

# **En noggrann- hetsjämförelse mellan Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS**

Magnus Ahrenberg & Andreas Olofsson

Examensarbete

Gävle 2005

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2005-06-30

Författare Magnus Ahrenberg & Andreas Olofsson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 70

LMV-Rapport 2005:3 – ISSN 280-5731

# **En noggrann- hetsjämförelse mellan Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS**

Magnus Ahrenberg & Andreas Olofsson

Examensarbete

Gävle 2005

L A N T M Ä T E R I E T





## Förord

Detta examensarbete är gjort på uppdrag av Lantmäteriet. Det är en 10 poängs C-uppsats och avslutar vår lantmäteringenjörsutbildning på Högskolan i Trollhättan/Uddevalla (HTU). Arbetet har pågått under våren 2005 och under den tiden har vi fått hjälp av flera personer. Vi vill tacka våra handledare Bo Jonsson och Daniel Johansson på Lantmäteriverket i Gävle för deras engagemang, ovärderliga hjälp samt utlåning av utrustning under arbetets gång. Vi vill också tacka Anders Frisk på SWEPOS-driften för hans hjälp när tekniken inte har fungerat som den ska. Vi riktar också ett stort tack till vår examinator Gunnar Starke på HTU för hans stöd under arbetet. Även Eva Ericsson på HTU förtjänar ett tack för utlåning av utrustning till våra mätningar.

Trollhättan i juni 2005

Magnus Ahrenberg och Andreas Olofsson



# **En noggrann- hetsjämförelse mellan Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS**

<b>Förord</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>9</b>
<b>Abstract</b>	<b>10</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>11</b>
1.1 Syfte och målsättning	11
1.2 Avgränsningar	11
<b>2 Kort översikt över GPS</b>	<b>12</b>
2.1 Referenssystem	13
2.2 SWEPOS®	14
2.3 Statisk mätning	15
2.4 RTK-mätning	17
2.4.1 Nätverks-RTK	17
2.5 Differentiell GPS	18
2.5.1 Nätverks-DGPS	19
<b>3 Kvalitetsbegrepp</b>	<b>19</b>
3.1 Feltyper	19
3.2 Standardavvikelse/Precision	20
3.3 Medelfel/Noggrannhet	20
3.4 Sambandet mellan precision, noggrannhet och riktighet	21
3.5 Medelavvikelse	21
3.6 Normalfördelning	21

<b>3.7 Konfidensintervall</b>	<b>22</b>
<b>4 Metod och genomförande</b>	<b>22</b>
4.1 Förberedande arbete	22
4.2 Rekognoscering av mätpunkter	23
4.3 Fältmätningar	24
4.3.1 Utrustning	24
4.3.2 Programvaror	25
4.3.3 Den statistiska mätningen	25
4.3.4 Realtidsmätningen	26
4.4 Utvärdering och analys av studiens mätvärden	27
<b>5 Resultat</b>	<b>27</b>
5.1 Resultat för samtliga mätvärden i studien	28
5.2 Antal satelliter	32
5.3 Initialiseringstid	32
<b>6 Diskussion</b>	<b>33</b>
<b>7 Slutsatser</b>	<b>35</b>
<b>8 Referenser</b>	<b>36</b>
<b>9 Bilagor</b>	<b>37</b>



# En noggrannhetsjämförelse mellan Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS

## Sammanfattning

I denna studie jämförs två olika metoder att positionsbestämma med användning av GPS (Global Positioning System) i realtid. De två metoderna som jämförs är Nätverks-RTK (Real Time Kinematic) och Nätverks-DGPS (Differentiell GPS). Studiens syfte är inte att fastställa vilken av dessa metoder som är mest noggrann eftersom det redan är känt att Nätverks-RTK är en betydligt mer noggrann teknik. Syftet är istället att undersöka och utvärdera mätningarnas kvalitet hos de två teknikerna. Detta görs genom att ett stort antal fältmätningar, gjorda med SWEPOS<sup>®</sup> Nätverks-RTK-tjänst parallellt prototyp-tjänsten SWEPOS<sup>®</sup> Nätverks-DGPS-tjänst, analyseras bland annat med avseende på kvalitetsbegreppen precision och noggrannhet.

Dessa fältmätningar utfördes på fyra testpunkter lokaliserade i två olika "trianglar" inom Nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde i Västra Götalands Län. För att undersöka hur olika förhållanden påverkade mätningarnas noggrannhet så utfördes mätningar på en punkt i vardera "triangel" med goda mätförhållanden och en punkt i vardera med sämre förhållanden. Dessa fyra testpunkter mättes först in med statisk mätning för att få fram ett värde som användes som "sant" värde i studien. Detta "sanna" värde jämfördes sedan realtidsmätningarna med.

Totalt utfördes 640 mätningar med Nätverks-RTK och 640 mätningar med Nätverks-DGPS och resultatet visar som väntat att precisionen och noggrannheten är hög för Nätverks-RTK och sämre för Nätverks-DGPS. Resultatet visar också att precisionen och noggrannheten är betydligt högre på de punkter som hade goda mätningsförhållanden och detta gäller för båda teknikerna.

Även om Nätverks-DGPS är en mindre noggrann teknik så kan den komma till stor användning i praktiska tillämpningar. Inom de användningsområden där det räcker att kunna positionsbestämma med decimeter- och meternoggrannhet kan Nätverks-DGPS vara ett bra alternativ då mottagarna och tekniken är billiga att införskaffa och använda.

# A comparison of accuracy between Network-RTK and Network-DGPS

## Abstract

This study compares two different methods for real-time positioning using GPS (Global Positioning System). The two methods are Network-RTK (Real Time Kinematic) and Network-DGPS (Differential GPS). The purpose of the study is not to determine the more accurate of the two methods. Network-RTK is known to be the far more precise of the two. Instead, the purpose is to study and evaluate the quality of the measurements from the techniques. This is performed by a large number of measurements using SWEPOS<sup>®</sup> Network-RTK-service simultaneously as in parallel with the prototype service SWEPOS<sup>®</sup> Network-DGPS. The collected data has been analyzed with focus on, among other things, quality and accuracy.

These field-surveys were performed on four different test spots located in two different “triangles” within the Network-RTK covered area of Västra-Götaland, Sweden. In order to investigate the influence from different environmental conditions on the accuracy of the methods, one spot in each triangle were measured with good conditions and another one during worse conditions. At the beginning of the study, the positions of the four test spots were determined using static GPS measurements. These values were later used as “ground truth” and compared to the real-time measurements.

A total of 640 measurements were performed for both of the methods and, as expected, Network-RTK has the better accuracy (3 cm horizontally (95%)), while Network-DGPS has a bit worse precision (77 cm horizontally (95%)). The results also show that the accuracy is much better at spots with good conditions. This is true for both methods.

Although Network-DGPS is a less accurate technique, it may still have great practical importance for applications where the task is to determine the position with an accuracy of decimeters or meters, Network-DGPS could be an attractive alternative, as the technology is cheap, and easy to use.

# 1 Inledning

Mätning med satellittekniik har blivit allt vanligare de senaste 10 åren och det är nu en stor del i vardagen inom mätningstekniken. Ett sammanfattande begrepp för satellitmätning är Global Navigation Satellite System (GNSS). Global Positioning System (GPS) är en del av GNSS och var det första satellitbaserade positioneringssystemet. GPS är amerikanskt och skapades för den amerikanska militären och i början var det endast tillgängligt för militärt bruk men senare blev det även tillgängligt för civilt bruk. Förutom GPS finns även ett ryskt system som heter GLONASS och snart även ett europeiskt som heter Galileo.

Denna studie görs på uppdrag av Lantmäteriet och syftar till att jämföra två olika sätt att positionsbestämma med GPS i realtid. De två metoderna som ska jämföras är Nätverks-RTK (Real Time Kinematic) och Nätverks-DGPS (Differentiell GPS). Arbetets tyngdpunkt är att enligt ett specificerat schema utföra ett stort antal mätningar i fält för att sedan utvärdera dessa mätningar med hjälp av olika kvalitetstermer.

I rapporten beskrivs GPS-tekniken på ett översiktligt plan. Därefter beskrivs studiens tillvägagångssätt, kvalitetsbegrepp som har använts vid utvärdering och analys av mätvärdena, resultatet som erhållits från mätningarna och till sist slutsatserna av resultatet.

## 1.1 Syfte och målsättning

Syftet med detta examensarbete har varit att undersöka hur noggrann mätning som kan åstadkommas med Nätverks-DGPS om man använder sig av samma täthet mellan referensstationer som man har vid Nätverks-RTK.

Detta har åstadkommit genom att ett stort antal fältmätningar, gjorda med SWEPOS<sup>®</sup> Nätverks-RTK-tjänst parallellt prototyp-tjänsten SWEPOS<sup>®</sup> Nätverks-DGPS-tjänst, har analyserats bland annat med avseende på kvalitetsbegreppen precision och noggrannhet.

Målsättningen har varit att få fram ett statistiskt säkerställt resultat på mätningarnas noggrannhet och kvalitet med respektive metod.

## 1.2 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsas i huvudsak till att redovisa mätningarnas resultat och noggrannhet, och utvärdering av resultatet.

Tyngdpunkten ligger inte i att beskriva GPS-tekniken mer än på ett översiktligt plan.

