot satelliterna, detta ger en noggrannhet på minst 13 meter i plan och 22 meter i höjd [12]. Absolutmätning är nästan alltid kodmätning [9].

Vid relativmätning används minst två mottagare där den ena placeras på en känd punkt och blir referensmottagare och mätningen sker sedan relativt den kända punkten, antingen i realtid eller med efterberäkningar. Relativ kodmätning (DGPS) ger en noggrannhet på cirka en halv till några meter. Relativ bär vågsmätning i realtid (RTK) ger centimeternoggrannhet, relativ bär vågsmätning med efterberäkningar kan ge millimeternoggrannhet [3].

## 2.4 Felkällor

Vid relativ GPS-mätning finns det även några felkällor som bör beaktas och minimeras.

### 2.4.1 Atmosfärsfel

Atmosfärsfel är avståndsberoende och brukar delas upp i jonosfärs- och troposfärsfel. Jonosfärsfel beror på att atmosfären innehåller många olika sorters partiklar som påverkar signalerna. Jonosfären är ett dispersivt medium vilket innebär att hastigheten varierar för signaler med skilda frekvenser på grund av mängden joner och fria elektroner som påverkas av strålningen från solaktiviteten (solstormar) [2]. Jonosfärsfelet varierar med tiden på dygnet, platsen på jorden och årstiden. Eftersom utbredningshastigheten i jonosfären beror på frekvensen kan felet till mycket stor del reduceras med en linjärkombination av mätningar på olika frekvenser eller med en jonosfärsmodell. Se bilaga 1 för diagram som visar jonosfärsaktiviteten under våra mätperioder. Troposfärsfelet beror huvudsakligen på fuktighet, lufttryck och temperatur [10]. Den är ej frekvensberoende och kan därför inte reduceras med en linjärkombination utan man använder istället en standardiserad troposfärsmodell för att minimera felets påverkan på mätningen.

### 2.4.2 Bandatafel

Noggrannheten i bandata är naturligtvis mycket viktigt för att bestämma en position. Noggrannheten av de utsända bandata är cirka 3 meter, för att få bättre värden kan efterberäknade bandata användas med en noggrannhet på 10 till 50 centimeter, dessa kan fås från SWEPOS. Bandatafel är avståndsberoende.

### 2.4.3 Klockfel

Klockfel beror på att klockorna i satellit och mottagare ej är helt synkroniserade. Klockfel kan elimineras med hjälp av enkel- och dubbeldifferenser [11]. Enkeldifferens är skillnaden mellan bärvågs fasmätningarna till samma satellit från två kända punkter, detta eliminerar satellitens klockfel. Genom att ta skillnaden av två enkeldifferenser av olika satelliter från samma två kända punkter elimineras även mottagarens klockfel, detta kallas dubbeldifferens.

#### 2.4.4 Flervägsfel

Dessa beror på att signalen kan reflekteras mot något på sin väg till mottagaren från satelliten. Till exempel om signalen studsar på ett plåttak och därefter når antennen och då signalen ej gått raka vägen från satelliten till mottagarantennen kan detta ge ett felaktigt eller motsägelsefullt avstånd. Genom att använda elevationsmasker, multipath filter, eller antenn med jordplan kan man minska risken för flervägsfel. [1]

### 2.5 *Statisk mätning*

Vid statisk mätning beräknas periodobekanta utifrån en förändrad satellitgeometri. Beroende på baslinjens längd krävs en observationstid på minst 20 minuter och ibland upp till flera dygn för att få en position med upp till millimeternoggrannhet. Vid statisk mätning fås koordinater genom efterberäkning och det är den GPS-positionsbestämningssmetod som är mest noggrann. Medelfel på några mm kan uppnås beroende på observationstid, baslinjelängd och beräkningsalgoritm.

### 2.6 *RTK-mätning (bärvågsmätning i realtid)*

Vid RTK-mätning används två GPS-utrustningar varav en används som referensstation och placeras på en känd punkt där den sänder korrektionsmeddelanden antingen i mottagarberoende format eller i standardformatet RTCM till mottagaren. Detta kan göras antingen genom att ställa upp en egen referensstation eller genom att använda en permanent referensstationstjänst. Korrektionernas algoritmer fungerar upp till cirka 10 kilometers avstånd från referensstationen, dock begränsar radiolänkens räckvidd oftast avståndet mellan referensstation och mottagare.



### **3 Nätverks-RTK**

Nätverks-RTK är en teknik för att öka avståndet mellan referensstationen och mottagaren. Genom att bearbeta data från ett triangelnät av fysiska referensstationer kan felkällorna modelleras och på så sätt minska de avståndsberoende felen. Därmed kan man täcka in ett större område, övervaka satelliternas integritet och kvalitet, arbeta med endast en mottagare och slippa etablera en egen referensstation [4].

Vid initialiseringen, det vill säga lösningen av periodobekanta, skapas en virtuell referensstation i närheten av mottagaren. Med hjälp av flera fasta referensstationer kan därefter positionering med acceptabel noggrannhet på långa (30-40 km) avstånd från de fysiska referensstationerna uppnås.

#### **3.1 Virtuell referensstation**

Kortfattat går det till så att mottagaren sänder sin absolutposition till nätverksoperatören, DGPS korrektioner sänds från Nätverks-RTK-programvaran, i detta fall Trimble GPS-Net, via en GSM-länk till mottagaren. Mottagaren beräknar då en DGPS-position som den sänder tillbaka till Nätverks-RTK-programvaran.

För den DGPS-positionen (som mottagaren sände) beräknar nätverkservern med hjälp av interpolering från de fysiska referensstationer i den Nätverks-RTK-triangel där mottagaren befinner sig korrektionsmodeller för avståndsberoende fel och där skapas en virtuell referensstation [4].

Korrektionerna som mottagaren därefter använder i Nätverks-RTK-mätningarna utgår från den virtuella referensstationen vilket av en del GPS-mottagare uppfattas som mycket korta baslinjer.

#### **3.2 RTCM Korrektioner**

RTCM är ett standardformat för korrektionsmeddelanden mellan referensstationer och mottagare. De RTCM meddelanden som används vid RTK-mätningar är 3, 18, 19, 20, 21, 22 och i vissa fall det användardefinierade meddelande 59.

Vissa korrektionsmeddelanden som mottagaren tar emot hänvisar inte till den fysiska referensstationen utan till den virtuella, på grund av detta får mottagaren svårt att avgöra det verkliga avståndet till närmaste fysiska referensstation vilket kan vara av vikt för att mottagaren skall använda en optimal algoritm för positionsberäkningen.

Meddelande 59 innehåller i Trimble GPS-Net koordinater för den närmaste fysiska referensstationerna samt information om de jonofäriska och geometriska korrektioner för

den virtuella referensstationen som sänds till användaren. Med hjälp av denna information kan mottagaren förutsäga storleken på restfel bestående av atmosfärsfel och bandatafel. Mottagaren kan då till viss del vikta informationen från de fysiska referensstationerna beroende på avståndet till dessa. Meddelande 59 är användardefinierat det vill säga ännu ingen fastlagd RTCM standard [5].

### **3.3 SWEPOS**

SWEPOS är ett nätverk av GPS referensstationer som drivs av Lantmäteriet. Det består av cirka 47 stationer (juni 2002) placerade över hela landet [9]. Syftet med SWEPOS-nätverket är att tillhandahålla korrektioner för DGPS och RTK, tillhandahålla data för efterbearbetning, övervaka integriteten hos GPS samt realisera det svenska referenssystemet SWEREF 99. SWEPOS tillhandahåller även en efterberäkningstjänst [4].

## 4 Projekt Position Stockholm-Mälaren

### 4.1 Position Stockholm-Mälaren 1

Projekt "Position Stockholm-Mälaren 1" är en förstudie över möjligheterna med Nätverks-RTK för positionering med centimeternoggrannhet som gjordes under år 2001 av Lantmäteriet, Banverket, Vägverket samt elva kommuner i samarbete med SWEPOS. Projektets syfte var "att undersöka hur beroende av avståndet mellan referensstationerna tekniken för Nätverks-RTK är och vilka användartekniska problem som kan förekomma." [6]. Genom att använda två existerande SWEPOS-stationer och sex projektstationer etablerades ett RTK-nätverk. Nätverks-RTK programvaran "GPS-Net" från Trimble användes under testet och GSM-modem användes som dataöverföringskanal. Nätverket styrdes från SWEPOS i Gävle. Cirka 1000 testmätningar gjordes på kända SWEREF-punkter. En sammanfattning av resultatet visas i tabell 4.1

ref.station (km)	95% av alla mätningar (mm)	mätningar (mm) då "orimliga värden" är bortplockade	95% av alla mätningar (mm)	mätningar (mm) då "orimliga värden" är bortplockade		av alla mätningar (min:sek)
0-7	17	149	34	325	1	0.33
9-15	30	76	65	110	0	1.57
18-24	40	154	84	310	10	6.12
26-29	42	148	108	168	2	4.21
34-37	46	73	116	370	7	5.45

I slutsatsen för Projekt "Position Stockholm-Mälaren" indikeras att "resultaten ser mycket lovande ut, men ytterligare produktionsmätningar med en prototypjänst bör genomföras".

## 4.2 Position Stockholm-Mälaren 2

Tack vare det positiva resultatet från "Position Stockholm-Mälaren 1" gjordes under hösten 2001 ett projektförslag som omfattar ett års produktionsmätning samt drift och utvärdering av en prototypjänst för Nätverks-RTK i ett utökat område som omfattar SWEPOS- och projektstationer mellan Gävle, Karlstad, Mjölby och Stavsnäs (se figur 4.2) [4]. Detta examensarbete är en liten del av detta utvecklingsarbete. Nätet blev operationellt den 7 februari 2002. Liknande projekt planeras för Skåne och västra Sverige.



Figur 4.2 visar Position Stockholm-Mälaren 2

## 5 Metod

Syftet med detta examensarbete är att etablera och koordinatbestämma ett testfält och undersöka Nätverks-RTK med maximalt avstånd till de fysiska referensstationerna. I första hand undersöktes noggrannhet och tid till initialisering för olika konfigurationer på mottagarna i Nätverks-RTK.

Vår metod var att i testfältet med hjälp av mätningar med Nätverks-RTK i stora mätserier på punkter som har koordinater som anses som sanna värden, beräkna differenser i plan och höjd. Punkternas sanna koordinater har erhållits med statisk mätning. Med hjälp av differenser kunde vi därefter räkna ut statistiska värden för noggrannhet och precision. En mätserie omfattade inmätning av testfältets samtliga punkter och för varje ny mätserie utfördes en ny initialisering. Detta för att få oberoende mätserier avseende fixlösningen. Initialiseringstiden har jämförts mot vissa yttre parametrar som till exempel jonosfärsaktivitet och antal satelliter. Vid mätningarna eftersträvades produktionsmässiga förhållanden med inställningar på utrustningarna avseende positionskvalitet, satellitgeometri, registreringshastighet och antal mätningar per observation, enligt respektive tillverkarens specifikation. Simultanmätning användes vid merparten av mätningarna för att eftersträva likvärdiga yttre förhållanden vid jämförelsen av olika utrustningar.

### 5.1 Placering av testfält

För att prova Nätverks-RTK med långa avstånd till fysiska referensstationer har testfältet placerats så långt i från SWEPOS referensstationer som möjligt. I detta arbete där vi rör oss inom Nätverks-RTK-triangeln Söderboda-Östervåla-Gävle (se figur 4.2) betyder det att Skärplinge är beläget i centrum av triangeln och avstånden till de fasta referensstationerna visas i tabell 5.1.

*Tabell 5.1 Avstånd till använda referensstationer*

Referensstation	Avstånd (km)
Söderboda	36,5
Östervåla	44
Gävle	40

## 5.2 Utrustning

För den statiska mätningen av testfältet använde vi tre stycken Leica SR530 GPS-utrustningar med AT 502 antenn samt stativ.

Vid Nätverks-RTK-mätningarna har vi använt en Leica SR530 med tillhörande GSM-modem, två stycken Trimble 5700 GPS-utrustningar samt GSM-modem. Tillverkarnas egna antenner har använts i alla tester utom vid ”simultanmätning 2” (Leica/Trimble) då en Dorne Margoline T antenn användes.

### 5.2.1 Leica SR530

För baslinjer kortare än 15 kilometer använder Leica SR530 en L1+L2 faslösning, vid baslinjer längre än 15 kilometer använder Leica SR530 en L3 jonosfärsfri linjärkombination för positionsberäkningar. Vid användning av en virtuell referensstation används alltid L1+L2 faslösning [7].

Tillhörande mjukvara SKI-Pro användes för bearbetning och kontroll avseende användarfel samt att övriga kriterier enligt kapitel 7 var uppfyllda.

### 5.2.2 Trimble 5700

Trimble 5700 använder antingen L1 eller L1+L2 beroende på signalbrus och jonosfärsstörningar mellan de fysiska referensstationerna och mottagaren. Trimble 5700 använder normalt RTCM meddelande 59 (se kapitel 3.2) [7]. Vi har använt Trimble 5700 både med och utan RTCM 59.

Tillhörande mjukvara Trimble Geomatics Office användes för bearbetning och kontroll avseende användarfel samt att övriga kriterier enligt kapitel 7 var uppfyllda.

### 5.2.3 Dorne-Margoline T

En Dorne-Margoline T antenn av märket Ashtech användes vid simultanmätningen med Leica och Trimble för att få ett rättvist resultat, även om detta val innebar att vi frångick principen om produktionsmässighet. I Trimble definierades antennen som ”Choke-ring antenna”. I Leica definierades antennen som ”AT 504”. Dorne Margoline T är en jordplansantenn av den typ som nämns i kapitel 2.4.4.

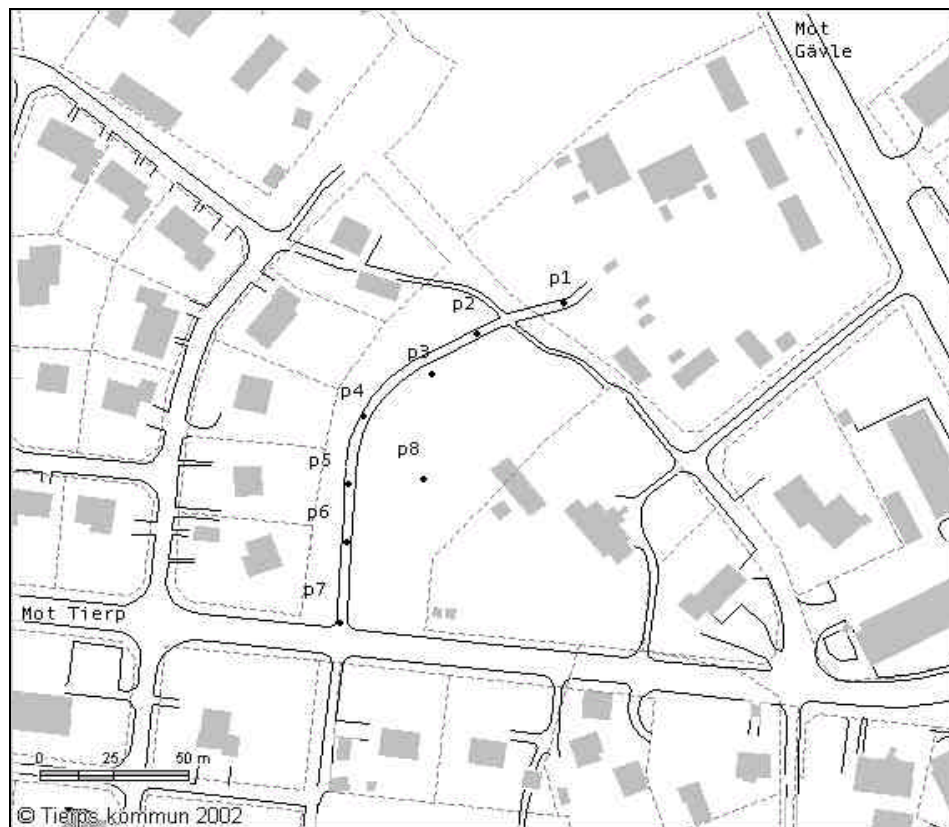
## 6 Etablering av testfältet i Skärplinge

Testfältet omfattar åtta punkter och för att bestämma koordinater på dessa med så pass hög noggrannhet att de går att betrakta som sanna värden i detta arbete, gjordes statiska GPS-mätningar av testfältet. Alla koordinater bestämdes i SWEREF 99 för att undvika transformationsfel, samt för att undvika felaktigheter och spänningar i tidigare koordinatbestämda geodetiska nät.

Genom att placera mottagarna över punkterna som ska koordinatbestämmas och ha lång observationstid (>50 minuter) hinner satellitkonfigurationen ändras markant och därmed ge en säkrare lösning av antalet periodobekanta, dessutom ger det en säkrare baslinjebestämning. Genom att en mottagare registrerar observationsdata kontinuerligt genom flera sessioner på samma punkt, kan den användas som känd punkt vid beräkning av övriga punkter.

### 6.1 Placering och markering av punkter

På fastigheten 1:74 (se figur 6.1) upprättades det lämpliga testfältet.



Figur 6.1 Punkternas läge i testfältet.

Då fastigheten bestod av en cykelbana och ett stenigt ängsparti med enstaka träd markerades sex punkter med markeringspikar i cykelbanan och två punkter markerades med dubb i berg med bistånd av Metria i två stabila stenblock. För att efterlikna produktionsförhållanden har vissa punkter något sämre mottagningsförhållande. Till exempel ligger punkt 4 mellan några höga träd. Placeringen av punkterna och deras respektive identitet redovisas i bilaga 2 där också en närmare beskrivning av varje punkt finns redovisade.

## **6.2 Statisk mätning av testfältet.**

Vi hade tillgång till tre GPS-utrustningar för mätningarna. Mätningarna utfördes under två dagar samt en dag med rekognosering och markering.

Dag ett placerades en av utrustningarna över punkt 3 (se figur 6.1) och fick logga GPS-observationer under 5 timmar. De andra två utrustningarna placerades över punkterna 1,2 och hade en observationstid på 1,5 timmar, varpå dessa två flyttades till punkterna 4,5 och slutligen punkterna 6,7 med samma observationstid som session 1.

Dag två placerades en av utrustningarna över punkt 8 där den fick logga observationer under 5-timmar, övriga utrustningar hanterades som under dag ett.

Därefter skickades observationsfilerna i standardformatet RINEX från punkterna 3 och 8 till SWEPOS-beräkningstjänst som returnerade de korrigerade koordinaterna. Dessa angavs sedan som referenspunkter vid beräkningen av de övriga punkternas koordinater som gjordes i SKI-PRO. Som ett mått på kvaliteten för den statiska mätningen visas i tabell 6.2 standardavvikelsen för den punkt som hade störst standardavvikelse.