## 2 Kort översikt över GPS

GPS (Navstar Global Positioning System) är ett amerikanskt satellitbaserat system för positionsbestämning, navigering och tidsöverföring. GPS byggdes från början upp av USA:s försvar men har fått stor betydelse för det civila användandet. Systemet är uppbyggt av cirka 30 satelliter som på en höjd av ungefär 20200 km ovanför jordens yta cirkulerar i sex olika banplan. [1] För att övervaka, registrera och vid behov flytta satelliterna finns det fem markstationer belägna i huvudsak längs ekvatorn. Antalet satelliter i drift varierar beroende på satelliternas livslängd, men så länge det finns 24 stycken satelliter i omlopp så skall man rent teoretiskt kunna få signaler från minst fyra av dem var man än befinner sig på jorden. Omloppstiden för varje satellit är 11 timmar och 58 minuter vilket innebär att satellitkonfigurationen tidigareläggs fyra minuter varje dygn. [2] Satelliterna i GPS-systemet har en inklinationsvinkel på 55 grader [3]. Detta innebär att satelliterna vänder ungefär i "höjd" med Bornholm vilket i sin tur medför att vi i Sverige har något sämre satellitkonfiguration än vad de har närmare ekvatorn.

Tekniken för att positionsbestämma med GPS är helt beroende av att satelliterna vet sin egen position samt att satellitklockan är synkroniserad med mottagarklockan för att kunna beräkna avståndet till de olika satelliterna. Beräkningen sker genom att man vet tiden från det att GPS-signalen skickades till att den kom fram samt att man vet ljusets (signalens) hastighet. Signalerna från satelliterna sänds ut på två olika frekvenser (L1 och L2). Signalerna består av vardera en bärvåg och på L1 en överlagrad P-kod (Precision) samt en C/A-kod (Coarse/Acquisition). L2 däremot har bara en P-kod överlagrad på sin bärvåg. Signalerna innehåller även ett satellitmeddelande med information som är nödvändig, så som information om klockan, satelliternas position, information om jonosfären med mera. Man kan som användare antingen bestämma sin position med hjälp av kodmätning eller med hjälp av bärvågsmätning. Bärvågsmätning är mer noggrann än kodmätning men är betydligt mer känslig för signalavbrott. [1] [3]

Det finns ett antal olika positionsbestämningsmetoder med GPS och de kan delas in i olika grupper beroende på vilket sätt man mäter på och vilken teknik man mäter med. Den teknik som används i vår studie är relativ positionsbestämning. Tekniken innebär att man med minst två mottagare samtidigt mäter mot samma satelliter.

Positionen bestäms genom att mottagaren mäter relativt den andra eller de andra mottagarna som oftast står på kända positioner. Man får korrekationer från mottagarna på de kända punkterna antingen i realtid eller genom en senare efterberäkning. [1] [3] För efterberäkning och korrekationer i realtid kan man använda sig av lantmäteriets SWEPOS-stationer. Det är dessa stationer som används för både den statistiska mätningen och mätningarna i realtid i denna

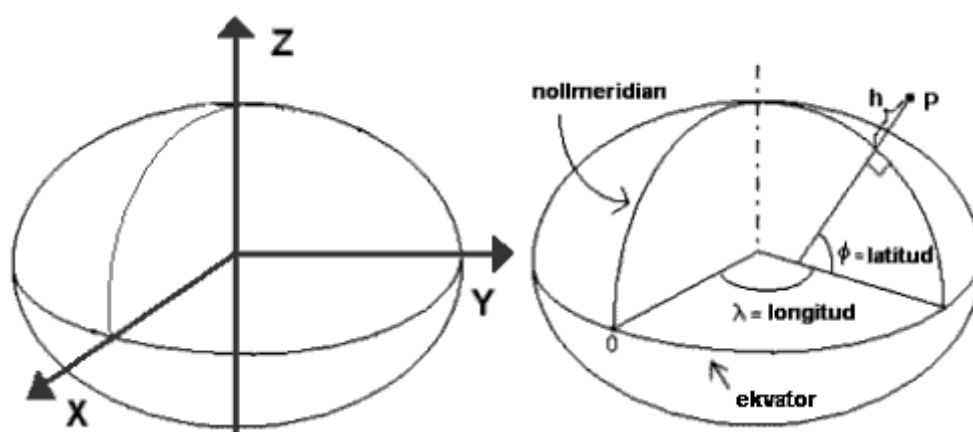
studie. De 21 ursprungliga stationerna i SWEPOS-nätet realiserar referenssystemet SWEREF 99. [4]

## 2.1 Referenssystem

För att kunna ge en noggrann positionsangivelse av en punkt på marken krävs att latitud och longitud anges i ett definierat referenssystem. Ett referenssystem för latitud och longitud beskriver hur det geodetiska koordinatsystemet ska vara uppbyggt. Det räcker alltså inte med att ange en positions latitud och longitud eftersom värdena på dessa innebär olika positioner i olika referenssystem. Latitud och longitud beräknas på en jordellipsoid och den valda ellipsoidmodellen kallas för referensellipsoid. [5]

Referenssystem för latitud och longitud har funnits i de flesta länder sedan mitten av 1700-talet och varje land har då haft sitt eget referenssystem. Vid GPS-mätning passar inte dessa nationella referenssystem så bra eftersom man istället behöver ett globalt referenssystem. WGS 84 är ett sådant globalt referenssystem och det är det som används av GPS. [5] I Sverige används referenssystemet SWEREF 99 som är den svenska realiseringen av det europeiska referenssystemet ETRS 89. SWEREF 99 bygger på de 21 ursprungliga SWEPOS-stationerna som utgör det så kallade SWEPOS-nätet. [4]

På bilden nedan visas en ellipsoid samt principen för hur 3-dimensionella referenssystem är uppbyggda.



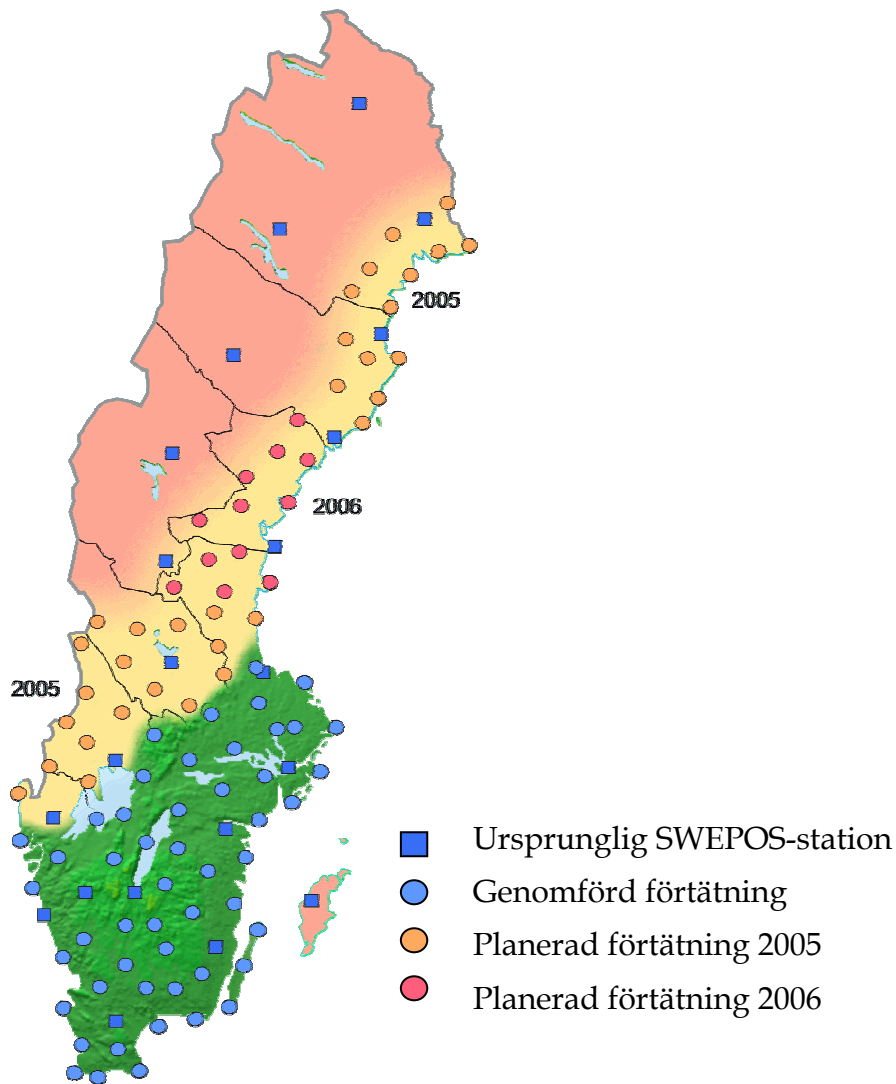
**Figur 1:** Beskrivning av ellipsoiden samt principen för 3-dimensionella referenssystem. Källa: <http://www.lantmateriet.se>

## 2.2 SWEPOS®

SWEPOS är ett nät av fasta referensstationer som byggts upp i samarbete mellan Lantmäteriet och Onsala rymdobservatorium. Varje station består av en GPS-mottagare som står över en känd punkt och registrerar data dygnet runt. Data sänds sedan över till driftledningscentralen i Gävle där data distribueras via GSM-nätet till realtidsanvändare som finns i stationernas närområde och innehar Nätverks-RTK-tjänsten. Lantmäteriet tillhandahåller även en beräkningstjänst som med hjälp av SWEPOS-data används för efterberäkning av GPS-data. [3]

Det finns 21 stycken fullständiga SWEPOS-stationer. Att de är fullständiga betyder att de bland annat har dubblerad utrustning och att antennernas fundament är förankrade i fast berggrund [1]. Dessa fullständiga stationer ligger på ett inbördes avstånd av cirka 200 km. Förutom dessa finns även 53 (juni 2005) förenklade referensstationer som bildar ett förtätat nät tillsammans med de fullständiga stationerna. Man får då ett inbördes avstånd på cirka 70 km mellan stationerna och kan med hjälp av detta nät mäta i realtid med stationerna som referens. [6] I vår studie har testmätningarna ägt rum i den del av Västra Götalands Län som är förtätad och ingår i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.

Aktuell information om SWEPOS, relaterade tjänster och utbyggnadsplaner återfinns på <http://www.swepos.com>



**Figur 2:** SWEPOS-nätet och planerad utbyggnad. Källa: <http://www.swepos.com>

## 2.3 Statisk mätning

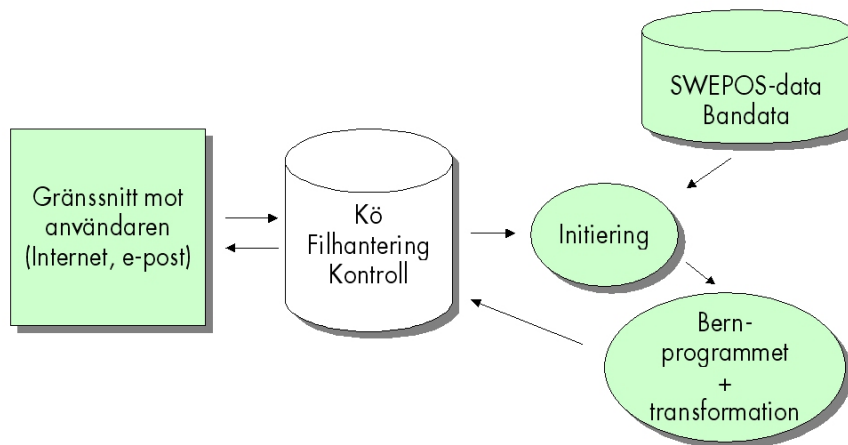
Statisk mätning kallas den metod som används inom GPS när mottagaren står centrerad över en punkt under en tid och loggar GPS-data. Denna tid kan variera från några minuter till flera timmar. Metoden är av typen relativ positionering och man efterberäknar fram positionen med hjälp av data från en eller flera referensstationer som samlat in samma sorts data under samma tid. Metoden är ur GPS-synpunkt mycket noggrann (5-20 mm i plan och 10-40 mm i höjd) och användes i vår studie för att bestämma mätpunkternas "sanna" värde [6]. I studien användes SWEPOS beräkningstjänst för efterberäkning av insamlad data.

SWEPOS beräkningstjänst är en tjänst som lantmäteriet tillhandahåller. Med denna tjänst kan man efterberäkna statistiskt mätta GPS-data mot data från de fem närmaste SWEPOS-stationerna. För att kunna kommunicera med beräkningstjänsten utnyttjar användaren Internet och ett personligt login för att skicka upp sina

filer med GPS-data. En webbserver i Gävle hanterar de uppskickade filerna och placerar dem i en kö. Sedan sker initialisering med hjälp av beräkningsdatorn och ett initieringsprogram. Detta program hämtar SWEPOS-data, banddata med mera och förbereder beräkningen som utförs av en programvara från universitetet i Bern. När beräkningen är utförd skickas resultatet till användaren via e-post. Resultatet redovisas även efter inloggning på SWEPOS beräkningstjänst. [6]

För att kunna använda SWEPOS beräkningstjänst krävs att användarens GPS-data är i standardformatet RINEX som står för Receiver Independent EXchange format [6]. Det innebär att dessa filer är av ett oberoende dataformat. I denna studie skapades RINEX-filer i Leica SKI-Pro och dessa filer skickades sedan till SWEPOS beräkningstjänst.

Nedan visas principen för hur SWEPOS beräkningstjänst fungerar.



**Figur 3:** Principskiss för SWEPOS beräkningstjänst. Källa: <http://www.swepos.com>



## 2.4 RTK-mätning

RTK (Real Time Kinematic) är bärvågsmätning och är en relativ positioneringsmetod i realtid. Det innebär att mätningen kan utföras i rörelse eller när mottagaren är stilla. Man erhåller då positionen direkt. Även här används minst en referens och den kallas i sammanhanget "bas". Den rörliga mottagaren kallas för "rover". Mellan rover och bas finns en så kallad baslinje som är vektorn mellan de båda mottagarna. Tekniken är sådan att basen sänder bärvågsobservationer till rovern och detta kräver att mottagarna har kontakt med samma satelliter, så att differenser mellan dessa kan beräknas. Tillsammans med dessa data sänder även basen ut sin egen position till rovern. Basen är således placerad på en känd punkt (eller i vissa fall en punkt som sedan efterberäknas). För att rovern skall kunna ta emot data från basen i realtid krävs också någon form av trådlös länk till exempel UHF-radio eller GSM. [7]

Vid mätning med bärvågsteknik krävs att antalet våglängder mellan satellit och mottagare bestäms. Att bestämma antalet på dessa våglängder kallas för initialisering eller för att lösa periodobekanta. Ett annat uttryck som ofta används är att man har fått fixlösning. Den tid det tar innan initialisering har erhållits kallas för initialiseringstid och denna tid var också något som studerades i denna studie.

Att lösa periodobekanta kan vara ett problem vid långa baslinjer. Detta beror till största del på att atmosfärsförhållandet över rover och bas skiljer sig mer åt ju längre baslinjen blir [3]. Ett annat problem med långa baslinjer är att man kan tappa förbindelsen mellan mottagarna när man använder radiomodem.

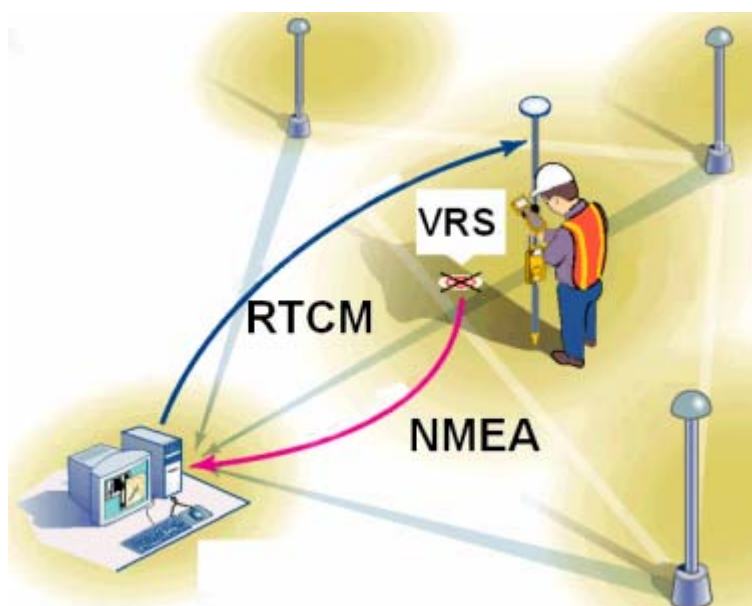
### 2.4.1 Nätverks-RTK

Nätverks-RTK är en form av RTK-teknik men där vidareutvecklingen har gjort att man använder sig av ett nät av referensstationer. Man beräknar fram modeller över olika felkällors inverkan på mätningen i det område som nätet av referensstationer täcker. Framst är det modeller över troposfärs- och jonosfärspåverkan samt banddata som beräknas vilket gör att man får en modell framräknad i realtid för det område man befinner sig i. Atmosfärsmodellen modelleras fram av data från sex referensstationer runt användaren. Tack vare att man kan beräkna en modell över atmosfären så möjliggör det att man kan ha längre baslinjer än man annars skulle kunna ha med vanlig RTK-mätning. [7]

Lantmäteriet erbjuder en Nätverks-RTK tjänst via sina SWEPOS-stationer. Tekniken är då sådan att rovern sänder en ungefärlig

position till huvudcentralen via modem och får tillbaka DGPS korrektioner och rovern får en förnyad position med meternoggrannhet. Denna position sänds på nytt till huvudcentralen och en så kallad virtuell referensstation (VRS) skapas på den positionen. [1] Rovern uppfattar det då som om den mäter mot den virtuella referensstationen i sin närhet som är skapad av de data som närliggande SWEPOS-stationer registrerat. Detta innebär stora fördelar för användaren som bara behöver en egen mottagare med GSM-modem, slipper uppställning av bas, får en minskad stöldrisk av oönskad utrustning med mera. Nackdelarna är att det idag krävs GSM-täckning och kostnader för uppkopplingen. [6]

Nedan visas en enkel principskiss för hur Nätverks-RTK fungerar.



**Figur 4:** Principskiss för Nätverks-RTK. Källa: Trimble

## 2.5 Differentiell GPS

Differentiell GPS (DGPS) har stora likheter med RTK-mätning men den stora skillnaden är att här använder man sig av bärvågsunderstödd mätning på L1-frekvensens kod för att räkna ut positionen. Detta innebär att mätningarnas noggrannhet inte blir lika bra som för RTK-mätningen. Men för många användare räcker det att kunna positionsbestämma med decimeter- och meternoggrannhet och det är därför ett ganska stort intresse för Differentiell GPS, då mottagarna och tekniken är billigare att införskaffa och använda.

Det finns ett relativt stort antal tjänster för Differentiell GPS. En av tjänsterna är Epos-tjänsten som drivs av Cartesia. Här sänds korrektionerna ut via RDS (Radio Data System) på FM-bandet vilket gör det möjligt att erhålla DGPS-korrektioner på alla de platser där man har stereomottagning på P4. Epos-tjänsten använder sig av data

från Lantmäteriets SWEPOS-stationer. Korrektionerna man som användare tar emot kommer då endast från den närmaste stationen då utflödet av vilka sändare i landet som skall sända korrektioner styrs av Teracom via Kaknästornet i Stockholm.

Andra tjänster är bland annat Omnistar och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. De skiljer sig åt från Epos-tjänsten på olika antal referensstationer, täckningsområde och sätt de sänder ut sina korrektioner på men tekniken är i stort densamma [8].

### 2.5.1 Nätverks-DGPS

Inom studien har ett av målen varit att mäta och utvärdera prototyp-tjänsten SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst inom samma nät av referensstationer som tillhandahålls för SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Tekniken har i princip varit densamma som för Nätverks-RTK men med Nätverks-DGPS får man istället korrektionerna för kodmätningen.