*Tabell 6.2 visar största standardavvikelse*

	plan	höjd	plan + höjd
(mm)	8	8	11



## 7 Genomförande av Nätverks-RTK-mätningarna

Då produktionsmässighet eftersträvades i undersökningen sattes följande kriterier:

- En två meter lång antennstång användes som horisonterades med fast libell över punkterna.
- Maximal initialiseringstid sattes till fem minuter och ansågs därefter som avbruten, varefter ominitialisering utfördes.
- Vid ominitialisering bröts kontakten till samtliga satelliter genom att vända på antennstången för att få jämförbara initialiseringstider.
- Högsta godtagbara DOP-värde sattes enligt respektive tillverkares specifikation, GDOP 8 för Leica och PDOP 6 för Trimble.
- Mätningarna sparades så fort som förinställda positionskvalitets krav uppfyllts, för Leica  $3D < 50$  mm, för Trimble horisontell precision  $< 15$  mm och vertikal precision  $< 20$  mm.
- Mätningarna utfördes oavsett yttre förhållanden som t.ex. satellittillgång och jonosfärsaktivitet så länge fixlösning kunde erhållas.
- Elevationsmasken var bestämd till 15 grader.

Varje mätserie startade med initialisering på punkt 1 där initialiseringstiden noterades, varefter punkterna mättes i nummerordning (se figur 6.1). Vid förlorad fixlösning under en mätserie skedde ny initialisering vid nästa punkt som skulle mätas. DOP-värden och antal satelliter noterades vid varje mätning för att senare användas vid efterbearbetning och kontroll.

### 7.1.1 Leica

Under perioden 11/4 – 16/4 2002 utfördes 60 mätserier. AT 502 antennen och kontrollpanelen monterades på antennstången. Mottagare med tillhörande GSM-modem bars i ryggsäck.

### 7.1.2 Trimble-Trimble (simultanmätning 1)

Under perioden 29/4 – 3/5 2002 utfördes 61 mätserier. Två stycken mottagare kopplades med hjälp av en antennförgreningsdosa till en gemensam Trimble Zephyr antenn. Den ena mottagaren använde RTCM 59, den andra inte. Antennen och de båda kontrollpanelerna monterades på antennstången. De två mottagarna med tillhörande externa batterier samt GSM-modem bars i en ryggsäck.

### 7.1.3 Trimble-Leica (simultanmätning 2)

Under perioden 13/5 – 15/5 2002 utfördes 30 mätserier. De båda mottagarna kopplades med hjälp av en antennförgreningsdosa till en gemensam Dorne-Margoline T antenn. Trimble-mottagaren använde RTCM 59. Antennen och kontrollpanelerna monterades på antennstången. Mottagarna med respektive batterier och GSM-modem bars i en ryggsäck.

## **7.2 Bearbetning av mätningarna**

Lagrade positions- och kvalitetsdata överfördes från GPS-utrustningarna till respektive mjukvara, SKI-Pro för Leica samt Trimble Geomatics Office där kontroll och editering av eventuella felaktigheter utfördes. Därefter exporterades punktkoordinaterna till Excel för att beräkna differenser i plan och höjd till de statistiskt mätta koordinaterna punktvis, vidare beskrivning av räkneoperationerna finns i kapitel 8.1.

## 8 Resultat av Nätverks-RTK-mätningarna

I kapitel 8.1 definieras de begrepp som används i resultatkapitlet, i kapitel 8.2 redovisas resultaten kategorivis från mätningarna på de åtta punkterna i testfältet i tabell och figurform avseende geometrisk kvalitet.

Inga koordinater har transformerats i arbetet för att undvika eventuella transformationsfel, så alla resultat baseras på plankoordinater och höjd över ellipsoiden i SWEREF 99.

Mätningarna med Leica som utfördes under perioden 11/4–16/4 2002 redovisas i kapitel 8.2.1.

Simultanmätning 1 med de två Trimble-mottagarna, med och utan RTCM 59, som utfördes under perioden 29/4–3/5 2002 presenteras i kapitel 8.2.2 och kapitel 8.2.3.

Simultanmätning 2 med Leica och Trimble som utfördes under perioden 13/5–15/5 2002 redovisas i kapitel 8.2.4 och kapitel 8.2.5.

I avsnitt 8.2.6 visas medelavvikelserna i höjd punktvis från simultanmätning 2, då det verkar finnas ett systematiskt fel som ej har bekräftats och lösts, i kapitel 8.3 redovisas initialiseringstider för dessa mätningar.

I bilaga 2 och 3 finns det punktbeskrivningar samt punktvis redovisade resultat.

### 8.1 Definitioner

#### 8.1.1 Noggrannhet

Noggrannheten är standardavvikelsen i millimeter av mätningarna på punkten i förhållande till punktens sanna positionen. I plan motsvaras detta av radien i den cirkel vars centrum är den sanna positionen och som innehåller 68 % av mätningarna utförda på punkten [8]. I höjd avses istället det vertikala avståndet i millimeter, över och under den sanna positionen, som innehåller 68 % av mätningarna. Procenttalen är approximationer som endast gäller om mätningarna är normalfördelade. Noggrannheten visar hur väl samlad och centrerad mätserien är kring det sanna värdet. Värdet har beräknats i Excel enligt formel 3:

$$\text{Noggrannhet} = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n}} \quad (3)$$

[6]

## 8.1.2 Precision

Precisionen är standardavvikelsen i millimeter hos mätningarna av punkten i förhållande till punktens medelvärde [8]. I plan är detta radien av den cirkel som innehåller 68 % av mätningarna. I höjd avses istället det vertikala avståndet i millimeter, över och under den genomsnittliga positionen, som innehåller 68 % av mätningarna. Procenttalen är approximationer som enbart gäller om mätningarna är normalfördelade. Precisionen visar hur väl samlad mätserien är kring medelvärdet. Värdet har beräknats i Excel enligt formel 4:

$$\text{Precision} = \sqrt{\frac{n \sum e^2 - (\sum e)^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

[6]

## 8.1.3 Medeldifferens

Medeldifferensen anger i plan medelvärdet av den radiella avvikelsen i millimeter mellan mätningarna och den sanna positionen. I höjd avses medelvärdet av den vertikala differensen i millimeter mellan mätningarna och den sanna positionen. Ingen hänsyn har tagits till avvikelsens riktning i plan eller i höjd. Medeldifferensen visar hur väl centrerad mätserien är kring det sanna värdet. Värdet har beräknats i Excel enligt formel 5:

$$\text{Medeldifferensen} = \frac{\sum \sqrt{e^2}}{n} \quad (5)$$

## 8.1.4 Största avvikelse

Visar avvikelsen i millimeter i plan och höjd på tre olika nivåer [6]. Den första visar på 100 %, det vill säga samtliga korrekta mätningar. Den andra nivån visar avvikelsen om man tar bort de tre (av cirka 60 mätningar) största avvikelserna, det vill säga 95 %. Den tredje nivån visar avvikelsen om man tar bort de 19 (av cirka 60 mätningar) största avvikelserna, det vill säga 68 %. Detta visas i tabellform i kapitel 8.2 samt punktvis i bilaga 2.

I simultanmätning 2 av Leica och Trimble betyder 95% att den största avvikelsen tas bort och 68% att de tio största avvikelserna tas bort. Även detta visas i tabellform i bilaga 2.

### 8.1.5 Planavvikelse från sant värde i meter

Visar varje mätning i förhållande till punktens sanna värde som är origo i diagrammet. Det visar även punktklustrets spridning och form i syd-nordlig och öst-västlig riktning. Detta visas i figurform i bilaga 2.

### 8.1.6 Medelhöjdavvikelse från sant värde i millimeter

Visar medelvärde av alla höjdavvikelser för varje kategori. Detta visas i kapitel 8.2.

### 8.1.7 Initialiseringstid

Visar den längsta initialiseringstiden, samt längsta tiden för 95% och 68% av alla lyckade initialiseringar på punkt ett i tabellform i kapitel 8.3. Tiden redovisas i sekunder, avbrutna initialiseringar är ej medtagna i beräkningarna men redovisade.

### 8.1.8 Initialiseringstid i förhållande till antal använda satelliter

Visar den tid det tar för att få fixlösning på punkt ett efter att ha förlorat kontakten med alla satelliter. Det visar även antal satelliter vid initialiserings tillfället. Maxtid var satt till trehundra sekunder varefter ominitialisering skedde. Detta redovisas i figurform i kapitel 8.3.

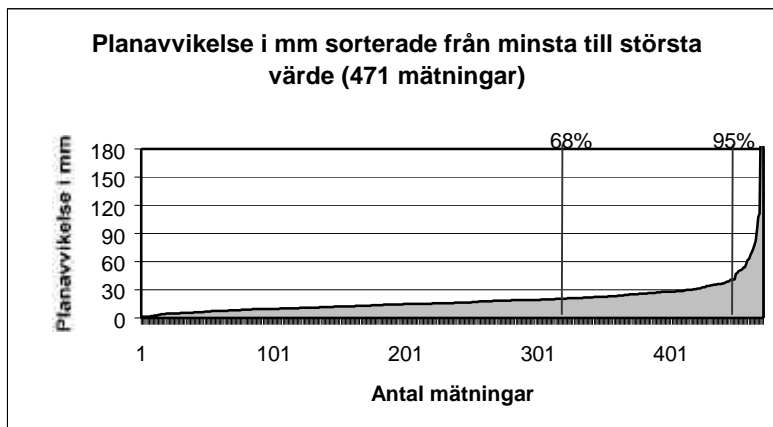
## 8.2 Redovisning av resultat

### 8.2.1 Mätning med Leica

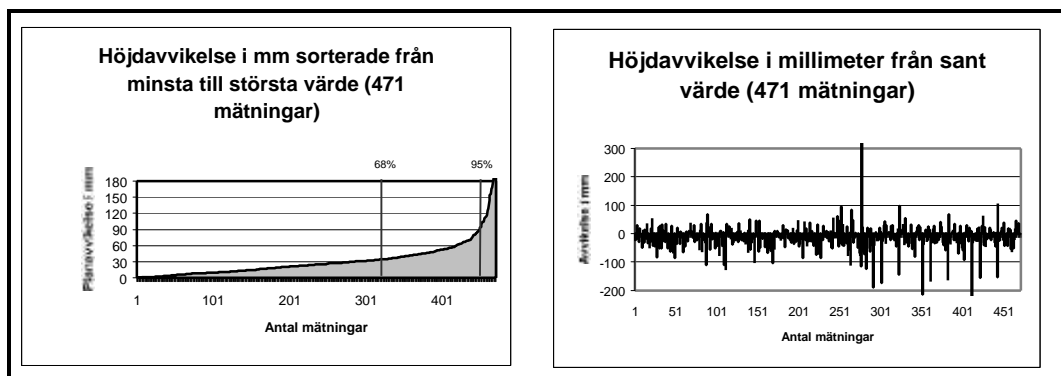
Här redovisas kvalitetsvärden i tabell 8.2.1. Då det fanns en observation med extremt stor differens som dock ej kunde uteslutas ur beräkningarna har vi valt att visa kvalitetsvärden utan den observationen inom parentes på grund av dess stora påverkan. Planavvikelse visas i figur 8.2.1.1 och höjdavvikelse i figur 8.2.1.2 från mätningarna med Leica som utfördes under perioden 11/4 – 16/4 2002.

Tabell 8.2.1 visar kvalitetsvärden för Leica

	Leica		Största avvikelse		
	(mm) plan	höjd		Plan	Höjd
Noggrannhet	44 (28)	91 (44)	100%	739 (257)	1728 (266)
Precision	39 (20)	90 (32)	95%	41	84
Medeldifferens	21 (20)	35 (31)	68%	21	34



Figur 8.2.1.1 visar planavvikelsen med Leica



Figur 8.2.1.2 visar höjdavvikelsen med Leica

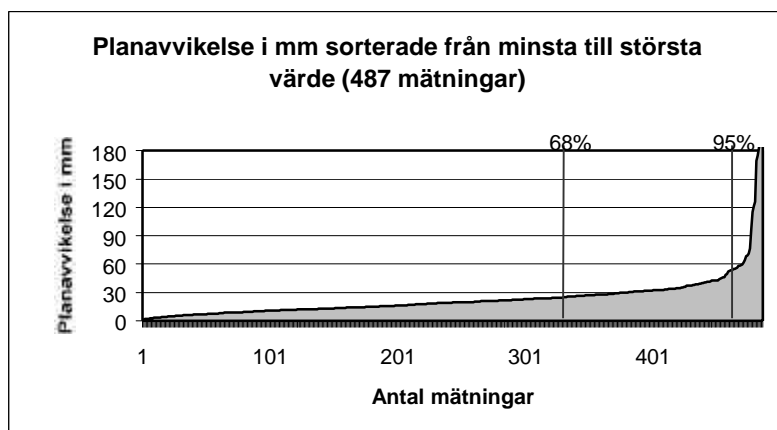
Medelhöjdavvikelsen i denna mätserie var -12 mm.

## 8.2.2 Simultanmätning 1 med Trimble utan meddelande 59

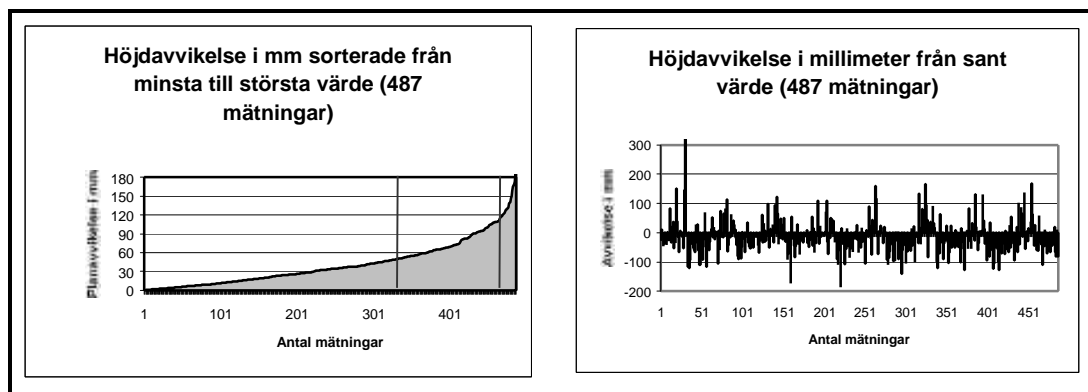
Här redovisas kvalitetsvärden i tabell 8.2.2, planavvikelse i figur 8.2.2.1 och höjdavvikelse i figur 8.2.2.2 från mätningarna med Trimble utan meddelande 59 som utfördes under perioden 29/4 – 3/5 2002.

Tabell 8.2.2 visar kvalitetsvärden

Trimble utan meddelande 59			Största avvikelse		
(mm)	plan	höjd		Plan	Höjd
Noggrannhet	34	56	100%	230	334
Precision	25	54	95%	54	110
Medeldifferens	24	42	68%	24	50



Figur 8.2.2.1 visar planavvikelsen



Figur 8.2.2.2 visar höjdavvikelsen

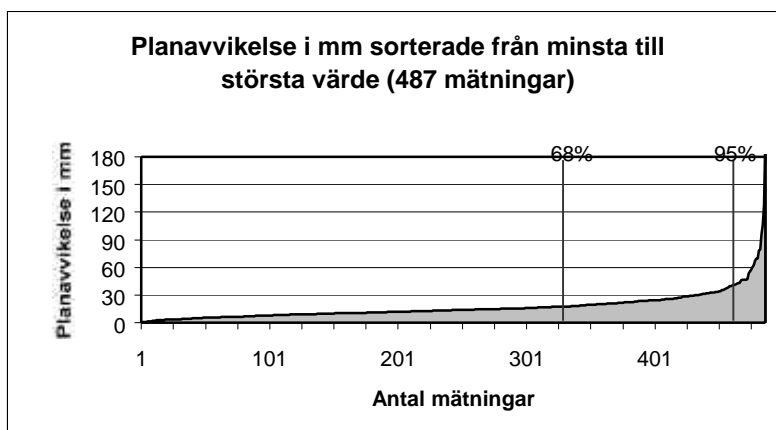
Medelhöjdavvikelsen i denna mätserie var -16 mm.

## 8.2.3 Simultanmätning 1 med Trimble med meddelande 59

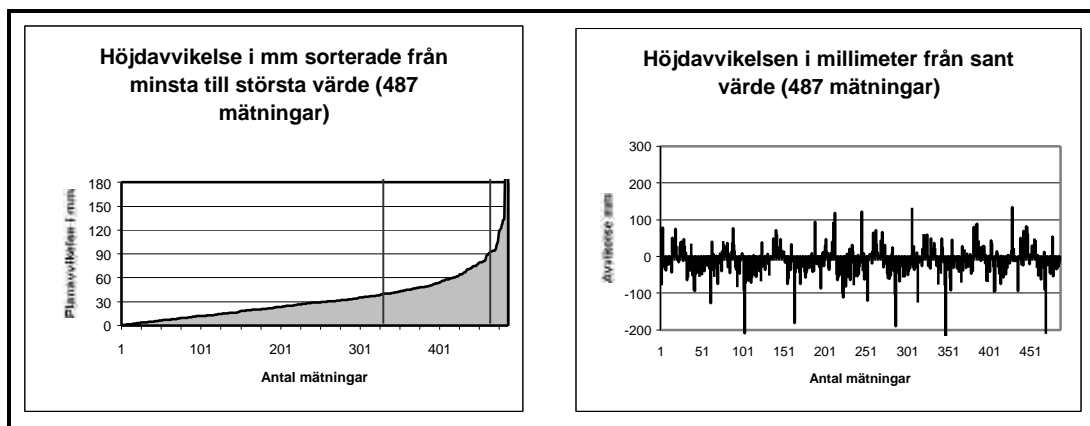
Här redovisas kvalitetsvärden i tabell 8.2.3, planavvikelse i figur 8.2.3.1 och höjdavvikelse i figur 8.2.3.2 från mätningarna med Trimble med meddelande 59 som utfördes under perioden 29/4 – 3/5 2002.

Tabell 8.2.3 visar kvalitetsvärden

Trimble med meddelande 59 (mm)	Största avvikelse				
	plan	höjd	plan	höjd	
Noggrannhet	24	47	100%	201	251
Precision	16	44	95%	41	91
Medeldifferens	17	35	68%	18	40



Figur 8.2.3.1 visar planavvikelsen



Figur 8.2.3.2 visar höjdavvikelsen

Medelhöjdavvikelsen i denna mätserie var  $-14$  mm.