## 3 Kvalitetsbegrepp

För att utvärdera mätvärdens kvalitet och noggrannhet behöver man tillämpa olika kvalitetsbegrepp. Nedan beskrivs flera olika kvalitetsbegrepp men innan de går igenom ges en förklaring till olika feltyper eftersom typen av fel har stor betydelse vid utvärdering och analys av observationer.

### 3.1 Feltyper

Alla mätningar som görs ger upphov till fel. Det finns tre olika typer av fel och dessa är grova fel, systematiska fel och tillfälliga fel.

Fel som orsakas av misstag, bristande uppmärksamhet, slarv eller liknande är att betrakta som grova fel och dessa kan inte bearbetas med statistiska metoder [9][10]. För att upptäcka grova fel kan man utföra upprepade mätningar [10]. Exempel på grova fel kan vara att man mäter mot fel punkt eller att man skriver av fel i protokollet.

Systematiska fel beror inte på slumpen utan beror oftast på dåligt kalibrerade instrument. Dessa fel kan undvikas genom att man kontrollerar mätinstrumenten innan mätning eller att man gör parvisa mätningar där felen har motsatta tecken som tar ut varandra. [10]

Tillfälliga fel beror på slumpen och de kan ha både positivt och negativt tecken. De fördelar sig enligt normalfördelningen och kan bearbetas med statistiska metoder. [10] Det är de tillfälliga felen som utgör grunden i felteorin och det är dessa fel som utvärderas och analyseras med kvalitetsbegreppen nedan.

## 3.2 Standardavvikelse/Precision

För att beräkna spridningen i normalfördelade observationer används standardavvikelsen som är ett sätt att beräkna precisionen i en observations- eller mätserie. Det är vanligt att standardavvikelsen används inom mätningstekniken när precisionen ska bestämmas på mätningar eller instrument. [9] Standardavvikelsen eller precisionen beskriver avvikelsen från ett medelvärde i en mätserie och beräknas vid 68 % sannolikhet. En mätserie kan innehålla systematiska fel men ändå ha en hög precision eftersom precisionen inte avslöjar dessa fel. Precisionen redovisar enbart den inbördes samstämmigheten. Om en mätserie har hög precision och låg noggrannhet är det dock ett tecken på systematiska fel. [3]

Beräkning av precisionen görs med följande formel:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n-1)}$$

Där  $v$  är förbättringen, det vill säga avvikelsen från medelvärdet och  $n$  är antalet observationer.

## 3.3 Medelfel/Noggrannhet

För att beräkna noggrannheten i en mätserie används medelfelet som är ett mått på det genomsnittliga felet i en mätserie. Medelfelet beskriver mätseriens avvikelser från det sanna värdet och beräknas som för precision vid 68 % sannolikhet. [11] Det innebär att 68 % av mätningarna ryms inom felmarginalen för noggrannheten. En bra noggrannhet, det vill säga ett lågt medelfel innebär att mätserien är väl samlad kring det sanna värdet. En god noggrannhet innebär även att precisionen och riktigheten är god. (Riktigheten är ett mått på hur bra mätvärdenas medelvärde överensstämmer med det sanna värdet.) [3] Det omvända förhållandet gäller dock inte, det vill säga en god precision behöver inte innebära en god noggrannhet.

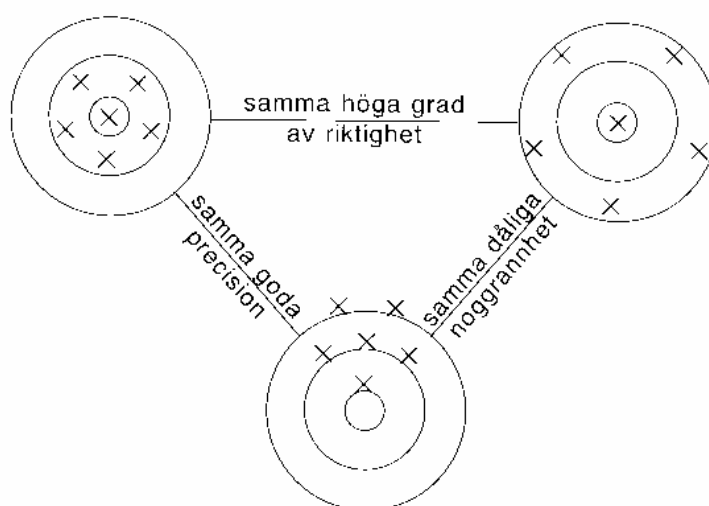
Beräkning av noggrannhet görs med följande formel:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 / n}$$

Där  $\varepsilon$  är det sanna felet, det vill säga avvikelsen från det sanna värdet och  $n$  är antalet observationer.

### 3.4 Sambandet mellan precision, noggrannhet och riktighet

Förutom precision och noggrannhet finns det också ett begrepp som kallas riktighet. Riktigheten är ett mått på hur bra mätvärdenas medelvärde överensstämmer med det sanna värdet. Sambandet mellan precision, noggrannhet och riktighet redovisas i bilden nedan.



Figur 5: Sambandet mellan precision, noggrannhet och riktighet. [12]

### 3.5 Medelavvikelse

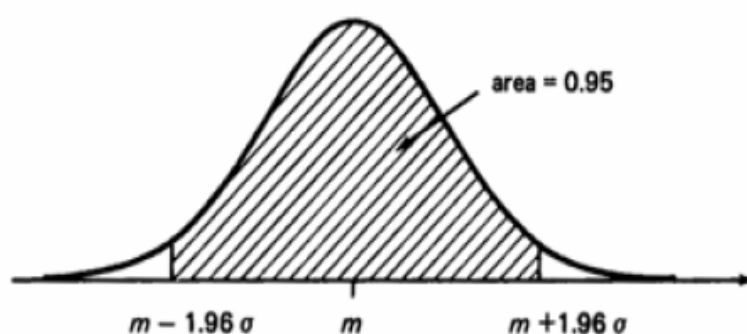
Medelavvikelsen beskriver hur mycket de mätta värdenas medelvärde avviker från det sanna värdet. Avvikelserna kan vara både positiva och negativa och om man inte tar hänsyn till tecknet får man ett medelvärde på avvikelsernas absolutbelopp. Om man istället tar hänsyn till tecknet kan man med medelavvikelsen upptäcka om en mätserie innehåller systematiska fel. Detta avslöjas genom att studera om medelavvikelsen ligger nära noll. Om så inte är fallet innehåller mätserien systematiska fel. [3]

### 3.6 Normalfördelning

Normalfördelningen är en viktig modell inom statistiken och sannolikhetsläran. De tillfälliga felen i en serie av oberoende mätningar fördelar sig enligt en normalfördelning. Normalfördelningen är en teoretisk modell där de flesta värdena är samlade kring medelvärdet och kurvan är symmetrisk kring detta medelvärde [1]. Arean under kurvan är lika med ett, det vill säga 100 %, eftersom det motsvarar alla mätvärden i serien. Om man vill bestämma sannolikhetsnivån för att ett visst värde befinner sig inom en viss felmarginal så använder man sig av konfidensintervall.

### 3.7 Konfidensintervall

Ett konfidensintervall är ett intervall som täcker en viss del av de normalfördelade mätvärdena under normalfördelningens kurva. Konfidensnivå eller konfidensgrad är ett begrepp som används för att bestämma hur stor sannolikheten är att ett slumpmässigt värde befinner sig inom konfidensintervallet [10]. På bilden nedan visas ett konfidensintervall med en konfidensnivå på 95 %. Det innebär att 95 % av mätvärdena befinner sig inom konfidensintervallet.



**Figur 6:** Konfidensintervall med 95 % konfidensnivå. [7]

## 4 Metod och genomförande

Vårt examensarbete började med att vi hade en förstudie där vi läste in oss på ämnet och lärde oss att samla in och ta vara på studiens data. Denna förstudie gjordes under två veckor på Lantmäteriverket i Gävle. Efter förstudien åkte vi runt i Västsverige och rekognoscerade var våra mätpunkter skulle placeras. Efter detta började vår mättningsfas som sträckte sig över 4 veckor. I mättningsfasen ingick bland annat statisk mätning och realtidsmätning vilka senare utvärderades och analyserades. I underkapitlen nedan går vi igenom mer i detalj vilka metoder vi använde och hur vi genomförde studien.

### 4.1 Förberedande arbete

I ett inledande skede förbereddes utrustning och mättningsarbetet under två veckor på Lantmäteriverket i Gävle. Under dessa förberedande veckor utförde vi provmätningar och lärde oss att hantera de applikationer som behövdes för dataöverföring och lagring med mera. Vi förberedde även rekognosceringen som skulle ske i Västsverige genom att i programmet AutoKa-Vy leta efter lämpliga testpunkter i förhållande till referensstationerna i SWEPOS-nätet.

## 4.2 Rekognoscering av mätpunkter

Eftersom det inte ingick i denna studie att undersöka avståndsberoendet från mottagare till referensstation hade vi i ett inledande skede bestämt oss för att testpunkterna skulle vara belägna så långt från varje enskild referensstation som möjligt. Detta för att få en situation där "sämsta" mättningsförhållanden med avseende på baslinje var uppfyllt. Vi valde också att utföra mätningarna på fyra testpunkter lokaliserade i två olika "trianglar" inom Nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde i Västra Götalands Län. För att undersöka hur olika förhållanden påverkade mätningarnas noggrannhet så utfördes mätningar på en punkt i vardera "triangel" med goda förhållanden och en punkt i vardera med sämre förhållanden.

Efter att ha undersökt olika alternativ i fält och efter godkännande från vår handledare Daniel Johansson så beslutades var punkterna skulle placeras. Resultatet blev att punkterna placerades dels i närheten av Alingsås och dels i närheten av Herrljunga. De "goda" punkterna hade öppna förhållanden med lite vegetation medan de "sämre" var skynda framförallt i söder av vegetationen. En av de goda punkterna bestod av en RIX-95-punkt, övriga punkter markerades på tillfredsställande sätt. På bilden nedan visas testområdet i Västsverige. Punkt 1 och 2 var belägna mitt i Bagaregården-VäneÅsaka-Borås-triangeln medan punkt 3 och 4 var belägna mitt i Borås-VäneÅsaka-Falköping-triangeln.