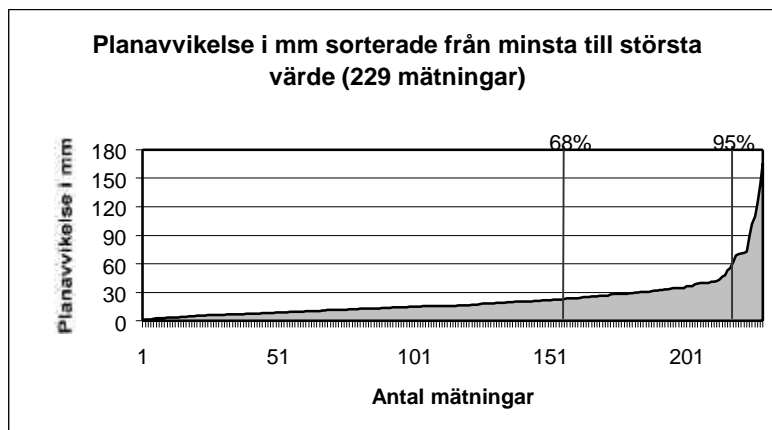


## 8.2.4 Simultanmätning 2 med Leica

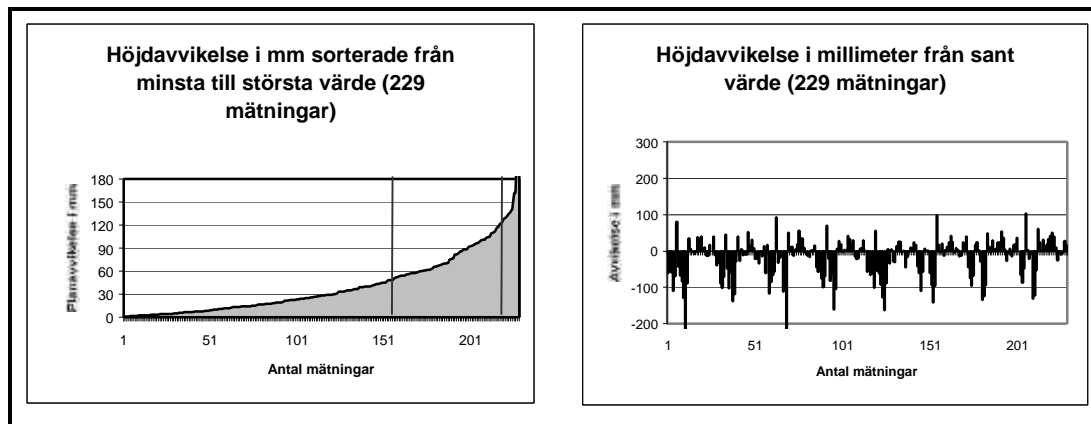
Här redovisas kvalitetsvärden i tabell 8.2.4, planavvikelse i figur 8.2.4.1 och höjdavvikelse i figur 8.2.4.2 från mätningarna med Leica som utfördes under perioden 13/5 – 15/5 2002.

Tabell 8.2.4 visar kvalitetsvärden

(mm)	Leica		Största avvikelse		
	plan	höjd		plan	höjd
Noggrannhet	31	62	100%	165	407
Precision	22	59	95%	62	122
Medeldifferens	22	42	68%	23	49



Figur 8.2.4.1 visar planavvikelsen



Figur 8.2.4.2 visar höjdavvikelsen

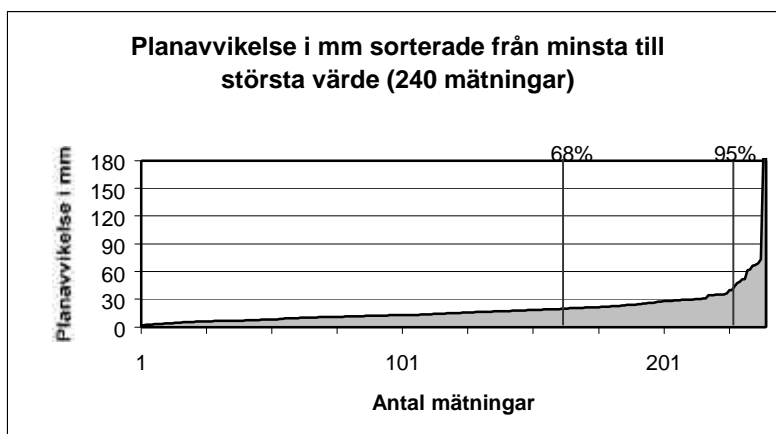
Medelhöjdavvikelsen i denna mätserie var  $-20$  mm.

## 8.2.5 Simultanmätning 2 med Trimble med meddelande 59

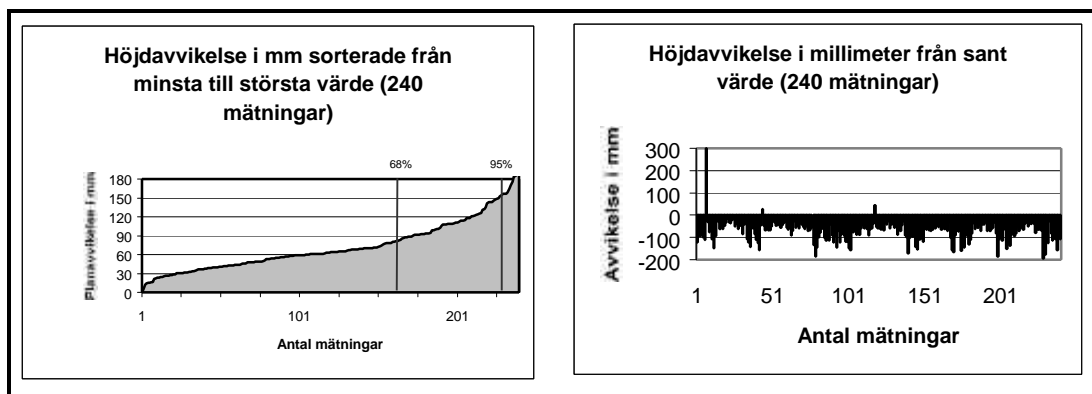
Här redovisas kvalitetsvärden i tabell 8.2.5, planavvikelse i figur 8.2.5.1 och höjdavvikelse i figur 8.2.5.2 från mätningarna med Trimble med meddelande 59 som utfördes under perioden 13/5 – 15/5 2002.

Tabell 8.2.5 visar kvalitetsvärden

Trimble med meddelande 59			Största avvikelse		
(mm)	plan	höjd		Plan	Höjd
Noggrannhet	30	84	100%	258	300
Precision	23	46	95%	44	153
Medeldifferens	19	73	68%	20	82



Figur 8.2.5.1 visar planavvikelsen



Figur 8.2.5.2 visar höjdavvikelsen

Medelhöjdavvikelsen i denna mätserie var  $-70$  mm.

## 8.2.6 Resultat samtliga mätningar

I tabell 8.2.6 visas kvalitetsvärden för samtliga godkända mätningar oavsett fabrikat.

Tabell 8.2.6 Visar kvalitetsvärden

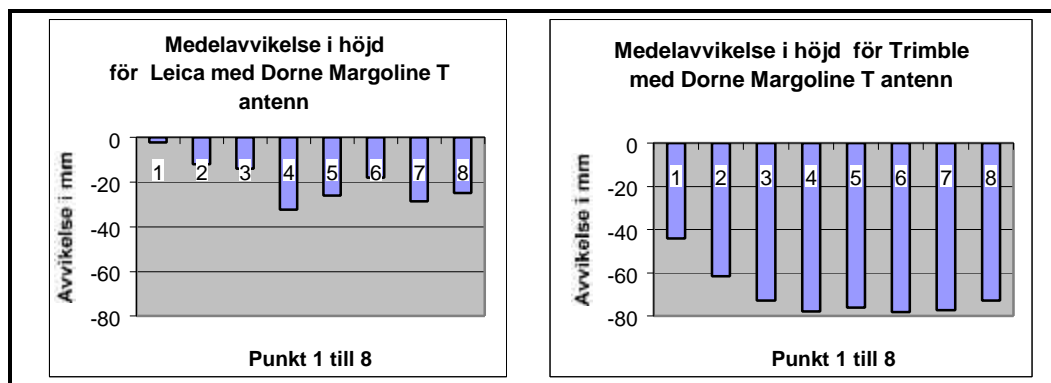
Samtliga mätningar (1914st)	Största avvikelse			
	(mm)	Plan	Höjd	
Noggrannhet	34	69	100%	739 (258) 1728 (407)
Precision	27	65	95%	47 114
Medeldifferens	21	42	68%	21 47

Ur tabell 8.2.6 kan man läsa prestandan hos Nätverks-RTK-tjänsten oavsett mottagare.

För värden inom parentesen se kapitel 8.2.1.

## 8.2.7 Medelavvikelse i höjd för simultanmätning 2

Vid efterkontrollen av simultanmätning 2 som var likadan som vid tidigare mätningar upptäcktes det att lejonparten av alla höjdavvikelser var negativa, på båda utrustningarna i betydligt högre grad än tidigare. Därför har vi valt att även redovisa medelavvikelse i höjd för varje punkt och utrustning. Se figur 8.2.7. Om man ser på serierna så ser man dock att precisionen är likvärdig med tidigare mätningar medan noggrannheten är sämre. Detta kan tyda på ett systematiskt fel.



Figur 8.2.7 visar medelavvikelse i höjd

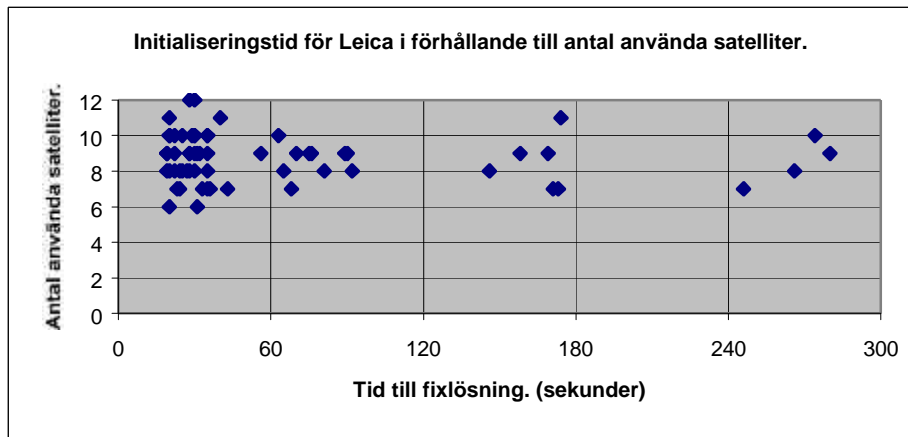
## 8.3 Initialiseringstider

I tabell 8.3.1 och figur 8.3.1 visas tiderna för lyckade initialiseringar vid punkt ett med Leica. Med Leica-mottagaren gjordes fem avbrutna initialiseringsförsök som ej är medtagna i dessa beräkningar.

## Leica

Tabell 8.3.1 visar längsta initialiseringstid

Tid till init.	100%	95%	68%
(sekunder)	280	246	63



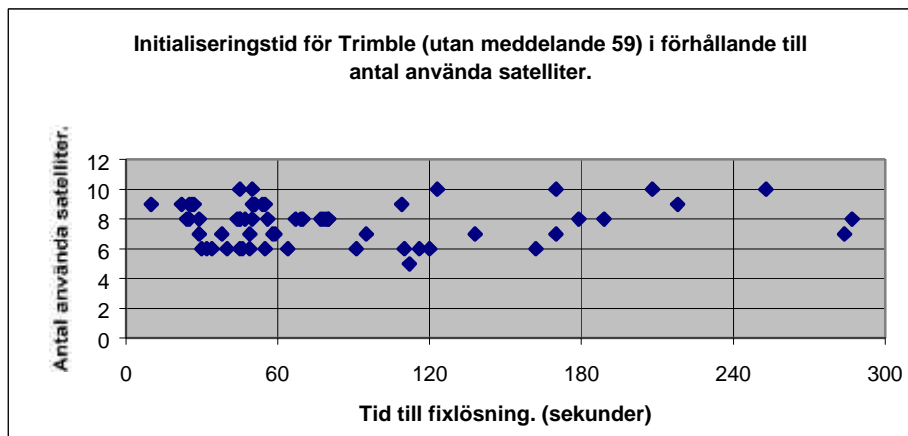
Figur 8.3.1 visar initialiseringstid och antal satelliter

I tabell 8.3.2 och figur 8.3.2 visas tiderna för lyckade initialiseringar vid punkt ett med Trimble vid simultanmätning 1. Med Trimble-mottagaren som ej använder meddelande 59 gjordes tolv avbrutna initialiseringsförsök som ej är medtagna i dessa beräkningar.

## Trimble utan 59

Tabell 8.3.2 visar längsta initialiseringstid

Tid till init.	100%	95%	68%
(sekunder)	287	218	80



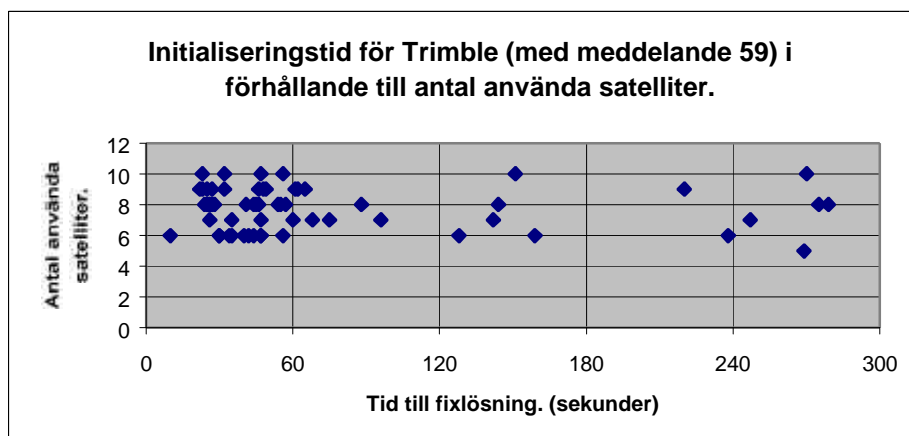
Figur 8.3.2 visar initialiseringstid och antal satelliter

I tabell 8.3.3 och figur 8.3.3 visas tiderna för lyckade initialiseringar vid punkt ett med Trimble vid simultanmätning 1. Med Trimble-mottagaren som använder meddelande 59 gjordes fem avbrutna initialiseringsförsök som ej är medtagna i dessa beräkningar.

**Trimble  
med 59**

Tabell 8.3.3 visar längsta initialiseringstid

Tid till init.	100%	95%	68%
(sekunder)	279	269	60



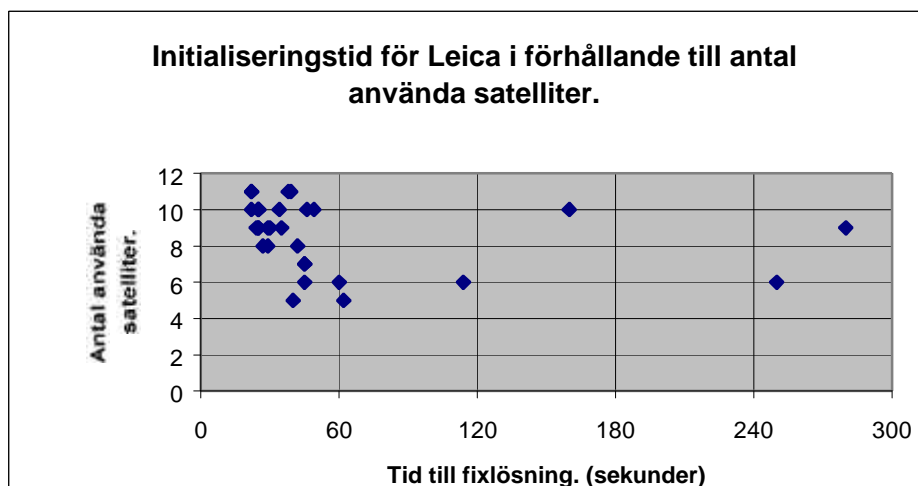
Figur 8.3.3 visar initialiseringstid och antal satelliter

I tabell 8.3.4 och figur 8.3.4 visas tiderna för lyckade initialiseringar vid punkt ett med Leica vid simultanmätning 2. Med Leica-mottagaren gjordes tolv avbrutna initialiseringsförsök som ej är medtagna i dessa beräkningar.

**Leica**

Tabell 8.3.4 visar längsta initialiseringstid

Tid till init.	100%	95%	68%
(sekunder)	280	250	45



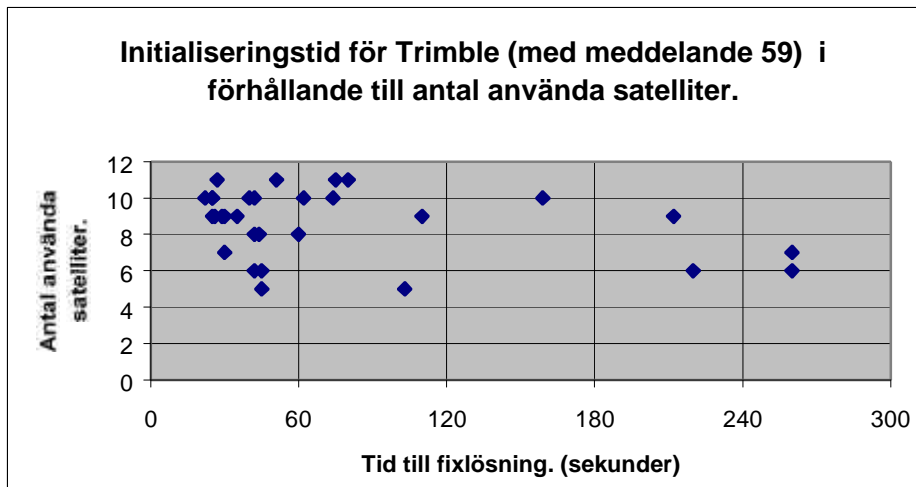
Figur 8.3.4 visar initialiseringstid och antal satelliter

I tabell 8.3.5 och figur 8.3.5 visas tiderna för lyckade initialiseringar vid punkt ett med Trimble vid simultanmätning 2. Med Trimble-mottagaren som använder meddelande 59 gjordes sju avbrutna initialiseringsförsök som ej är medtagna i dessa beräkningar.

## Trimble

Tabell 8.3.5 visar längsta initialiseringstid

Tid till init.	100%	95%	68%
(sekunder)	260	260	62



Figur 8.3.5 visar initialiseringstid och antal satelliter

## 9 Diskussion och slutsatser

Syftet med detta arbete var att kontrollera noggrannheter samt initialiseringstider vid mätningar på stora avstånd till fysiska referensstationer i nätverkstriangeln Söderboda-Gävle-Östervåla med hjälp av Nätverks-RTK.

Resultaten i kapitel 8 visar att det redan nu, trots att tekniken bakom Nätverks-RTK ej är helt färdigutvecklad, går att utföra mätningar med godtagbar noggrannhet även med långa avstånd mellan mottagaren och de fysiska referensstationerna.

Det syns tydligt vid jämförelsen av tabell 8.2.2 och tabell 8.2.3 att RTCM meddelande 59 förbättrar kvaliteten när utrustningar och förhållanden i övrigt är identiska vilket möjliggör direkt jämförelse. De stora höjdavvikelserna för Trimble vid simultanmätning 2 har förmodligen inte med Nätverks-RTK-tjänsten att göra utan beror på något systematiskt fel då precisionen är likvärdig med övriga mätningar. Detta fel faller dock inte inom ramarna för detta arbete.

Vid simultanmätning 1 hade vi 12 avbrutna initialiseringsförsök med Trimble utan RTCM 59 mot 5 avbrutna för Trimble med RTCM 59. Vid simultanmätning 2 hade vi 12 avbrutna initialiseringsförsök med Leica och 7 avbrutna för Trimble med RTCM 59. På grund av detta kan vi dra slutsatsen att RTCM 59 även ger större möjlighet för fixlösning, det fanns indikationer på detta också från de oinitialiseringar som gjordes efter tappad fixlösning under en mätseries gång, dessa oinitialiseringar redovisas dock inte.

Det är lätt att se fördelarna med Nätverks-RTK jämfört med både traditionell mätning och med vanlig RTK-mätning. Att inte vara beroende av kända punkter för etablering av referens- eller totalstation. En person kan oftast utföra mätuppdraget på kortare tid än ett mätlag vilket ger bättre ekonomi.

Detta gäller för mätningar där centimeternoggrannhet duger.

Än så länge finns det dock detaljer som bör utvecklas vidare. Det gäller till exempel initialiseringstiden som trots god satellittillgång och bra mätförhållanden ibland tar lång tid. Vi kan se i våra resultat att tiden till initialisering oftast ligger runt 1 minut eller kortare, under resterande fyra minuter fås sällan initialisering. Det skulle önskas att mottagaren oinitialiserade automatiskt efter ett visst tidsintervall.

Vid några tillfällen placerades den virtuella referensstationen på cirka 30-40 km avstånd från mottagaren, troligtvis är den placerad på en fysisk referensstation. Då detta kan försämra kvaliteten på mätningarna samt medföra att initialisering ej erhålls, skulle någon form av kontrollfunktion eventuellt med stöd av RTCM 59 kontrollera avståndet mellan virtuella referensstationen och mottagaren och varna om det blir stort.

Det förekommer ojämna mätprestanda som inte är upptäckbara vid produktionsmätning. Vi har till exempel en observation som har en största avvikelse på 74 cm i plan och 173 cm i höjd och det går inte att särskilja den från de andra observationerna den dagen. Om den punkten inte hade varit koordinatsatt hade den stora avvikelsen kanske aldrig upptäckts.

För de yttre omständigheter som påverkar mätkvaliteten och inte går att styra över från fältet, som till exempel jonofärstormar, vore det önskvärt att till exempel via SWEPOS erhålla statusrapporter och prediktioner om kommande förhållanden.

Detta arbete har varit mycket intressant och givande men det finns ytterligare som återstår att utreda innan prototypproduktionstjänsten kan övergå i en mera regelrätt produktionstjänst.



## 10 Referenser

- [1] Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. and Collins J.: GPS-Theory and Practice, Springer-verlag, Wien, New York., 2001.
- [2] Farrell Jay A & Barth Matthew: The Global Positioning System & Inertial Navigation, Mcgraw-Hill, New York, 1999.
- [3] Statens Lantmäteriverk: HMK – Geodesi: GPS, Handbok till mätningsskuggörelsen, Gävle, 1996.
- [4] <http://swepos.lmv.lm.se>, 2002-06-05.
- [5] Terrasat Technical Dokumentation, Bernhard Wagner: Virtual Reference Station High Resolution Corrections in RTCM 59, Spectra Precision Terrasat, 2002-05-24.
- [6] Wiklund P.: Slutrapport för projekt ”Position Stockholm-Mälaren-1”, Lantmäteriet, Gävle, LMV-Rapport 2002:1.
- [7] Lilje C.: Sammanställning av korrespondens med mottagartillverkare angående RTK, (Memo), Lantmäteriet, Geodetiska utvecklingsenheten, Gävle, 2001-11-08.
- [8] Statens Lantmäteriverk: HMK – Geodesi: Detaljmätning, Handbok till mätningsskuggörelsen, Gävle, 1996
- [9] Engfeldt A. & Jivall L.: Kort introduktion till GNSS, Lantmäteriet, Gävle, LMV-Rapport 2000:2.
- [10] Teunissen P. J. G., Kleusberg A.: GPS for geodesy, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
- [11] Leick A.: GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons. Inc, New York, 1995.
- [12] Department of Defense and Department of Transportation: 2001 Federal Radionavigation Systems, Technical information Service, Springfield, Virginia 22161, 2001.

Övriga dokument som inte refereras till i texten, men som varit viktiga för arbetets genomförande.

Rönnerberg A.: Undersökning av tjänster för differentiell GPS, Lantmäteriet, Gävle, LMV-Rapport 2001:10.

Wahlund S.: Produktion measurements with Network RTK-Test and analysis, Lantmäteriet, Gävle, LMV-Rapport 2002:2.

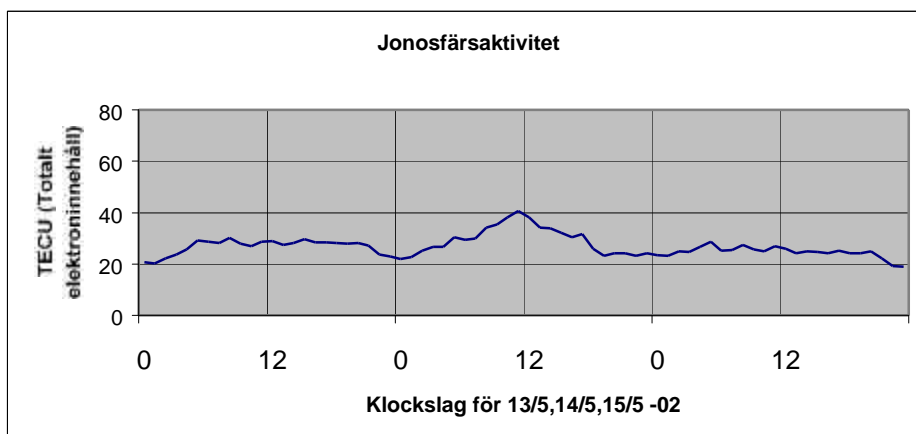
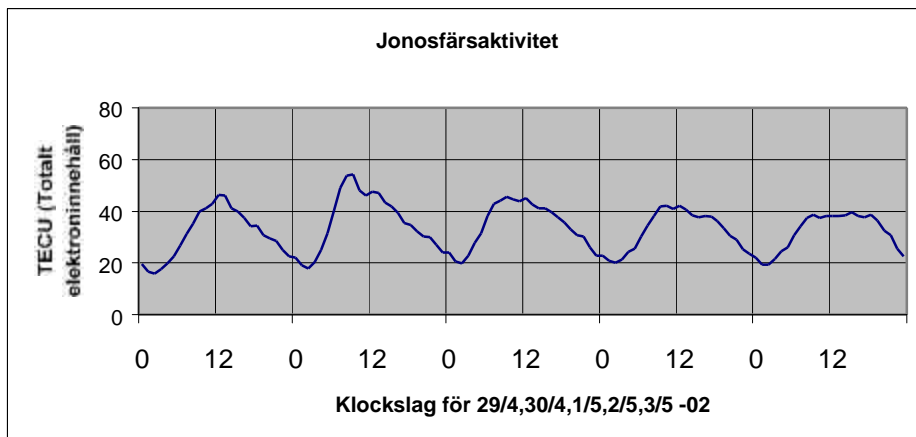
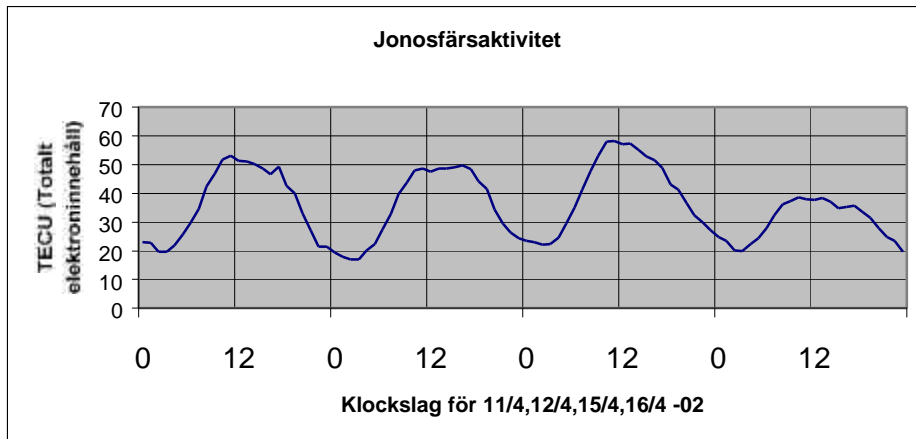
Leica SR530 Technical Manual.

Trimble 5700 Technical Manual.

## Bilagor

### Bilaga 1 Jonosfärsaktivitet

TECU (Totalt elektroninnehåll i jonosfären) under våra mätperioder.



## **Bilaga 2 Punktvis redovisning**

### **Punkt 1**

Punkt 1 är markerad med markeringsspik i cykelbana. Punkten har delvis hinder i syd till väst upp till cirka 20 graders elevationsvinkel och i övrigt fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter, vilket var antennhöjden som användes i alla mätningar. På denna punkt utfördes initialisering för varje mätserie och detta redovisas i kapitel 8.3. Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

Leica har 1 mätning som ligger utanför diagrammet.

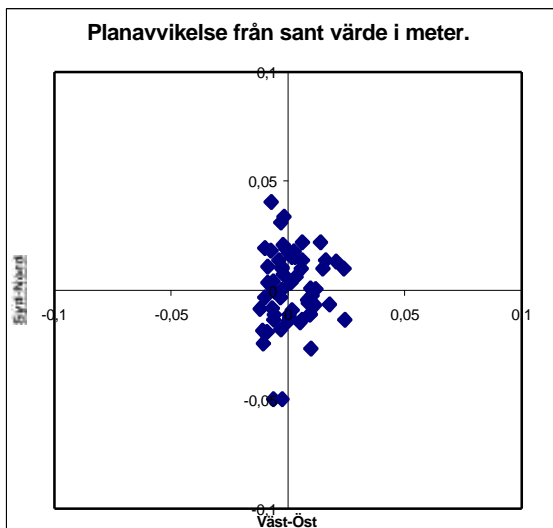
Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd,. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

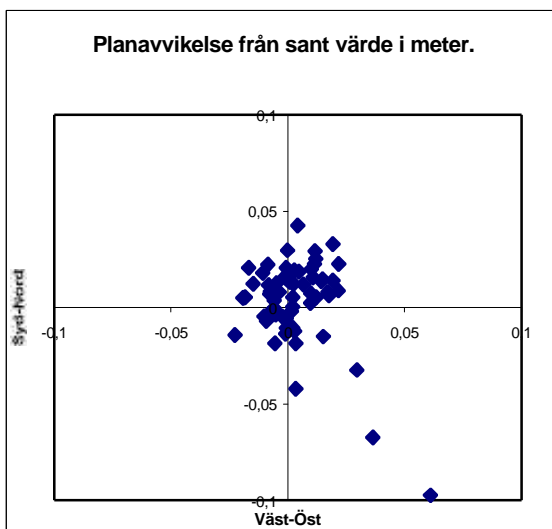
Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

### Punkt 1



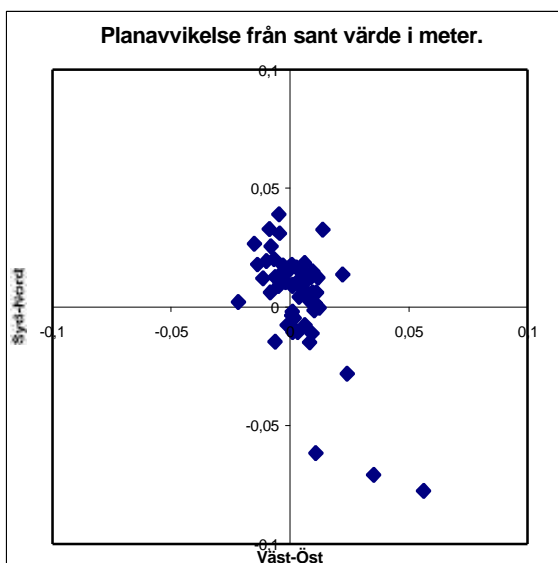
### Leica

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	24	54
Precision	16	43
Medeldifferens	19	33
Största avvikelse	111	266
95%	41	105
68%	19	32



### Trimble utan 59

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	38	46
Precision	30	29
Medeldifferens	24	35
Största avvikelse	210	113
95%	44	89
68%	21	48

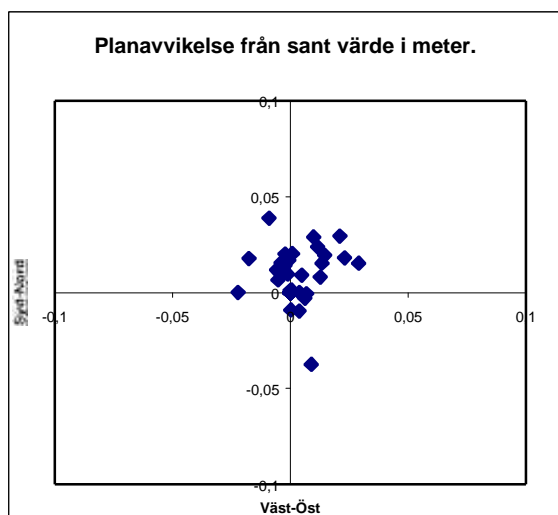


### Trimble med 59

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	36	49
Precision	29	35
Medeldifferens	22	34
Största avvikelse	201	211
95%	63	91
68%	18	36

## Punkt 1 Simultanmätning 2

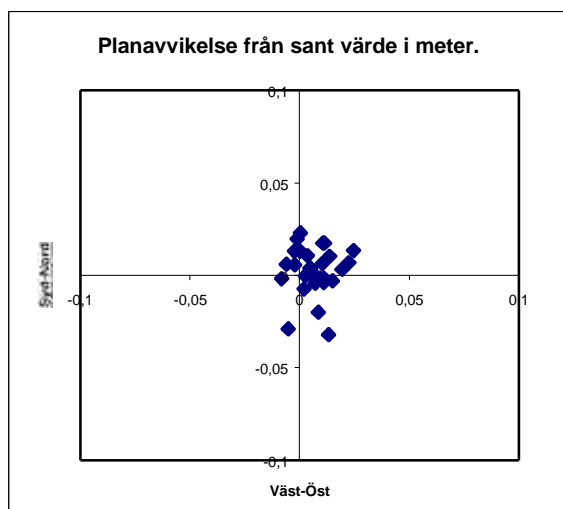
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 29 godkändes vid efterkontroll. 1 observation ligger utanför diagrammet



### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		37	51
Precision		29	36
Medeldifferens		23	38
Största avvikelse		165	132
	95%	39	104
	68%	22	40

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll. 1 observation ligger utanför diagrammet.



### Trimble

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		38	85
Precision		33	36
Medeldifferens		20	64
Största avvikelse		189	300
	95%	29	122
	68%	20	62

## **Punkt 2**

Punkt 2 är markerad med markeringsspik i cykelbana. Punkten skymms av träd i syd till väst i 20 till 30 graders elevationsvinkel och i övrigt fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter, vilket var antennhöjden som användes i alla mätningar.

Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

Leica har 1 mätning som ligger utanför diagrammet.

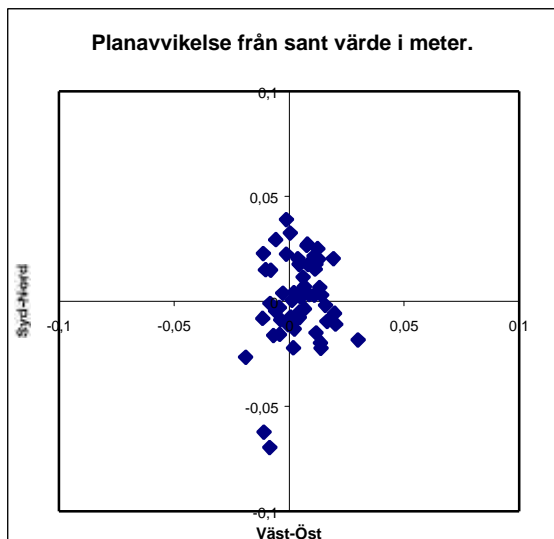
Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

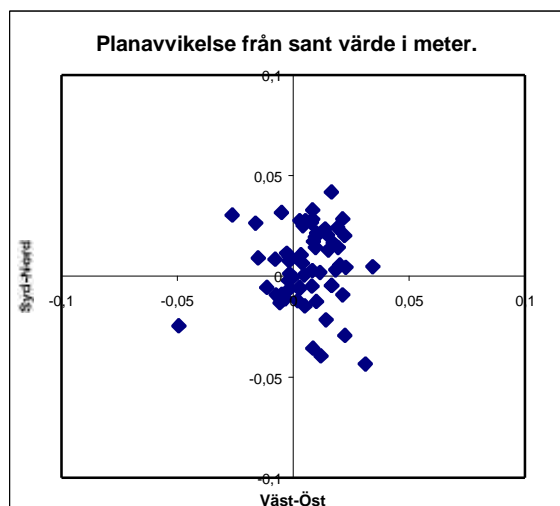
Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

**Punkt 2**



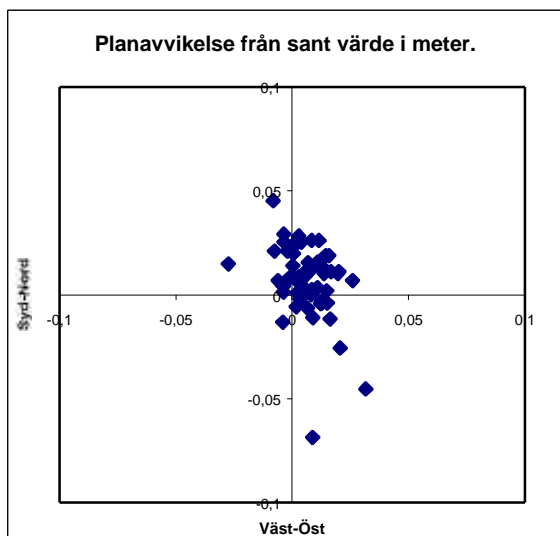
**Leica**

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		36	49
Precision		29	37
Medeldifferens		22	32
Största avvikelse		217	189
	95%	39	98
	68%	22	31



**Trimble utan 59**

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		24	49
Precision		12	32
Medeldifferens		21	37
Största avvikelse		55	173
	95%	41	95
	68%	26	39

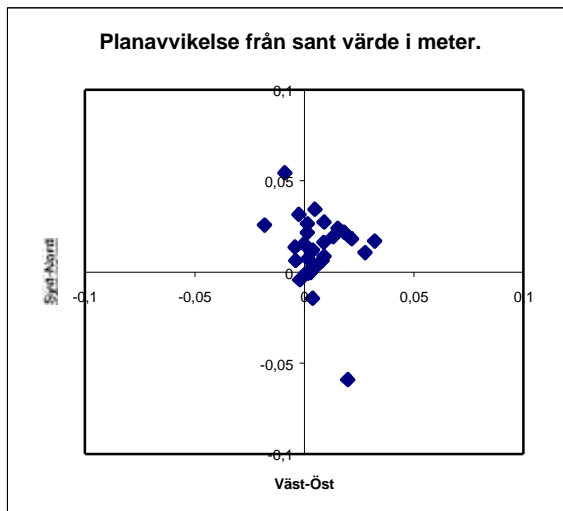


**Trimble med 59**

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		21	52
Precision		12	38
Medeldifferens		18	36
Största avvikelse		69	251
	95%	33	92
	68%	21	35

## Punkt 2 Simultanmätning 2

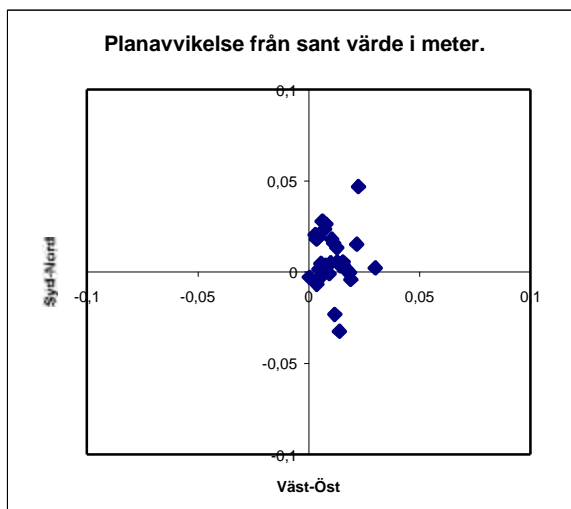
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 29 godkändes vid efterkontroll.



### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		26	52
Precision		15	36
Medeldifferens		21	37
Största avvikelse		62	134
	95%	55	123
	68%	28	40

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.



### Trimble

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		22	73
Precision		10	38
Medeldifferens		19	64
Största avvikelse		52	157
	95%	35	143
	68%	21	67



### **Punkt 3**

Punkt 3 är markerad med dubb i berg. Punkten skymms av träd i syd till väst i 25 till 33 graders elevationsvinkel och i övrigt fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter.

Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

Leica har 1 mätning som ligger utanför diagrammet.

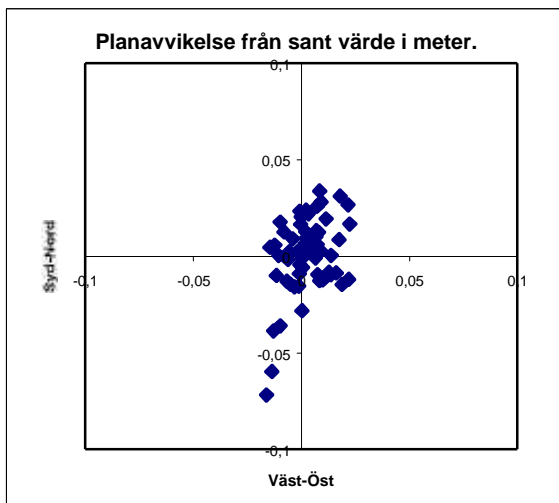
Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

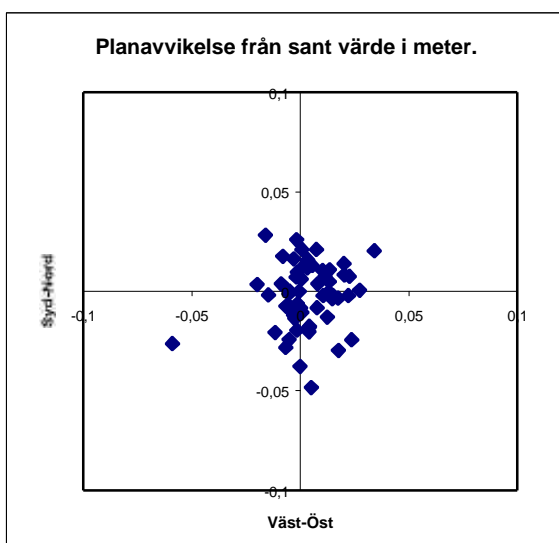
Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

### Punkt 3



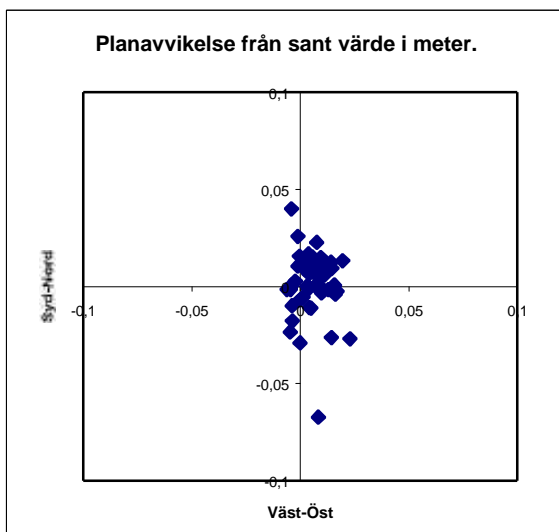
### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		38	51
Precision		33	40
Medeldifferens		22	33
Största avvikelse		257	215
	95%	41	94
	68%	20	31



### Trimble utan 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		21	52
Precision		11	35
Medeldifferens		18	39
Största avvikelse		65	186
	95%	38	108
	68%	20	46

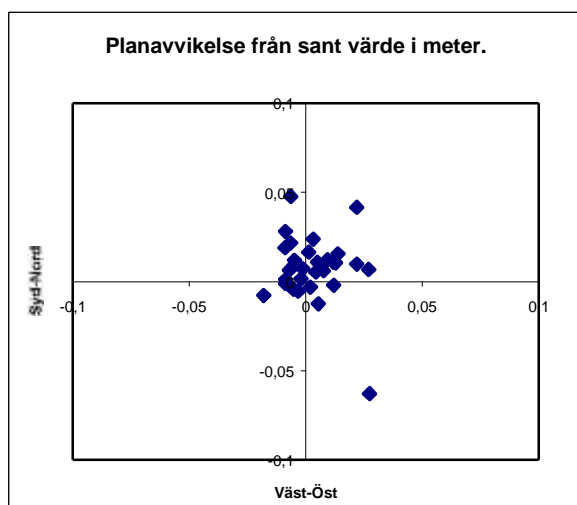


### Trimble med 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		18	50
Precision		10	33
Medeldifferens		14	38
Största avvikelse		68	190
	95%	30	105
	68%	15	42

### Punkt 3 Simultanmätning 2

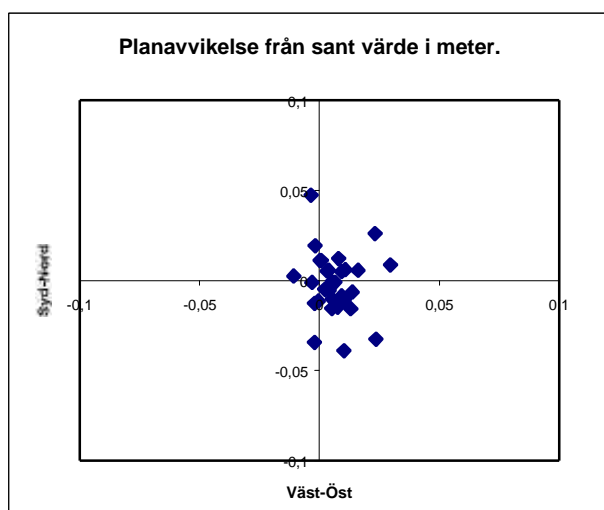
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 29 godkändes vid efterkontroll.



#### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		24	52
Precision		15	38
Medeldifferens		19	35
Största avvikelse		69	141
	95%	48	109
	68%	21	42

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.



#### Trimble

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		21	82
Precision		12	38
Medeldifferens		17	73
Största avvikelse		47	185
	95%	40	144
	68%	16	73

#### **Punkt 4**

Punkt 4 är markerad med markeringsspik i cykelbana. Punkten skymms av träd i öst till östsydöst med 20 till 67 graders elevationsvinkel samt i nord till väst med 20 till 67 graders elevationsvinkel på höjden 2 meter.

Denna punkt är belägen mellan två trädsamlingar och är ett exempel på mätning under svåra satellitförhållanden.

Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

Leica har 1 mätning som ligger utanför diagrammet.

Trimble utan 59 har 3 mätningar som ligger utanför diagrammet.

Trimble med 59 har 2 mätningar som ligger utanför diagrammet.

Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

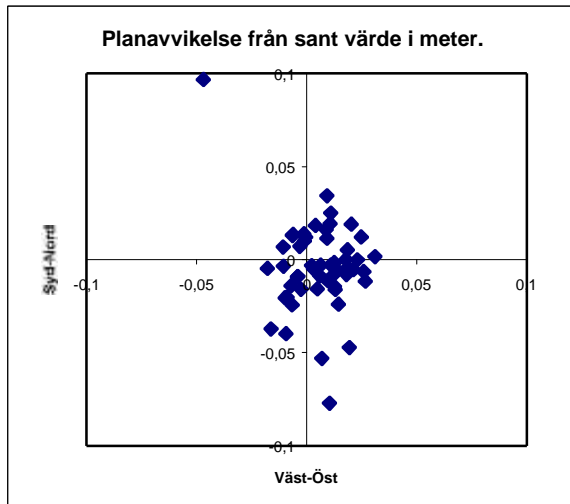
Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, 54 observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

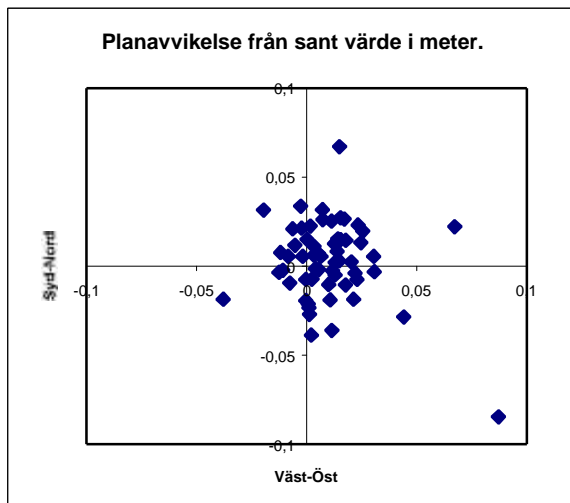
I bilaga 4 redovisas ytterligare diagram som visar plan och höjdavvikelse sorterade från minsta till största värde för respektive utrustning.

#### Punkt 4



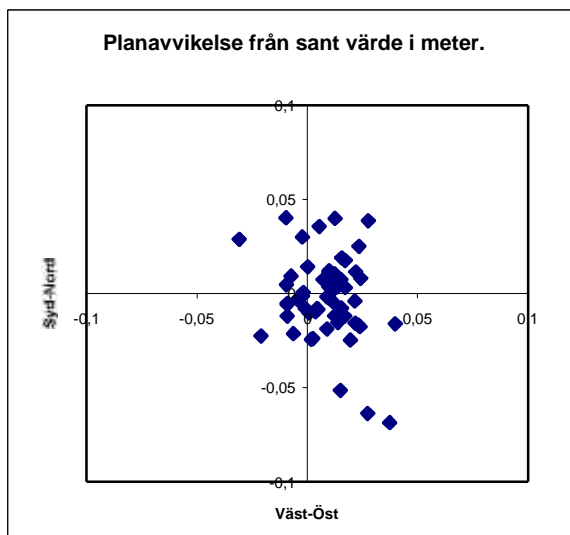
#### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		104	240
Precision		99	232
Medeldifferens		36	72
Största avvikelse		739	1728
	95%	54	114
	68%	23	51



#### Trimble utan 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		51	72
Precision		40	52
Medeldifferens		32	51
Största avvikelse		230	334
	95%	122	121
	68%	28	55

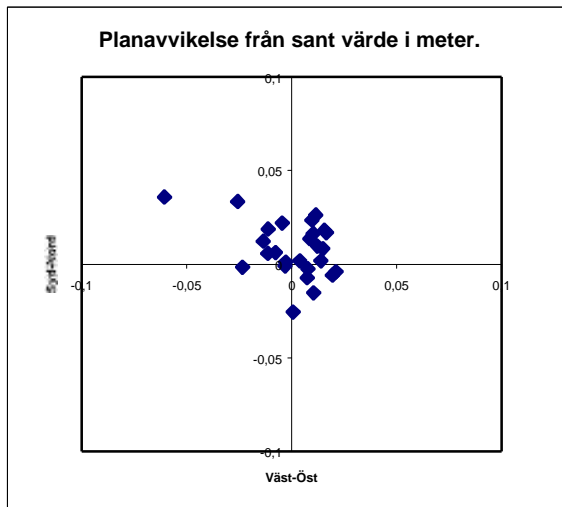


#### Trimble med 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		34	48
Precision		23	30
Medeldifferens		25	38
Största avvikelse		129	119
	95%	69	95
	68%	25	48

## Punkt 4 Simultanmätning 2

Med Leica gjordes 30 mätningar varav 28 godkändes vid efterkontroll. 1 observation ligger utanför diagrammet.

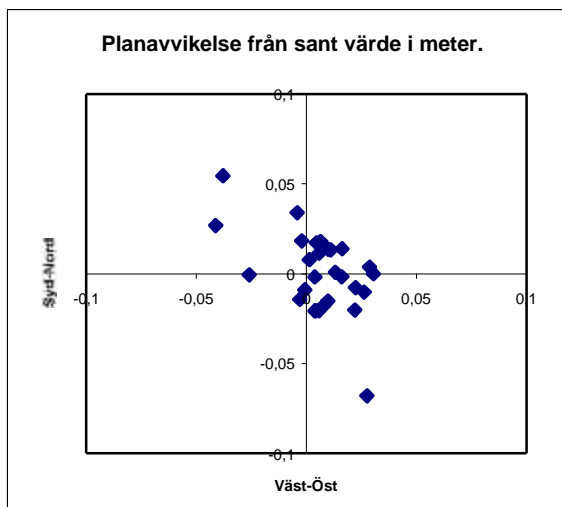


### Leica

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	41	60
Precision	31	40
Medeldifferens	28	45
Största avvikelse	143	162
95%	110	127
68%	24	57

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.

1 observation ligger utanför diagrammet.



### Trimble

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	55	88
Precision	45	34
Medeldifferens	32	81
Största avvikelse	258	157
95%	73	147
68%	24	88

## **Punkt 5**

Punkt 5 är markerad med markeringsspik i cykelbana. Punkten är skyddad av träd mellan öst och norr med 20 till 25 graders elevationsvinkel och har i övrigt fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter. Här redovisas planavvikelsen i diagramform. Trimble utan 59 har 1 mätning som ligger utanför diagrammet.

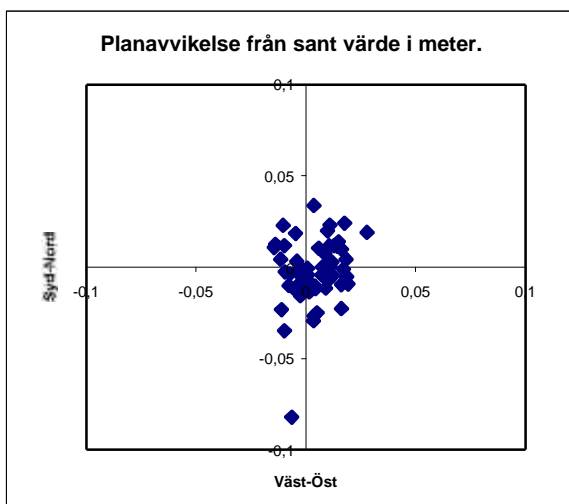
Dessutom redovisas i tabellerna, noggrannhet precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, 59 observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

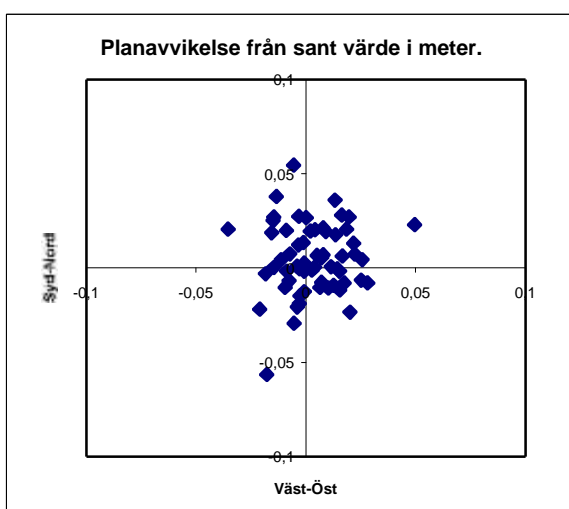
Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

### Punkt 5



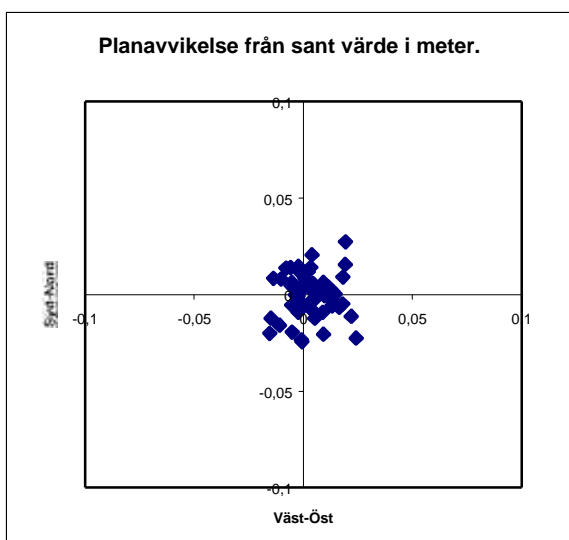
### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		21	35
Precision		12	20
Medeldifferens		17	28
Största avvikelse		82	86
	95%	34	64
	68%	19	36



### Trimble utan 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		35	57
Precision		26	38
Medeldifferens		24	42
Största avvikelse		195	159
	95%	55	109
	68%	26	45



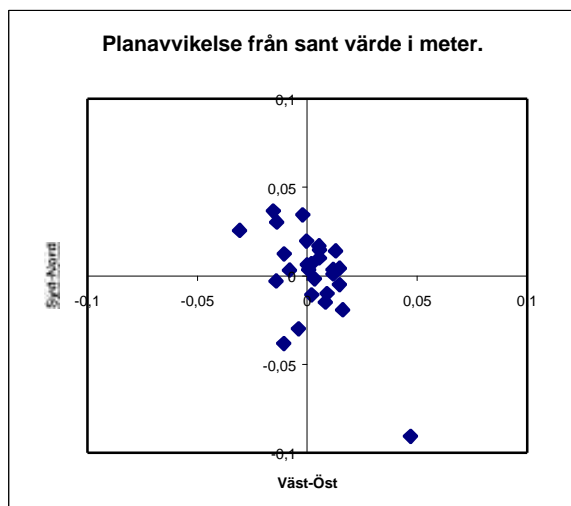
### Trimble med 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		15	40
Precision		7	28
Medeldifferens		13	29
Största avvikelse		33	181
	95%	25	71
	68%	15	37



## Punkt 5 Simultanmätning 2

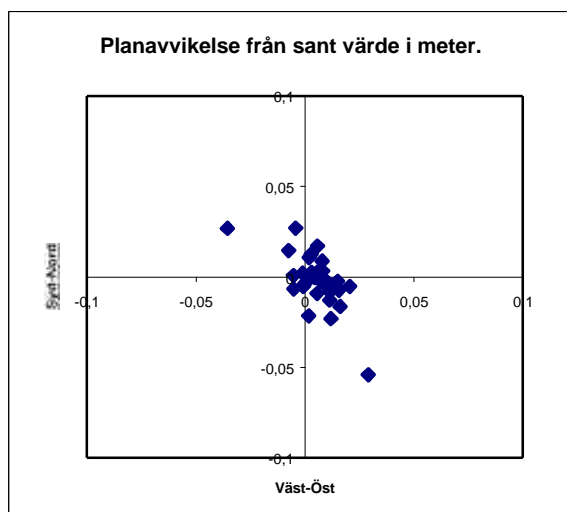
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 28 godkändes vid efterkontroll. 1 observation ligger utanför diagrammet.



### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		37	69
Precision		27	50
Medeldifferens		25	48
Största avvikelse		124	230
	95%	102	129
	68%	20	59

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.



### Trimble

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		19	85
Precision		13	37
Medeldifferens		15	76
Största avvikelse		61	170
	95%	44	153
	68%	16	92

## **Punkt 6**

Punkt 6 är markerad med markeringsspike i cykelbana. Punkten är skyddad av träd i nordväst med 33 graders elevationsvinkel har fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter.

Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

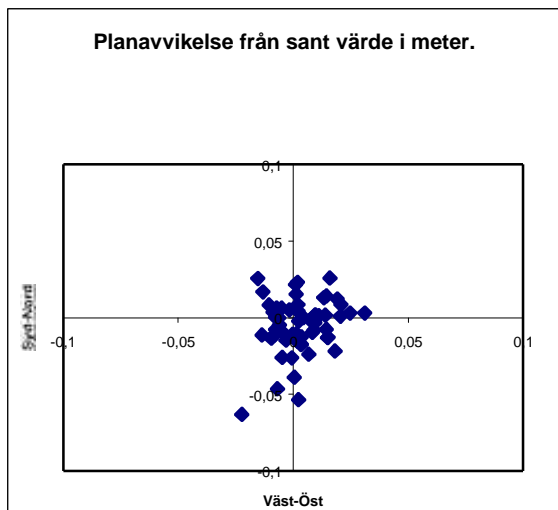
Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, 59 observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

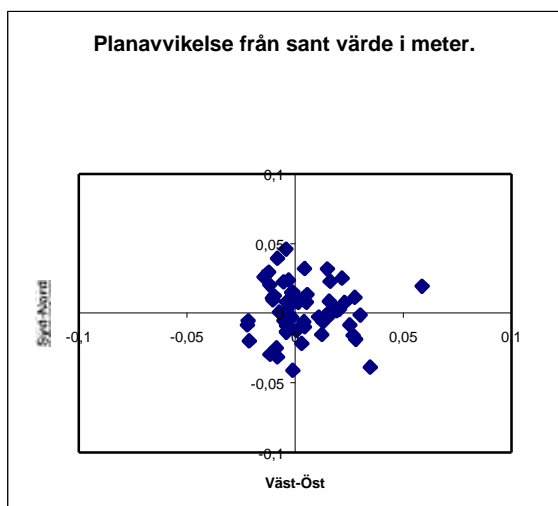
Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

**Punkt 6**



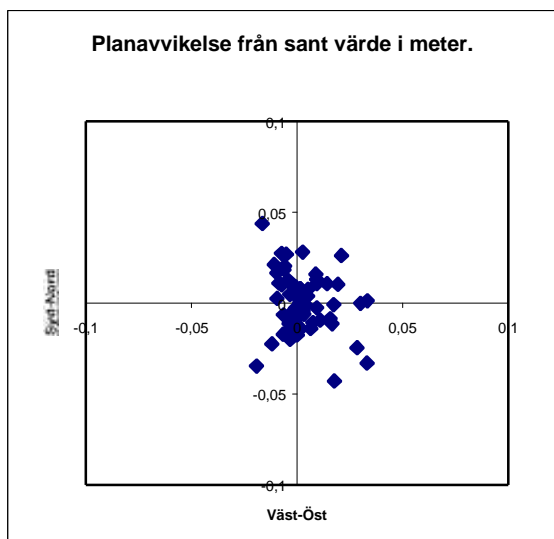
**Leica**

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		21	33
Precision		12	20
Medeldifferens		18	26
Största avvikelse		67	87
	95%	39	74
	68%	20	30



**Trimble med 59**

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		24	56
Precision		12	36
Medeldifferens		21	43
Största avvikelse		62	165
	95%	41	104
	68%	26	49

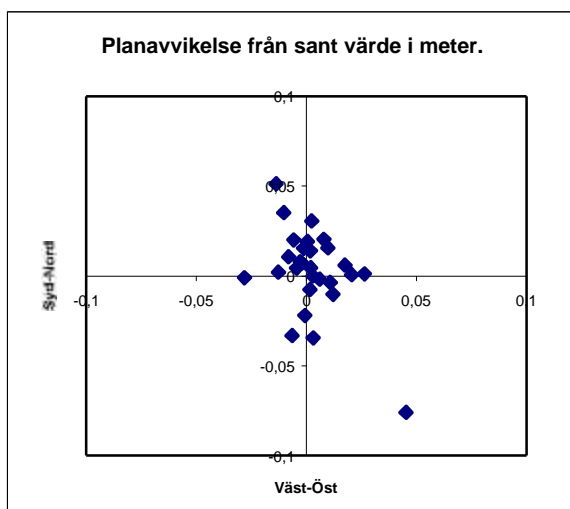


**Trimble med 59**

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		20	41
Precision		11	25
Medeldifferens		16	33
Största avvikelse		47	97
	95%	40	88
	68%	18	39

## Punkt 6 Simultanmätning 2

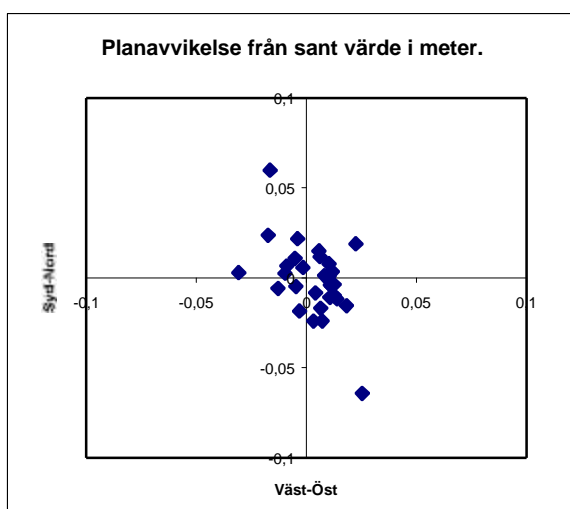
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 28 godkändes vid efterkontroll.



### Leica

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	27	55
Precision	17	39
Medeldifferens	21	39
Största avvikelse	88	162
95%	53	105
68%	22	57

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.



### Trimble

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	24	87
Precision	14	39
Medeldifferens	16	78
Största avvikelse	69	165
95%	62	159
68%	18	73

## **Punkt 7**

Punkt 7 är markerad med markeringsspik i cykelbana. Punkten är skymd av träd i sydsydöst till sydväst med 25 graders elevationsvinkel samt i östnordöst med 22 graders elevationsvinkel och i övrigt fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter.

Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

Trimble utan 59 har 1 mätning som är utanför diagrammet.

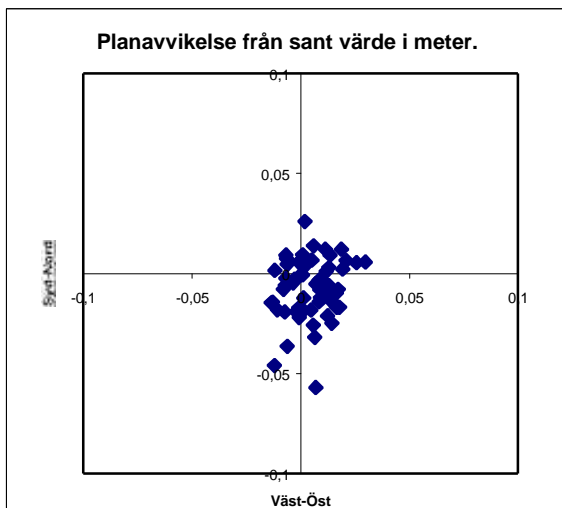
Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, 59 observationer godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

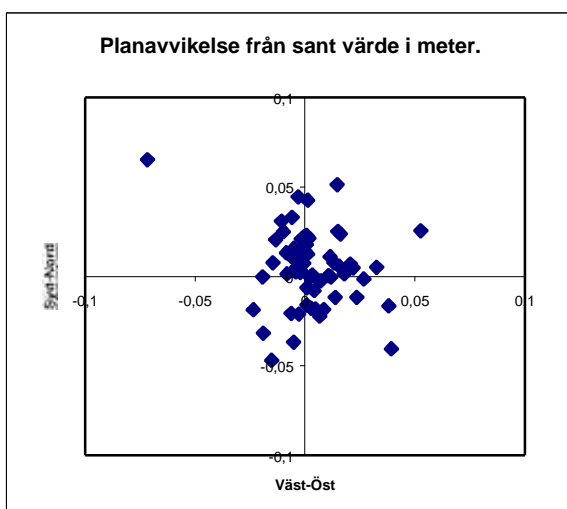
Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextioen mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

### Punkt 7



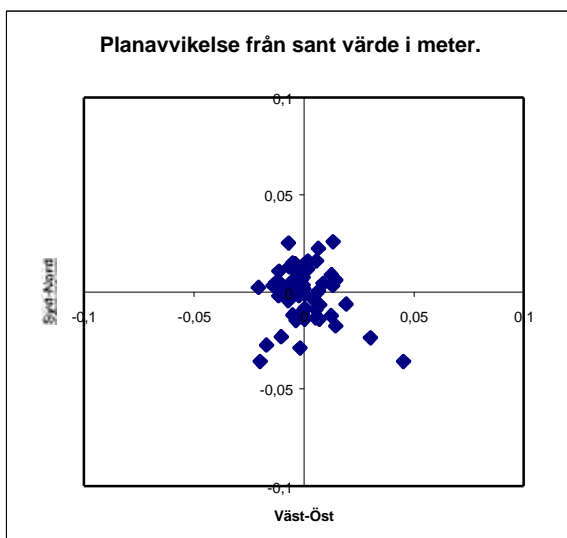
### Leica

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		20	36
Precision		10	24
Medeldifferens		17	28
Största avvikelse		57	104
	95%	33	68
	68%	19	33



### Trimble utan 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		35	58
Precision		25	37
Medeldifferens		25	45
Största avvikelse		169	130
	95%	56	128
	68%	26	57

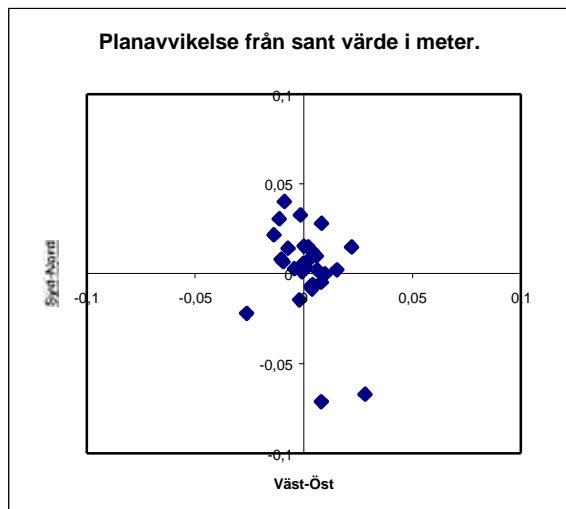


### Trimble med 59

	(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet		18	50
Precision		10	33
Medeldifferens		15	38
Största avvikelse		201	211
	95%	63	91
	68%	18	36

## Punkt 7 Simultanmätning 2

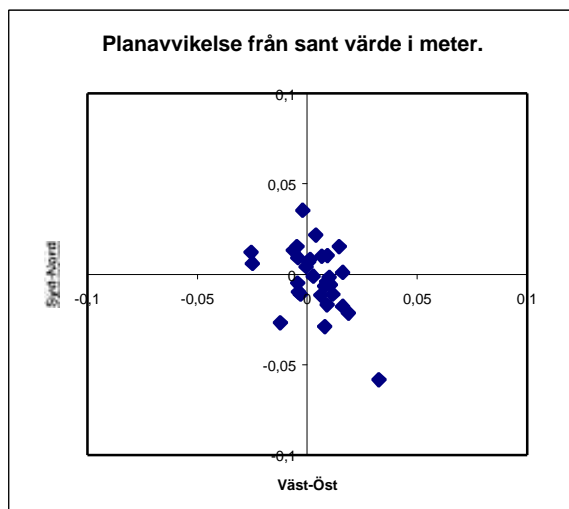
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 29 godkändes vid efterkontroll.



### Leica

	(mm) Plan	Höjd
Noggrannhet	26	56
Precision	18	36
Medeldifferens	20	43
Största avvikelse	73	137
95%	72	118
68%	16	47

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.



### Trimble

	(mm) Plan	Höjd
Noggrannhet	22	86
Precision	13	37
Medeldifferens	18	77
Största avvikelse	67	184
95%	35	150
68%	19	81

## **Punkt 8**

Punkt 8 är markerad med dubb i berg. Punkten är skyddad i öster med 56 graders elevationsvinkel samt i nord till nordväst med 40 till 30 graders elevationsvinkel och i övrigt fri sikt i alla riktningar över 15 grader på höjden 2 meter.

Här redovisas planavvikelsen i diagramform.

Trimble utan 59 har 1 mätning som är utanför diagrammet.

Dessutom redovisas i tabellerna noggrannhet, precision, medeldifferens och avvikelse vid tre olika nivåer för plan och höjd. Närmare beskrivning av hur dessa värden är framräknade finns i kapitel 8.1.

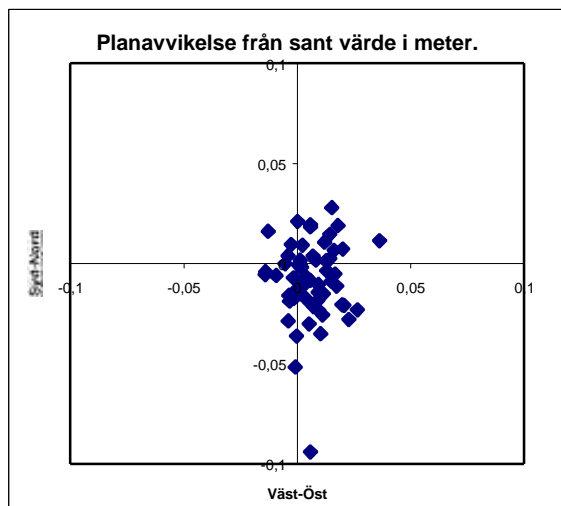
Med Leica utfördes sextio mätningar på denna punkt, samtliga godkändes vid efterkontroll avseende DOP-värden, eventuella handhavandefel samt övriga orimligheter som skulle direkt upptäckas vid produktionsmässig hantering.

Med Trimble som ej utnyttjar meddelande 59 utfördes sextio mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

Med Trimble som använder meddelande 59 utfördes sextio mätningar på denna punkt, samtliga observationer godkändes.

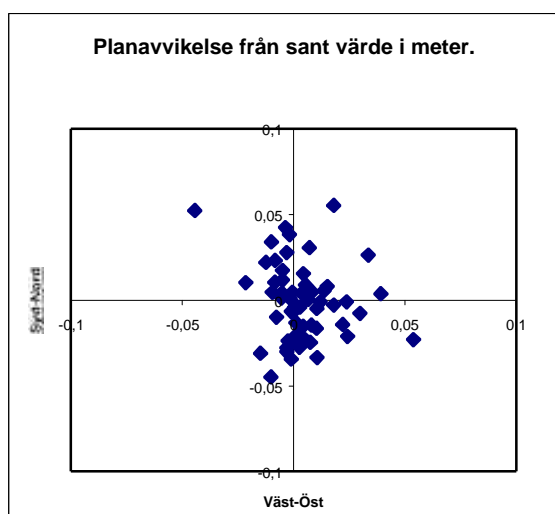


### Punkt 8



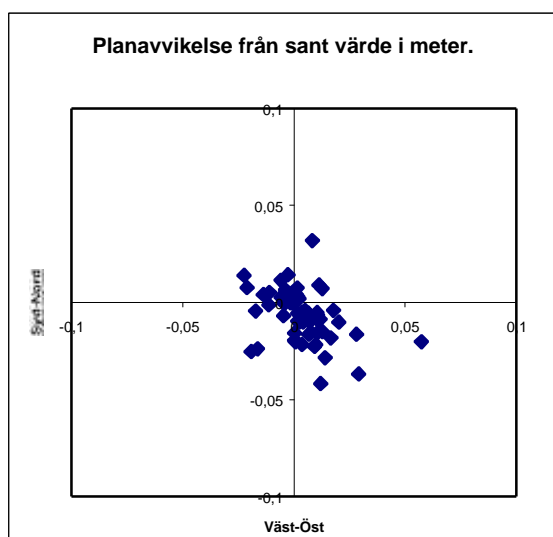
### Leica

	(mm)	
	Plan	Höjd
Noggrannhet	24	40
Precision	14	28
Medeldifferens	19	29
Största avvikelse	217	189
95%	39	98
68%	22	31



### Trimble utan 59

	(mm)	
	Plan	Höjd
Noggrannhet	35	56
Precision	25	33
Medeldifferens	25	45
Största avvikelse	175	169
95%	58	102
68%	28	55

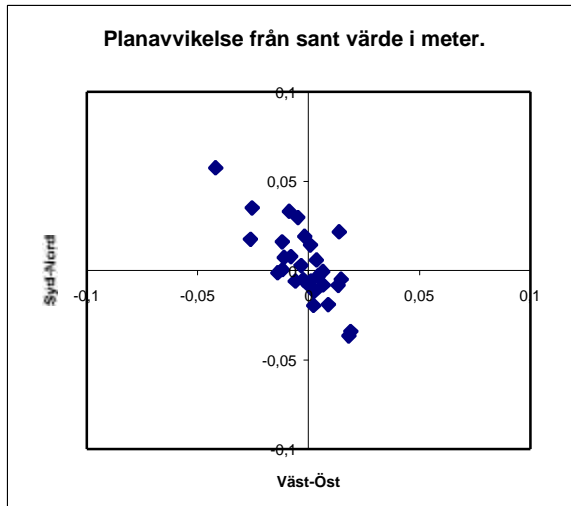


### Trimble med 59

	(mm)	
	Plan	Höjd
Noggrannhet	20	39
Precision	12	21
Medeldifferens	16	33
Största avvikelse	61	94
95%	33	79
68%	18	38

## Punkt 8 Simultanmätning 2

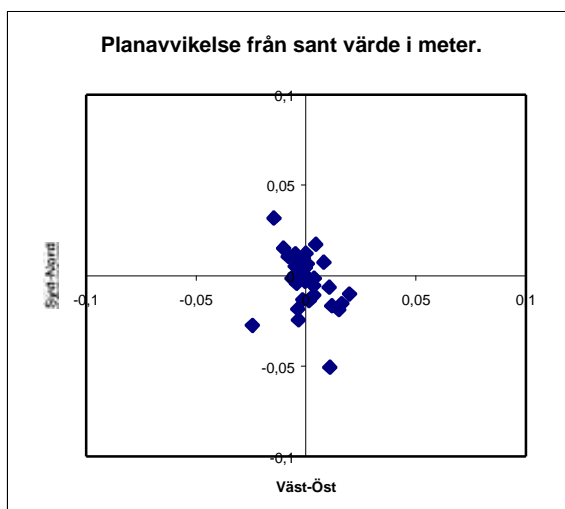
Med Leica gjordes 30 mätningar varav 29 godkändes vid efterkontroll.