**Figur 7:** Karta över testområdet i Västsverige. Kartbild ur AutoKa-Vy. Källa: egen

## 4.3 Fältmätningar

Våra mätningar har ägt rum inom Nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde i Västra Götalands Län och det har varit ungefär 70 km mellan referensstationerna. Korrektionerna har tagits emot via GSM-nätet från SWEPOS-driftledningscentral i Gävle. Nedan beskrivs vilken utrustning och vilka programvaror vi använde under våra fältmätningar. Därefter beskrivs den statistiska mätningen samt realtidsmätningen.

### 4.3.1 Utrustning

Vi använde oss av olika utrustning för de olika mätningarna. För den statistiska mätningen användes en Leica SR 530 GPS-mottagare med AT-502 antenn och för realtidsmätningarna användes två olika mottagare, en för Nätverks-RTK och en för Nätverks-DGPS. För mätning med Nätverks-RTK användes en Trimble 5700 mottagare och för mätning med Nätverks-DGPS användes en Trimble GeoXT mottagare. Dessa båda GPS-mottagare sammankopplades med en antennförgreningsdosa till en gemensam antenn av typen Trimble Zephyr.



**Figur 8:** Bild på punkt 1 ("god" punkt) vid Lövekulle, Alingsås.  
Källa: egen

För realtidskorrektionerna användes Trimbles GSM-modem till Trimble 5700. Till GeoXT användes en Sony Ericsson T630 mobiltelefon som var ansluten via kabel till com-porten på mottagaren. För att få en noggrann centrering användes stativ och trefot.



All utrustning förutom stativ lånades av Lantmäteriverket i Gävle. Stativ lånades av högskolan.



**Figur 9:** Bild på GeoXT. Källa: egen



**Figur 10:** Bild på Trimble 5700. Källa: egen

### 4.3.2 Programvaror

För beräkning av den statiska mätningen skapades RINEX-filer i Leica SKI-Pro och dessa filer skickades sedan till SWEPOS beräkningstjänst. Vid import och export av data från GeoXT användes programvaran GPS Pathfinder Office 3.00. För att importera och exportera data från ACU:n tillhörande Trimble5700 användes programmet TrimbleGeomaticsOffice. Data från de båda instrumenten exporterades i form av textfiler och kunde därför lätt behandlas i Microsoft Excel. För att upprätthålla en förbindelse mellan datorn och de externa enheterna användes Microsoft ActiveSync. För själva mätningen med GeoXT användes programvaran TerraSync och till ACU:n och Trimble5700 användes Trimble Survey Controller.

### 4.3.3 Den statiska mätningen

Den statiska mätningen utfördes för att få fram "sanna" värden på de fyra testpunkterna och utfördes under en veckas tid som inkluderade mätning, beräkning och utvärdering. Mätningarna gjordes med Leicas SR 530 GPS-mottagare och positionen beräknades därefter fram i SWEREF 99 med hjälp av SWEPOS beräkningstjänst. För att få en säkrare position beräknades positionen en andra gång efter några veckor. Positionen kan då beräknas bättre tack vare att bandata är bättre kända efter en tid (så kallade precise ephemeris).

En förutsättning för en bra testpunkt är att den har noggrant bestämda koordinater att jämföra studiens inmätningar med. I det

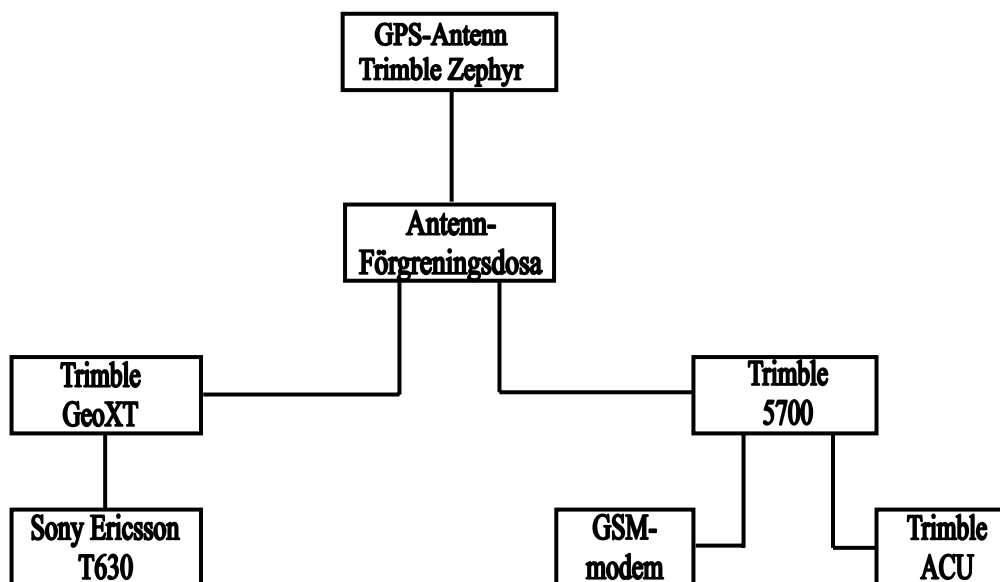
här fallet ansåg vi att statisk GPS-mätning under fem timmar skulle räcka för att få en tillfredställande "känd" punkt med "sant" värde. För att bedöma kvaliteten på de statistiska mätningarna finns ett antal parametrar som man kan kontrollera. Dessa parametrar är andelen lösta periodbekanta (Amb Res), RMS i slutlig fixlösning och grundmedelfel i Helmerttransformation till SWEREF 99.

Efter att ha studerat dessa parametrar på samtliga statistiska mätningar i studien och jämfört med SWEPOS tumregler för beräkningstjänsten så har vi konstaterat att våra statistiska mätningar håller en hög kvalitet. Därmed kan vi konstatera att koordinatkvaliteten på våra "sanna" värden är god.

#### 4.3.4 Realtidsmätningen

Realtidsmätningarna utfördes dagtid under tre veckors tid. Totalt innebar det 640 mätvärden med Nätverks-RTK och 640 mätvärden med Nätverks-DGPS fördelat på fyra olika testpunkter. Mätningarna genomfördes genom uppställning och mätning med Nätverks-RTK-utrustning och Nätverks-DGPS-utrustning över de statistiskt inmätta testpunkterna. Båda instrumenten sammankopplades till en gemensam antenn och mätte samtidigt under samma förhållanden. Mottagarna fick kontinuerligt korrektionsdata från SWEPOS-nätet via GSM-nätet.

Nedan visas hur utrustningen var sammankopplad under realtidsmätningen.



**Figur 11:** Skiss som visar hur utrustningen var sammankopplad vid realtidsmätningen. Källa: egen

Vid varje uppställning utfördes mätserier om tio mätningar per instrument. Varje enskild mätning i mätserien utgjordes av ett medeltal av tio loggningar under tio sekunder. Mellan varje mätning i serien kopplades GSM-modemen ner och mottagarna stängdes av.

Detta gjordes för att få oberoende mätningar inom mätserien. Vid varje mättillfälle med Nätverks-RTK-utrustningen så klockades tiden till fix-lösning och denna tid dokumenterades. Om fix-lösning inte erhöles inom tre minuter avbröts uppkopplingen mot SWEPOS-nätet och instrumentet startades om på nytt. Även antalet avbrutna försök dokumenterades.

För att erhålla mätvärden med olika satellitkonfiguration och för att undvika systematiska fel varierades valet av tidpunkt för respektive mättillfälle. Detta planerades så att mätningarna på varje enskild punkt spreds över dagen.

## **4.4 Utvärdering och analys av studiens mätvärden**

Den avslutande delen av detta examensarbete har varit att utvärdera och analysera samtliga mätvärden som samlades in under de tre veckor som realtidsmätningen pågick. Detta har skett genom att bearbeta de exporterade textfilerna i Microsoft Excel. I detta program har vi skapat tabeller och diagram som visar analyser av de kvalitetsbegrepp som beskrevs i kapitel 3. Resultatet och slutsatserna av denna utvärdering redovisas i kapitlen som följer.

## **5 Resultat**

Under denna studie har det genomförts 640 mätningar med tekniken Nätverks-RTK och 640 mätningar med tekniken Nätverks-DGPS, alltså totalt 1280 mätningar. Dessa mätningar har utförts på fyra olika testpunkter under tre veckors tid. Punkt 1 och 2 är belägna utanför Alingsås och punkt 3 och 4 utanför Herrljunga. Punkt 1 och 3 är goda punkter och punkt 2 och 4 är sämre. De "goda" punkterna hade öppna förhållanden med lite vegetation medan de "sämre" var skymda framförallt i söder av vegetationen.

Under utvärderingen av mätningarna har vi kunnat konstatera ett fåtal Nätverks-DGPS-mätningar som avviker betydligt mer än övriga mätningar från det sanna värdet, så kallade "outliers". Dessa mätvärden har ändå tagits med i resultatet eftersom vi inte kunde konstatera något som gjorde att de skulle uteslutas. DOP-värdet och övriga förhållanden som rådde vid mätningstillfället avvek inte från vad som var normalt för övriga mätningar i serien.

Nedan redovisas i tabell 1 de mätningar med Nätverks-DGPS som avvek mer än 1500 mm i plan och 3000 mm i höjd från det sanna värdet.

Nätverks-DGPS	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
Radiellt fel plan > 1500mm			1794 mm	1862 mm 1535 mm 2180 mm
Radiellt fel höjd > 3000 mm		3598 mm		5293 mm 3835 mm 3062 mm 4571 mm

**Tabell 1:** Avvikelser som är större än 1500 mm i plan och 3000 mm i höjd från det sanna värdet.

## 5.1 Resultat för samtliga mätvärden i studien

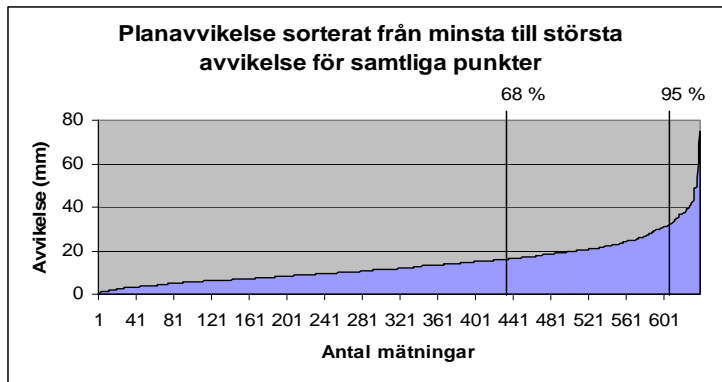
I tabell 2 och 3 redovisas kvalitetstermer för plan och höjd för samtliga mätningar i studien. De redovisade kvalitetsbegreppen är mått på precision, noggrannhet (se 3.2 och 3.3) och medelavvikelse. Även största avvikelsen inom 68 % och 95 % av mätvärdena är redovisade. I figur 12 till 15 redovisas avvikelser i plan och höjd för samtliga mätningar med Nätverks-RTK respektive Nätverks-DGPS. Diagrammen visar sorterade värden från minsta till största avvikelse.

Kvalitets- termer	Teknik	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt
		1 (god)	2 (sämre)	3 (god)	4 (sämre)	1 & 3 (goda)	2 & 4 (sämre)	1-4 (alla)
68 %	Nätverks- RTK	15	19	12	20	13	20	16
	Nätverks- DGPS	368	432	325	493	354	459	391
95 %	Nätverks- RTK	24	35	20	39	23	38	32
	Nätverks- DGPS	614	739	566	1193	596	963	766
Precision	Nätverks- RTK	13	19	11	20	12	20	16
	Nätverks- DGPS	342	407	329	576	335	498	424
Noggrannhet	Nätverks- RTK	14	20	12	21	13	20	17
	Nätverks- DGPS	353	423	333	579	343	507	433
Medel- avvikelse	Nätverks- RTK	4	7	3	5	0	6	3
	Nätverks- DGPS	92	120	56	79	36	40	36

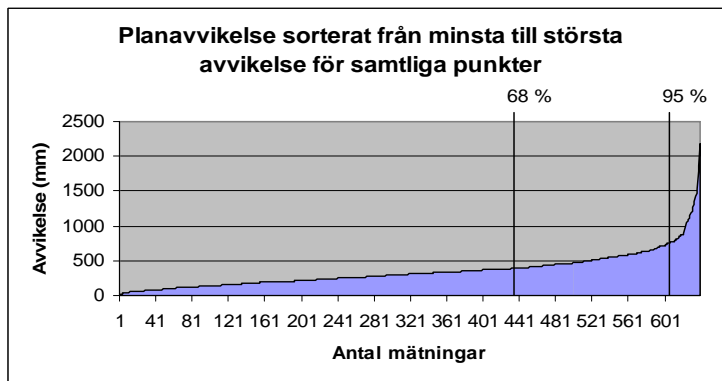
**Tabell 2:** Kvalitetsvärden (mm) i plan för samtliga mätvärden i studien.

Kvalitets- termer	Teknik	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt	Punkt
		1 (god)	2 (sämre)	3 (god)	4 (sämre)	1 & 3 (goda)	2 & 4 (sämre)	1-4 (alla)
68%	Nätverks- RTK	22	32	21	35	21	34	27
	Nätverks- DGPS	458	797	469	1018	468	907	671
95%	Nätverks- RTK	44	64	46	62	46	64	57
	Nätverks- DGPS	1057	1621	965	2448	1032	2030	1622
Precision	Nätverks- RTK	21	33	21	27	21	30	26
	Nätverks- DGPS	504	736	487	1006	495	880	714
Noggrannhet	Nätverks- RTK	21	35	22	35	22	35	29
	Nätverks- DGPS	514	858	514	1230	514	1061	834
Medel- avvikelse	Nätverks- RTK	2	-10	-6	22	-2	6	2
	Nätverks- DGPS	109	445	170	712	139	579	359

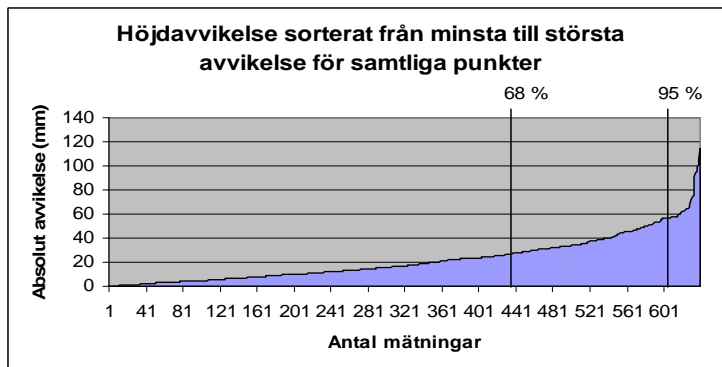
**Tabell 3:** Kvalitetsvärden (mm) i höjd för samtliga mätvärden i studien.



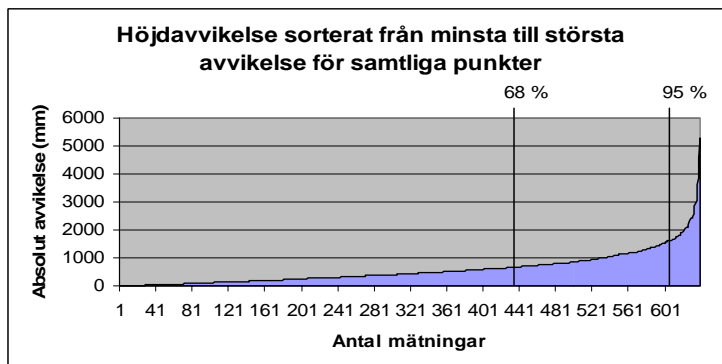
Figur 12: Nätverks-RTK



Figur 13: Nätverks-DGPS



Figur 14: Nätverks-RTK



Figur 15: Nätverks-DGPS

## 5.2 Antal satelliter

Vid både Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS kan antalet satelliter som man mäter mot antas påverka resultatet. Detta beror på att antalet överbestämningar ökar med antalet satelliter. I bilaga 8.9-8.12 åskådliggörs i diagram hur plan- och höjdavvikelsen påverkas av antalet satelliter. I diagrammen är även en linjär trendlinje inlagd som visar tendensen för mätningarna.

## 5.3 Initialiseringstid

Under studien har även initialiseringstiden för Nätverks-RTK dokumenterats. Denna tid mättes med tidtagarur från det att korrektionsdata började mottas till det att initialisering uppnåts. Tiden lades in som en punktkod i instrumentet så att varje enskild initialiseringstid sammanfördes med den aktuella mätningen. Nedan redovisas i tabell 3 längsta initialiseringstid för 68 % och 95 % av mätningarna. Tabellen visar också längsta initialiseringstid totalt, medeltid, mediantid och antalet misslyckade försök. Med ett misslyckat försök menas att initialisering ej uppnåts efter 180 sekunder. Anledningen till att vissa försök blev misslyckade beror troligen på tappad kontakt med satelliter på grund av vegetation. Detta styrks av att antalet misslyckade försök förekom nästan uteslutande på de "sämre" punkterna. Vid misslyckade försök gjordes en ominitialisering. I bilaga 8.13 åskådliggörs med diagram tiden till fixlösning sorterat från minsta till största värde samt initialiseringstiden som funktion av antalet satelliter.

	Punkt 1 (god)	Punkt 2 (sämre)	Punkt 3 (god)	Punkt 4 (sämre)	Punkt 1 & 3 (goda)	Punkt 2 & 4 (sämre)	Punkt 1-4 (alla)
Initialiseringstid (s) 68%	19	22	20	48	20	33	22
Initialiseringstid (s) 95%	34	83	36	132	36	120	91
Längsta initialiseringstid (s)	117	179	91	175	117	179	179
Medeltid till fixlösning (s)	19	30	20	44	19	37	28
Mediantid till fixlösning (s)	14	20	17	27	14	20	19
Antal misslyckade försök	2	11	0	17	2	28	30

**Tabell 4:** Initialiseringstid för Nätverks-RTK



## 6 Diskussion

I denna studie har GPS-mätningar utförts med de båda tjänsterna teknikerna SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst och Nätverks-DGPS-prototyp-tjänst. Syftet med detta examensarbete har inte varit att påvisa vilken av dessa tekniker som är mest noggrann eftersom det redan är känt att Nätverks-RTK är en betydligt mer noggrann teknik. Syftet har istället varit att undersöka och utvärdera mätningarnas kvalitet hos dessa båda tekniker. Detta har gjorts med ett stort antal fältmätningar och analys av bland annat kvalitetsbegreppen precision och noggrannhet.

Studien har inte inneburit någon undersökning av det avståndsberoende som kan finnas mellan referensstationerna och rovern. I och med detta så placerades mätpunkterna mitt i trianglarna, det vill säga så långt som möjligt till närmsta referensstation. Detta gjordes för att undersöka värsta fallet med avseende på avståndet.

I studien gjordes mätningar på två "goda" punkter med bra förhållanden med lite vegetation och två "sämre" punkter som var skymda framförallt i söder av vegetationen. Detta gjordes för att undersöka hur omgivningen på mätplatsen påverkar mätningarnas resultat. Efter analys konstateras att det finns ett starkt samband mellan kvaliteten på mätningarna och mätplatsernas miljö. De mätningar som utfördes på de punkter som i studien kallas för "sämre" påvisade ett betydligt sämre mätresultat. Detta gäller oavsett teknik.