### Leica

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	24	90
Precision	15	76
Medeldifferens	19	50
Största avvikelse	71	407
95%	43	117
68%	20	51

Med Trimble gjordes 30 mätningar där samtliga godkändes vid efterkontroll.



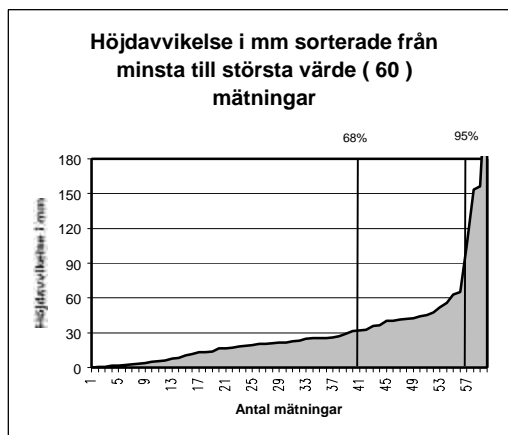
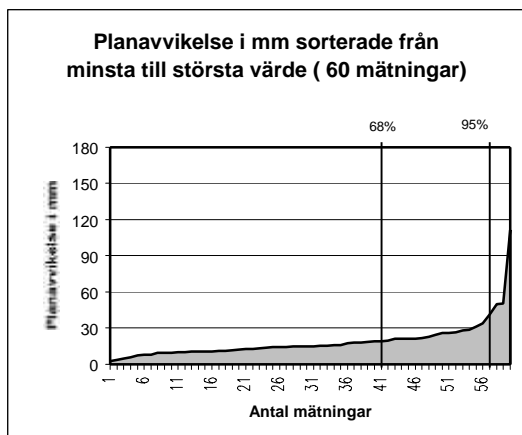
### Trimble

(mm)	Plan	Höjd
Noggrannhet	19	86
Precision	11	46
Medeldifferens	15	73
Största avvikelse	52	194
95%	37	176
68%	18	79

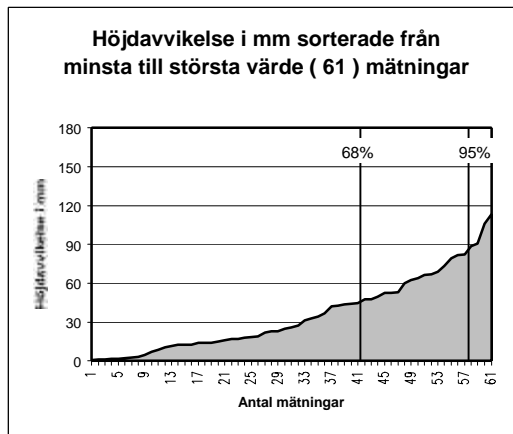
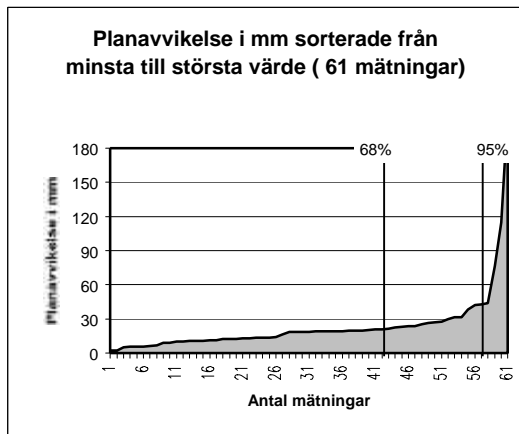
# Bilaga 3 punktvis plan- och höjdavvikelser

## Punkt 1

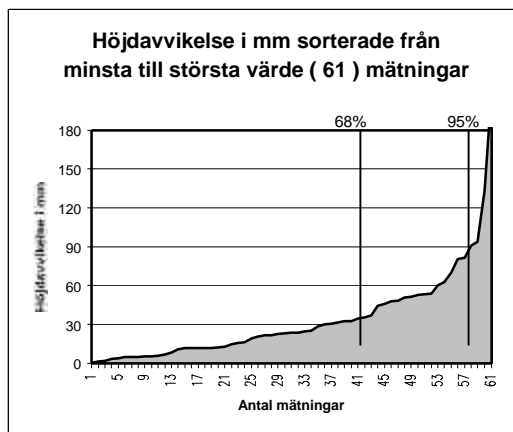
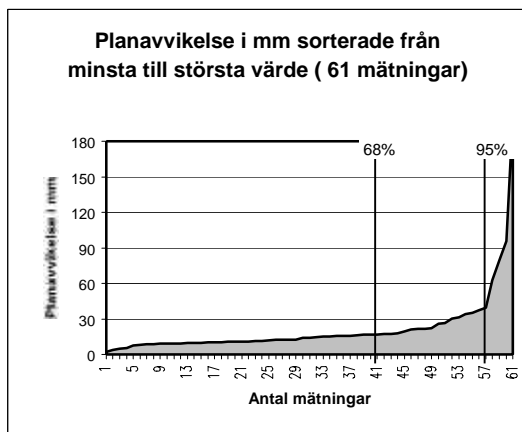
leica



Trimble utan 59

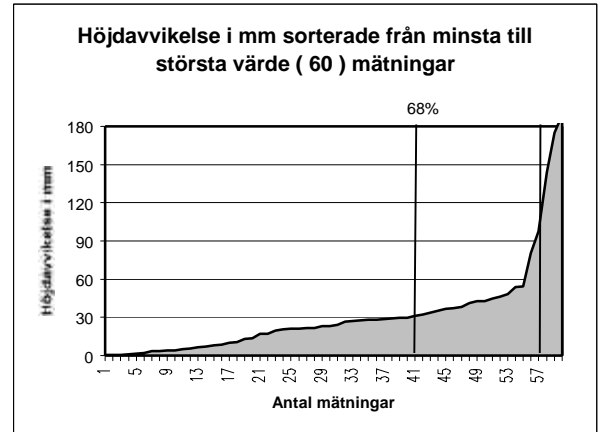
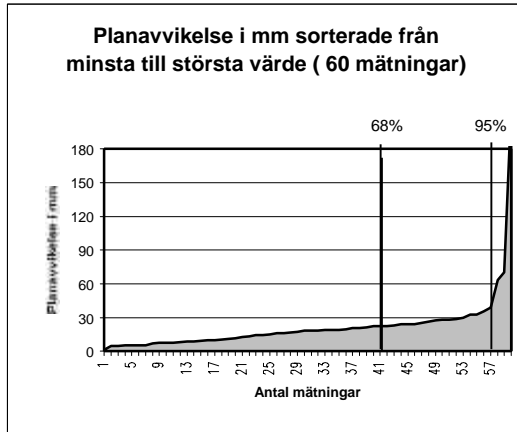


Trimble med 59

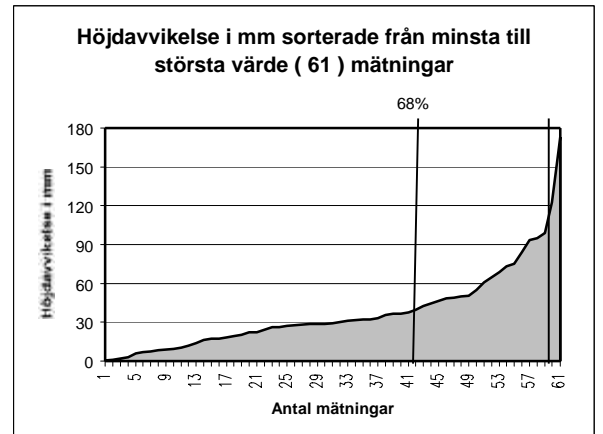
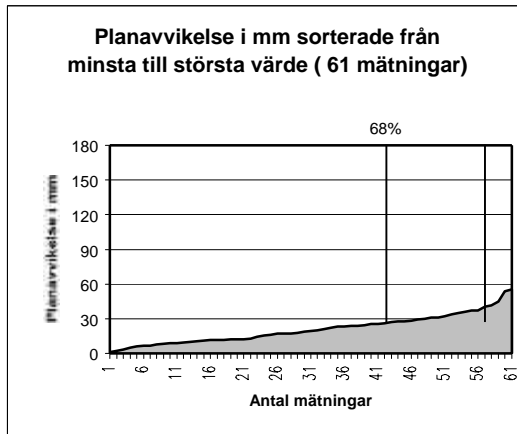


## Punkt 2

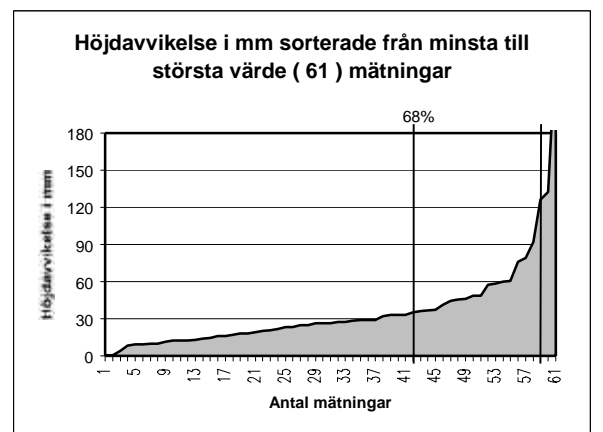
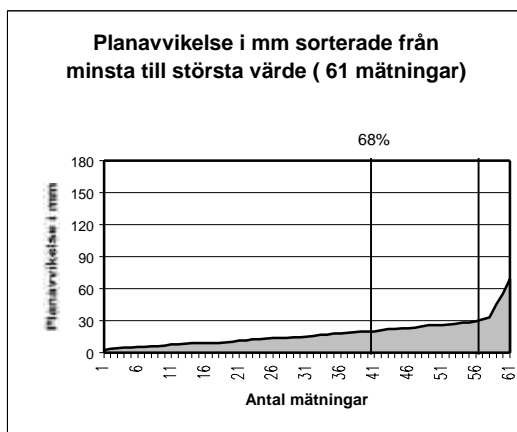
### Leica



### Trimble utan 59

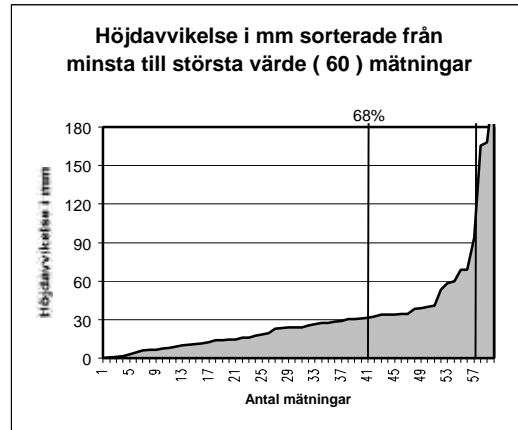
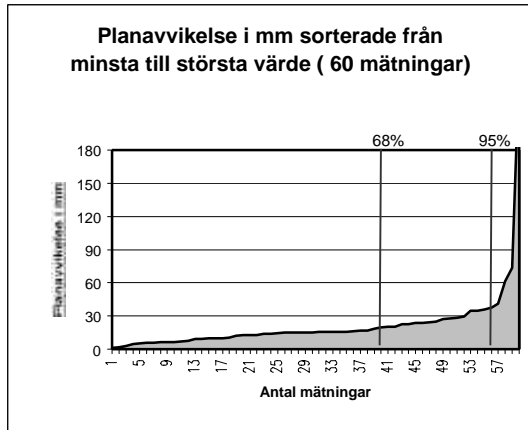


### Trimble med 59

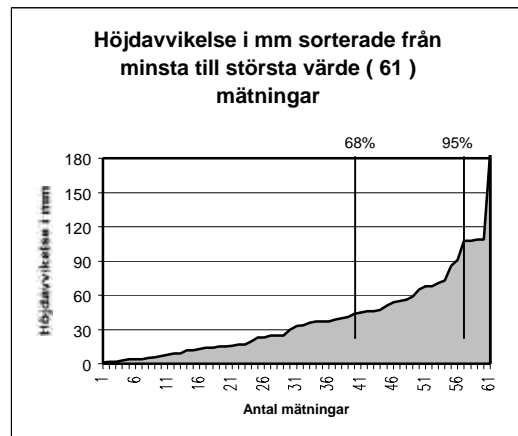
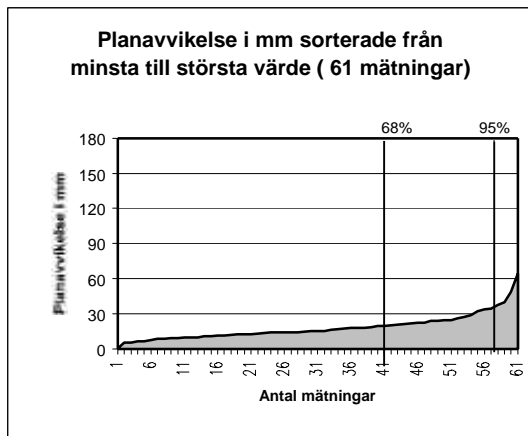


### Punkt 3

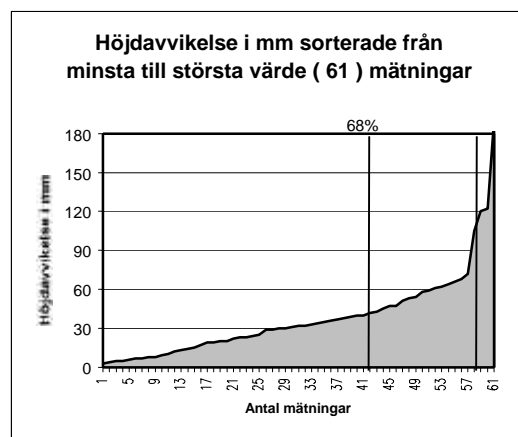
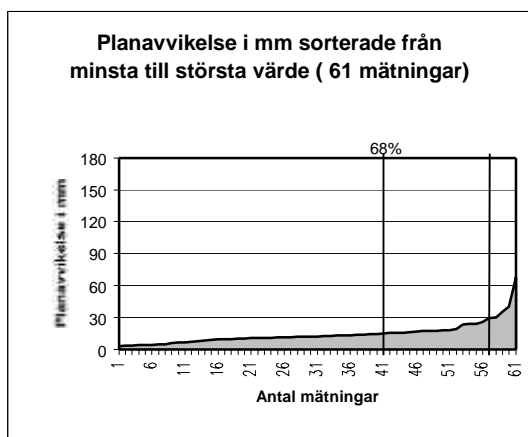
Leica



Trimble utan 59

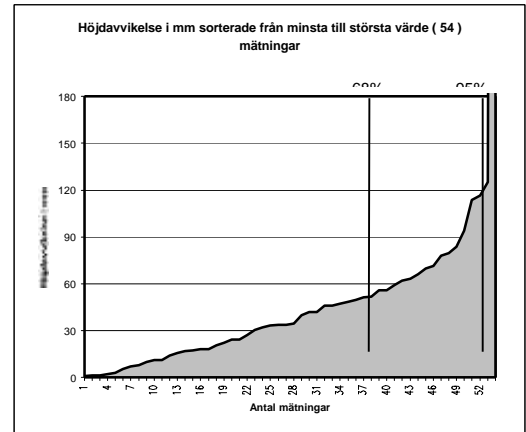
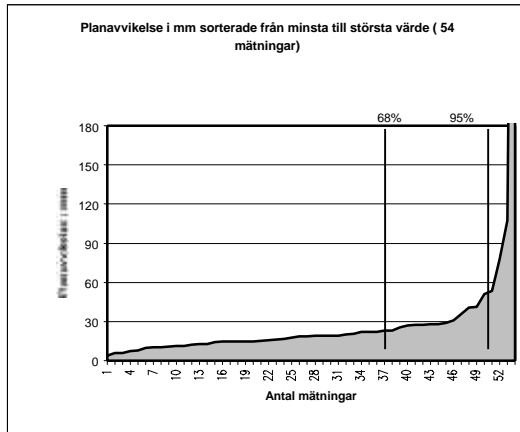


Trimble med 59

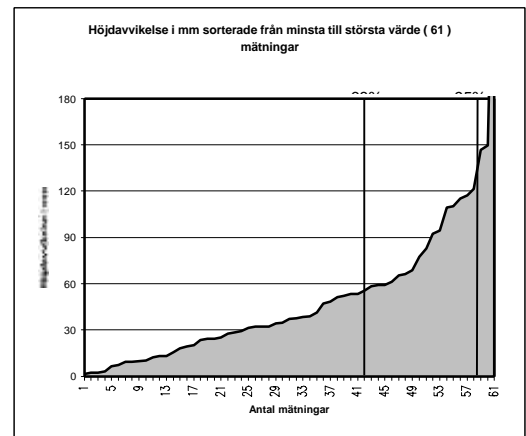
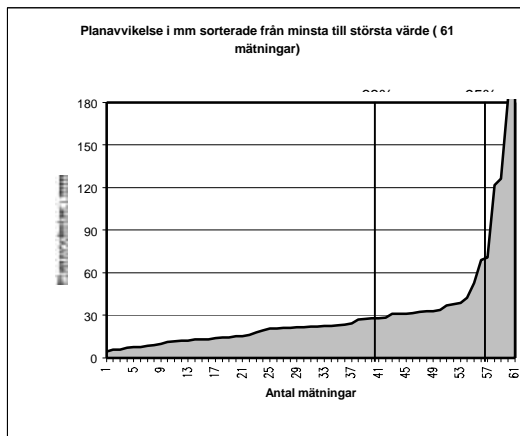