Vi kan konstatera att precisionen och noggrannheten är hög för Nätverks-RTK (16 mm respektive 17 mm) samt att medelavvikelsen ligger nära noll för dessa mätningar förutom i höjd för punkt 4. Att medelavvikelsen är nära noll för punkt 1-3 innebär att några systematiska fel inte kan påvisas för dessa punkter. För höjdmätningar på punkt 4 däremot kan man möjligen ana ett systematiskt fel i höjd.

För Nätverks-DGPS är precisionen och noggrannheten som förväntat lägre. För dessa mätningar är medelavvikelsen högre men ändå förhållandevis låg i plan. I höjd däremot är medelavvikelsen kraftigt positiv för punkt 2 och 4. Den höga medelavvikelsen i höjd tyder på systematiska fel.

De systematiska felen kan vi inte hitta någon orsak till. Vid varje uppställning har antennhöjden mätts noggrant, dubbelkontrollerats och dokumenterats. Om det vore något fel på antennhöjden så borde detta även ge samma stora utslag på medelavvikelsen i höjd för Nätverks-RTK som för Nätverks-DGPS då vi jämförde den inskrivna höjden i de båda instrumenten mellan varje enskild mätning. Vi kan konstatera att det framförallt märks på de "sämre" punkterna med avskärmande vegetation att medelavvikelsen i höjd är hög.

Då granskning av noggrannheten som funktion av antalet satelliter gjordes kunde ett starkt samband påvisas. Endast punkt 1 med Nätverks-RTK-teknik avvek från teorin att fler satelliter ger bättre noggrannhet. Vi tror att detta bara var tillfälligheter och att fler mätningar på denna punkt hade gett ett annat resultat. Om man studerar alla mätningar med respektive teknik (bilaga 8.9-8.12) kan man tydligt se att trendlinjen går nedåt, det vill säga att fler satelliter ger högre noggrannhet.

Man kan tydligt konstatera och därmed dra slutsatsen att man på de "sämre" punkterna är beroende av ett högt antal satelliter för att få en hög noggrannhet. Detta gäller för båda teknikerna men är extra tydligt om man studerar höjdavvikelsen i diagrammet för Nätverks-RTK med "sämre" punkter (bilaga 8.11)

Ett annat samband som studerades för mätningarna med Nätverks-RTK var det mellan tid till initialisering som funktion av antalet satelliter. Här kan konstateras att initialiseringstiden sjunker kraftigt med ökat antal satelliter på de "sämre" punkterna. Däremot kan detta samband knappt ses på de "goda" punkterna (bilaga 8.13). Man kan också se att man överlag har längre initialiseringstid på de "sämre" punkterna.

Inom Nätverks-RTK-tekniken finns ett flertal tidigare studier att tillgå. Exempel på dessa är "Traditionell RTK och Nätverks-RTK: En jämförelsestudie" av Therese Andersson och Julia Torngren, "Traditionell RTK kontra nätverks-RTK: En noggrannhetsjämförelse" av Malin Alm och Stina Munsin och "Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät" av Albert Jonsson och Anders Nordling. Vid jämförelse av dessa tidigare studier visar våra Nätverks-RTK-mätningar på likvärdiga resultat med avseende på kvalitetsbegreppen.

Inom Nätverks-DGPS däremot finns det inga tidigare studier att tillgå. Det finns dock en tidigare studie om tjänster för DGPS som heter "Undersökning av tjänster för differentiell GPS" av Andreas Rönnerberg [8]. Mätningarna i denna studie är i huvudsak utförda på punkter som kan betraktas som "goda" och med en genomsnittlig baslinje på cirka 90 km. Studiens mätningar är dessutom gjorda över en längre obruten observationstid vilket gör att resultaten inte är helt jämförbara. Vid jämförelse av dessa mätningar och våra mätningar utförda på "goda" punkter så visar detta att Nätverks-DGPS har en något högre noggrannhet än den genomsnittliga DGPS-tjänsten. I Rönnerbergs studie har en genomsnittlig DGPS-tjänst en noggrannhet i plan på ungefär 560 mm medan Nätverks-DGPS i vår studie har en noggrannhet i plan på 343 mm på "goda" punkter. Med samtliga punkter i vår studie har Nätverks-DGPS en noggrannhet i plan på 433 mm. Motsvarande värden i höjd är i Rönnerbergs studie 860 mm och i vår studie 514 mm för "goda" punkter och 834 mm för alla punkter. Om metoden i vår studie hade varit identiska med Rönnerbergs hade med stor sannolikhet en större skillnad kunnat

påvisas (till fördel för Nätverks-DGPS). Att skillnaden inte är större i höjd mellan Rönnbergs mätvärden och våra mätvärden på samtliga punkter beror antagligen på, som tidigare nämnts, systematiska fel i våra mätningar på de "sämre" punkterna.

Att använda och utvärdera den oprövade tekniken Nätverks-DGPS har för oss varit intressant. Även om Nätverks-DGPS är en mindre noggrann teknik så kan den komma till stor användning i praktiska tillämpningar. Inom de användningsområden där det räcker att kunna positionsbestämma med decimeter- och meternoggrannhet kan Nätverks-DGPS vara ett bra alternativ då mottagarna och tekniken är billiga att införskaffa och använda. Några exempel på tillämpningar för tekniken kan vara insamling av mätdata för GIS-ändamål eller inmätning av kablar, ledningar, vägkanter m.m.

## 7 Slutsatser

De mätningar som utfördes på de punkter som i studien kallas för "sämre" påvisade ett betydligt sämre mätresultat. Detta gäller oavsett teknik.

Medelavvikelsen i höjd för Nätverks-DGPS är hög på de "sämre" punkterna och detta tyder på systematiska fel. Vad de systematiska felen beror på har vi inte kunnat påvisa.

Fler satelliter ger en högre noggrannhet. Detta kan man tydligt se om man studerar alla mätningar med respektive teknik. Man kan även tydligt konstatera och därmed dra slutsatsen att man på de "sämre" punkterna är beroende av ett högt antal satelliter (ca 8-10) för att få en hög noggrannhet

Initialiseringstiden för Nätverks-RTK sjunker kraftigt med ökat antal satelliter på de "sämre" punkterna. Däremot kan detta samband knappt ses på de "goda" punkterna där det räcker med fem satelliter för att snabbt få fixlösning.

Nätverks-RTK har en hög noggrannhet, 3 cm i horisontell positionsnoggrannhet (95 %) och 6 cm i höjdled (95%).

Nätverks-DGPS har som väntat en något högre noggrannhet än den genomsnittliga DGPS-tjänsten, 60 cm i horisontell positionsnoggrannhet (95 %) och 103 cm i höjdled (95%) för goda punkter.

## 8 Referenser

- 1 Andersson, Therese & Torngren, Julia (2004). *Traditionell RTK och Nätverks-RTK: En jämförelsestudie*. Lantmäteriet, Gävle, LMV-rapport 2004:16.
- 2 Lantmäteriverket (1996). *HMK Geodesi, GPS*. Lantmäteriet, Gävle.
- 3 Jonsson, Albert & Nordling, Anders (2003). *Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät*. Lantmäteriet, Gävle, LMV-rapport 2003:12.
- 4 <http://www.lantmateriet.se> (2005-05-30)
- 5 Ekman, Martin (2002). *Latitud, longitud, höjd och djup: Referenssystem och kartprojektioner inom geodesi, hydrografi och navigation*. Kartografiska sällskapet, Gävle.
- 6 <http://www.swepos.com/> (2005-05-30)
- 7 Alm, Malin & Munsin, Stina (2003). *Traditionell RTK kontra nätverks-RTK: En noggrannhetsjämförelse*. Lund, Lunds Tekniska Högskola.
- 8 Rönnberg, Andreas (2001). *Undersökning av tjänster för differentiell GPS*. Lantmäteriet, Gävle, LMV-rapport 2001:10.
- 9 Holm, Hans (2003). *Noggrannhet: Termer och begrepp: Standardavvikelse och medelfel*. Geodesigruppen, Örebro, Föreläsningsmaterial.
- 10 Karlsson, Tore (1997). *Mätningsteknik*. Borlänge.
- 11 Holm, Hans (2001). *Nät och nätberäkningar: Begrepp och förklaringar*. Geodesigruppen, Örebro, Föreläsningsmaterial.
- 12 Lantmäteriverket (1996). *HMK Geodesi, Stommätning*. Lantmäteriet, Gävle.