## Punkt 4

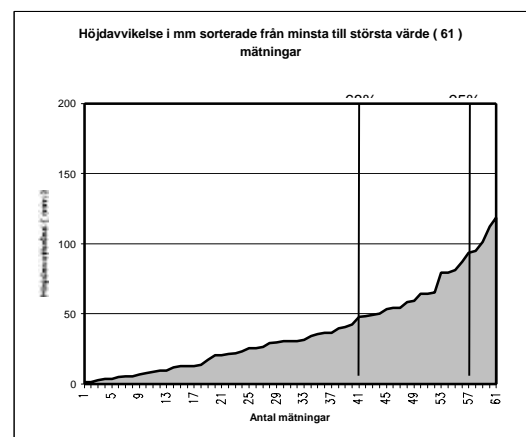
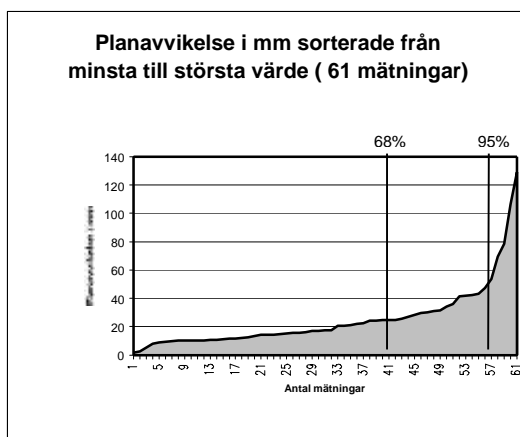
### Leica



### Trimble utan 59

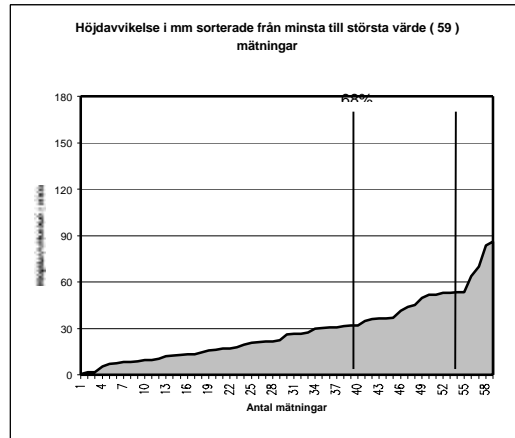
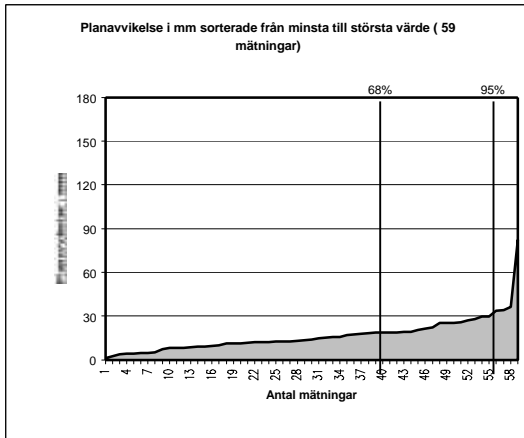


### Trimble med 59

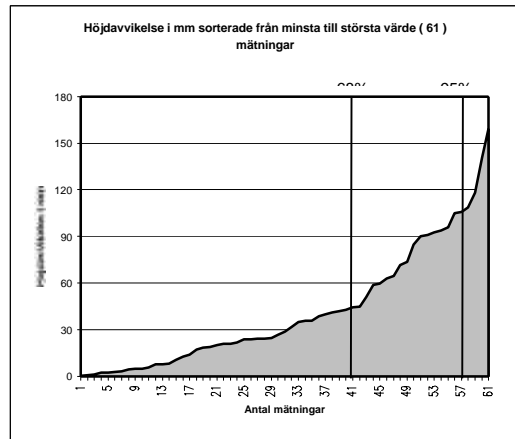
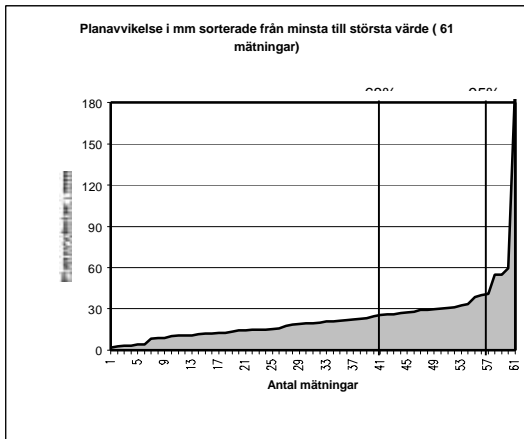


## Punkt 5

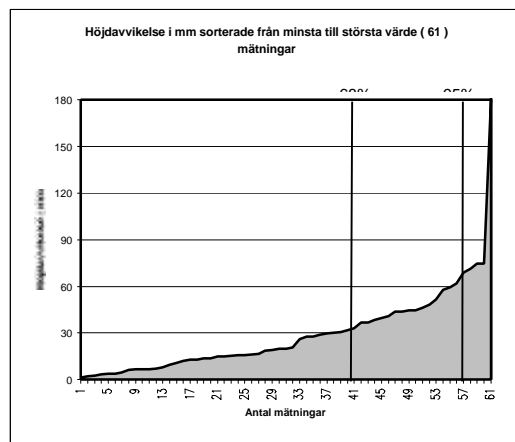
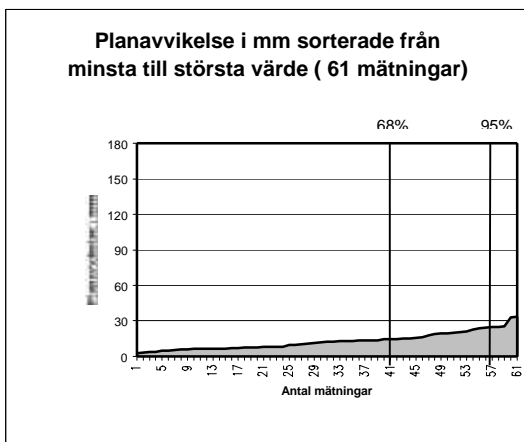
### Leica



### Trimble utan 59

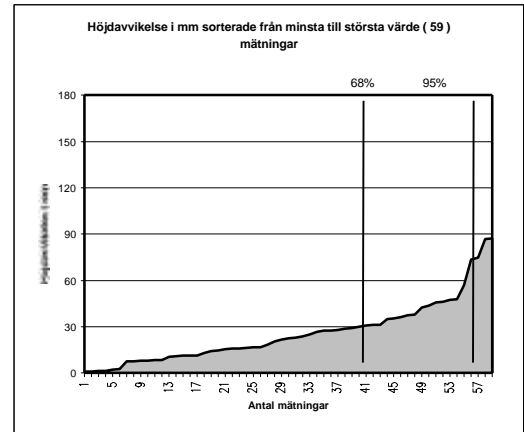
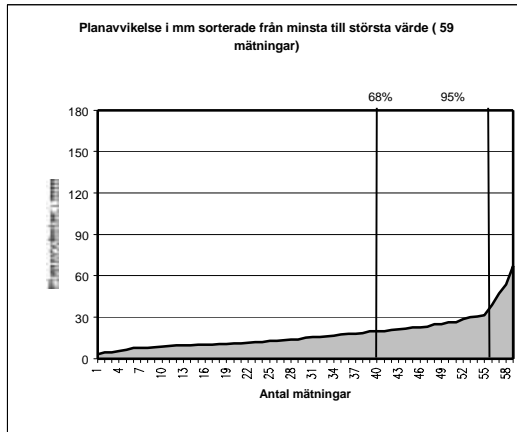


### Trimble med 59

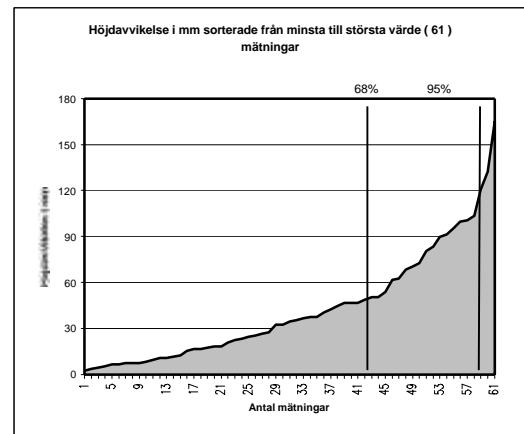
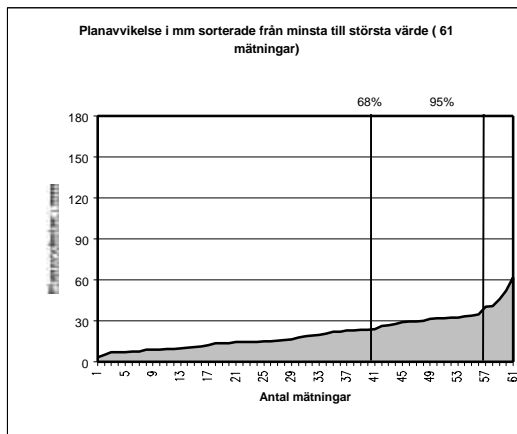


## Punkt 6

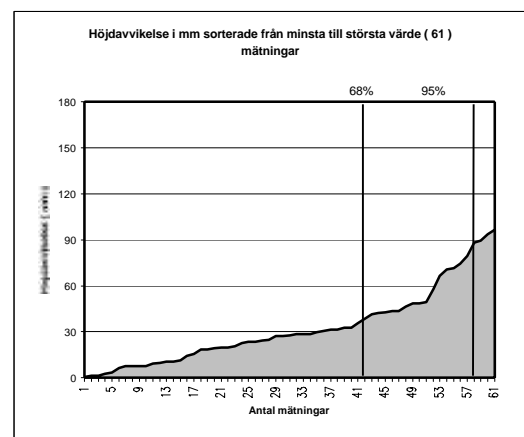
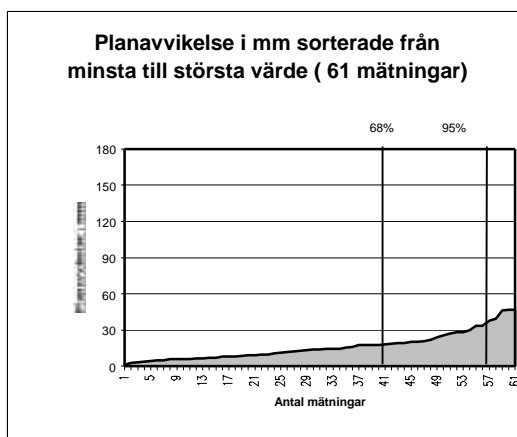
leica



Trimble utan 59



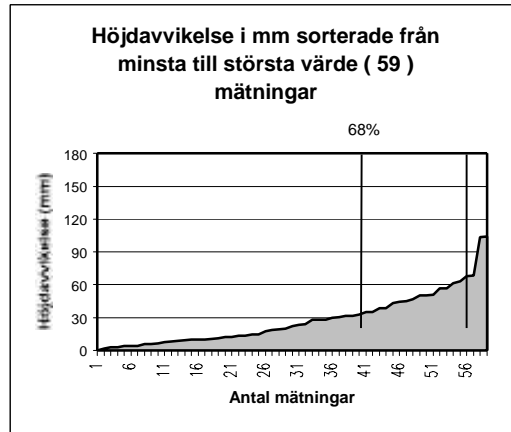
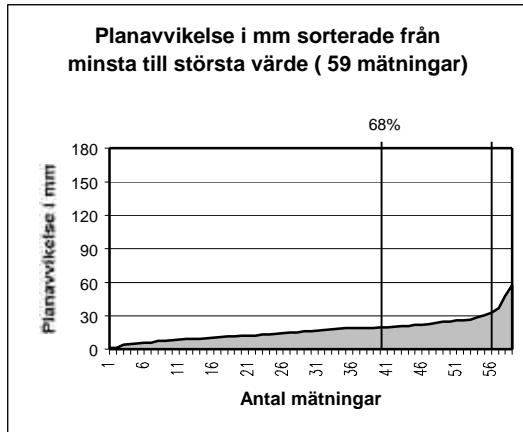
Trimble med 59



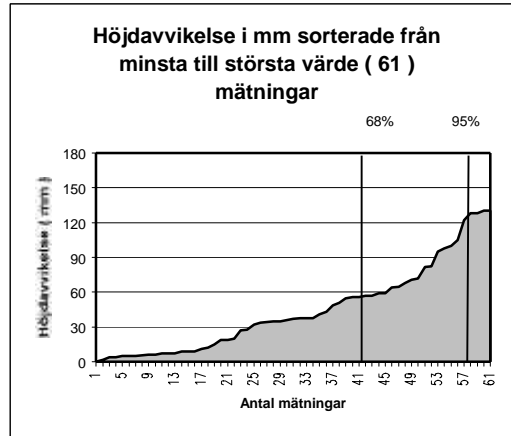
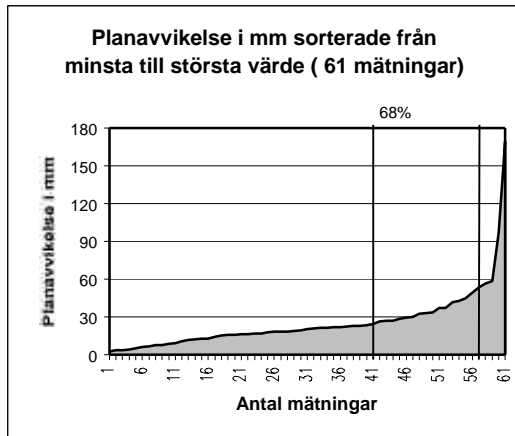


**Punkt 7**

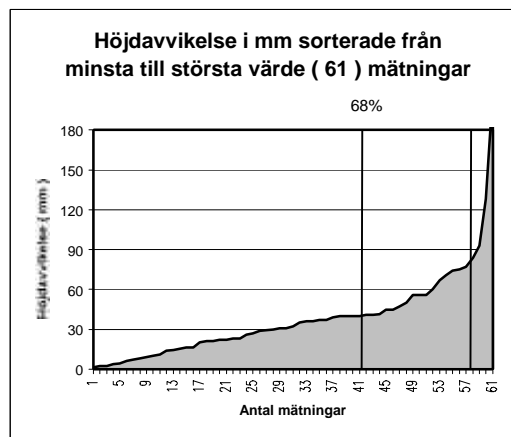
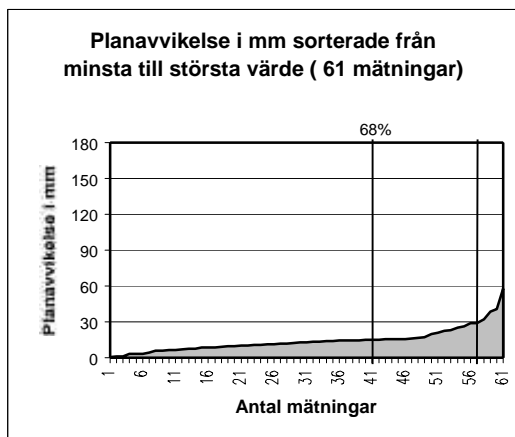
**Leica**



**Trimble utan 59**

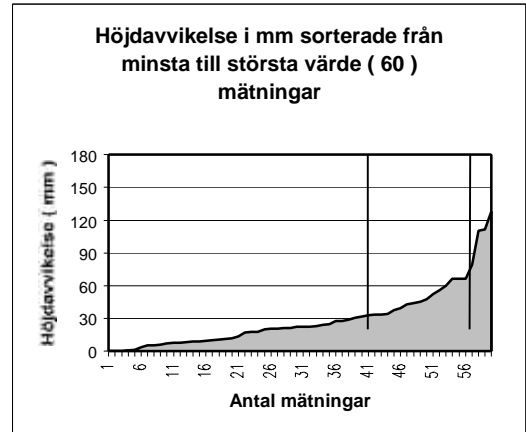
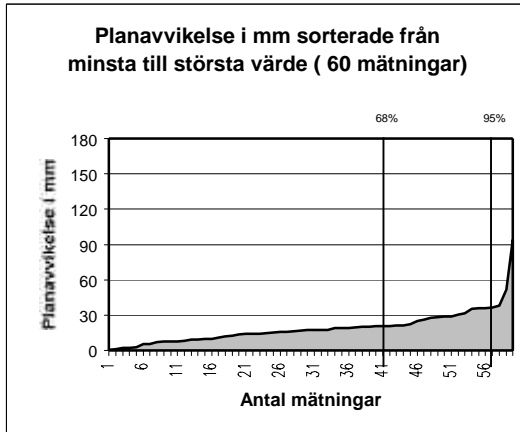


**Trimble med 59**

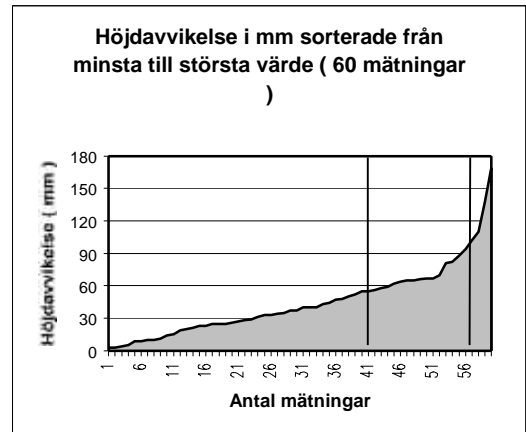
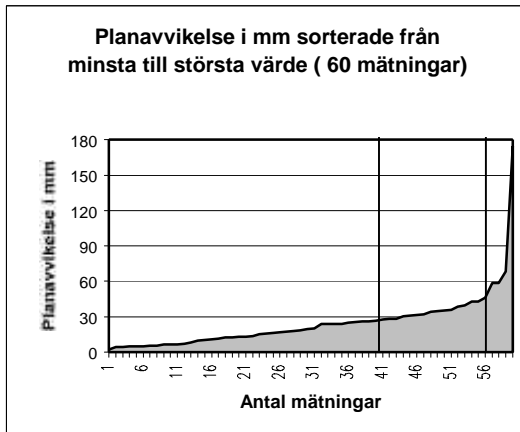


## Punkt 8

Leica



Trimble utan 59



Trimble med 59