## **9 Bilagor**

### **9.1 Planavvikelse för Nätverks-RTK**

### **9.2 Sorterad planavvikelse för Nätverks-RTK**

### **9.3 Planavvikelse för Nätverks-DGPS**

### **9.4 Sorterad planavvikelse för Nätverks-DGPS**

### **9.5 Höjdavvikelse för Nätverks-RTK**

### **9.6 Sorterad höjdavvikelse för Nätverks-RTK**

### **9.7 Höjdavvikelse för Nätverks-DGPS**

### **9.8 Sorterad höjdavvikelse för Nätverks-DGPS**

### **9.9 Planavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-RTK**

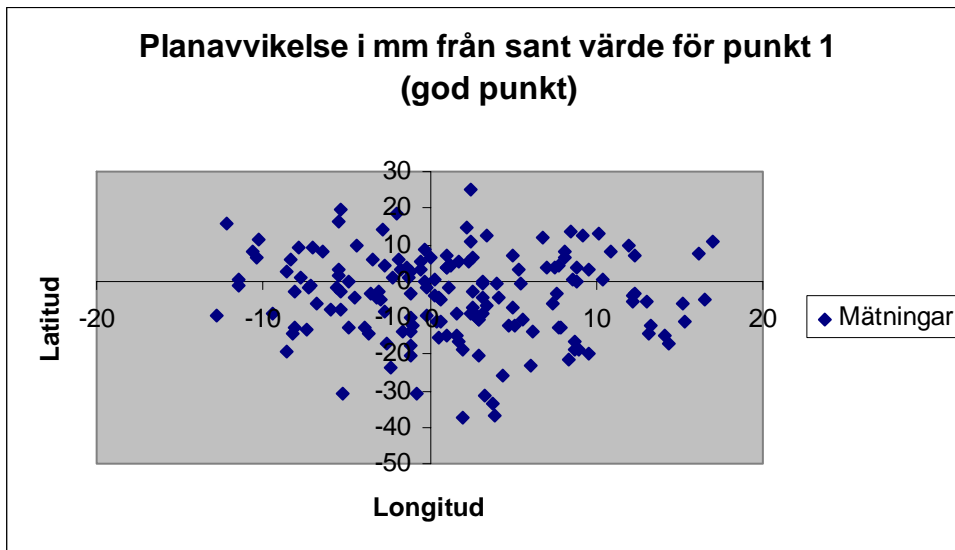
### **9.10 Planavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-DGPS**

### **9.11 Höjdavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-RTK**

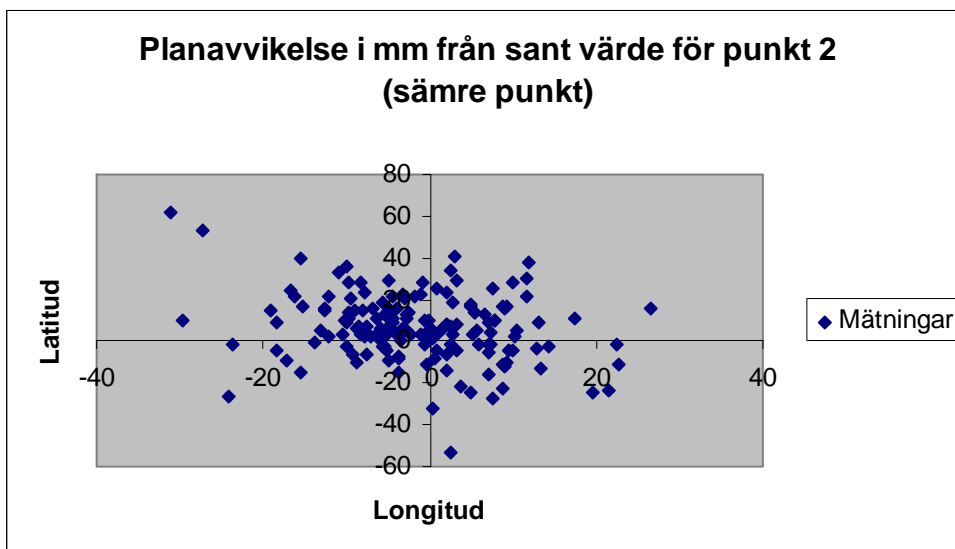
### **9.12 Höjdavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-DGPS**

### **9.13 Initialiseringstid för Nätverks-RTK**

## 9.1 Planavvikelse för Nätverks-RTK

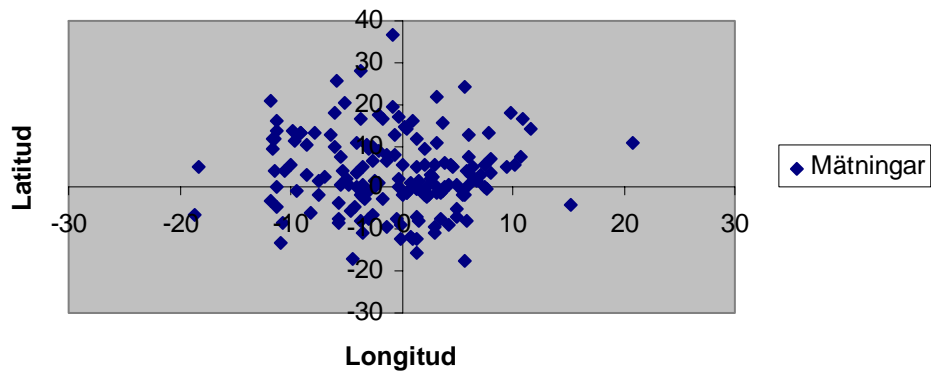


(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	12	7	13
Noggrannhet	12	7	14
Medelavvik.	-4	1	4



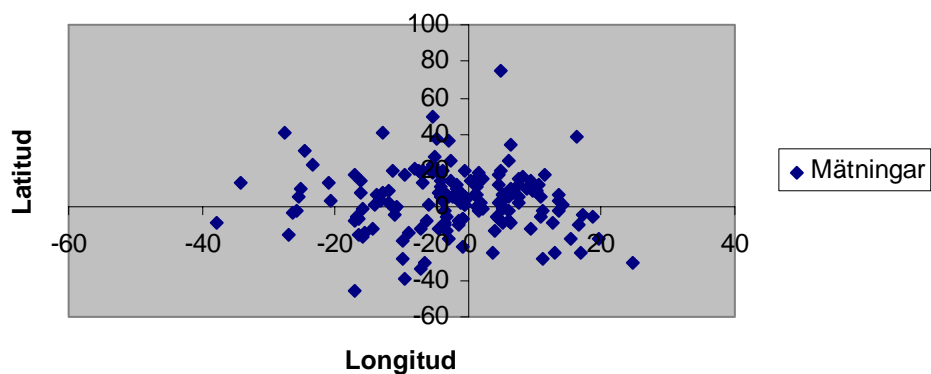
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	16	10	19
Noggrannhet	17	10	20
Medelavvik.	7	-1	7

**Planavvikelse i mm från sant värde för punkt 3  
(god punkt)**



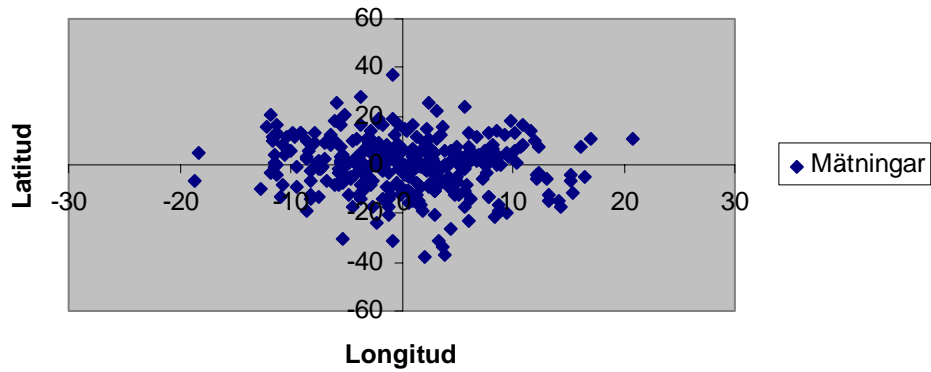
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	9	6	11
Noggrannhet	10	6	12
Medelavvik.	3	-1	3

**Planavvikelse i mm från sant värde för punkt 4  
(sämre punkt)**



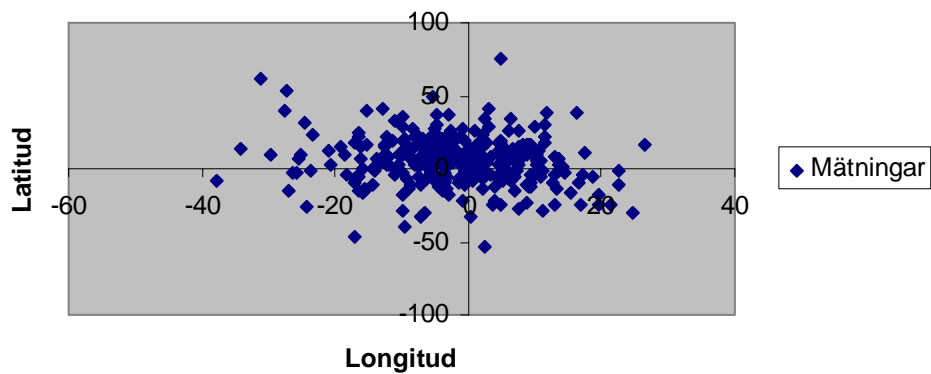
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	17	11	20
Noggrannhet	17	12	21
Medelavvik.	4	-2	5

**Planavvikelse i mm från sant värde för punkt 1 & 3  
(goda punkter)**



(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	11	7	12
Noggrannhet	11	7	13
Medelavvik.	0	0	0

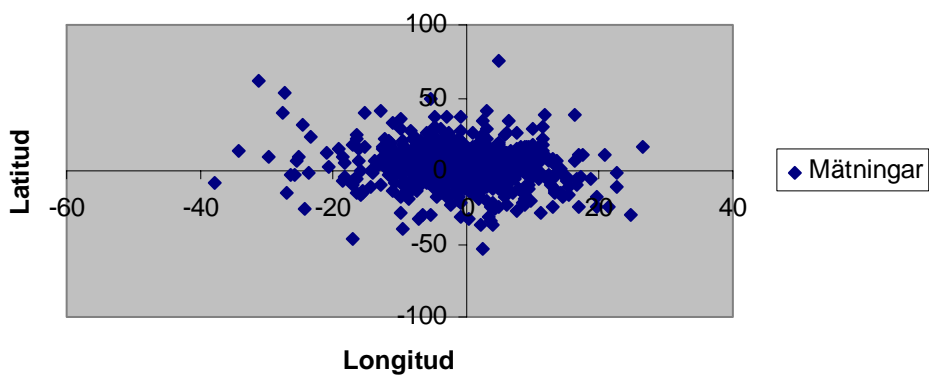
**Planavvikelse i mm från sant värde för punkt 2 & 4  
(sämre punkter)**



(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	16	11	20
Noggrannhet	17	11	20
Medelavvik.	5	-2	6

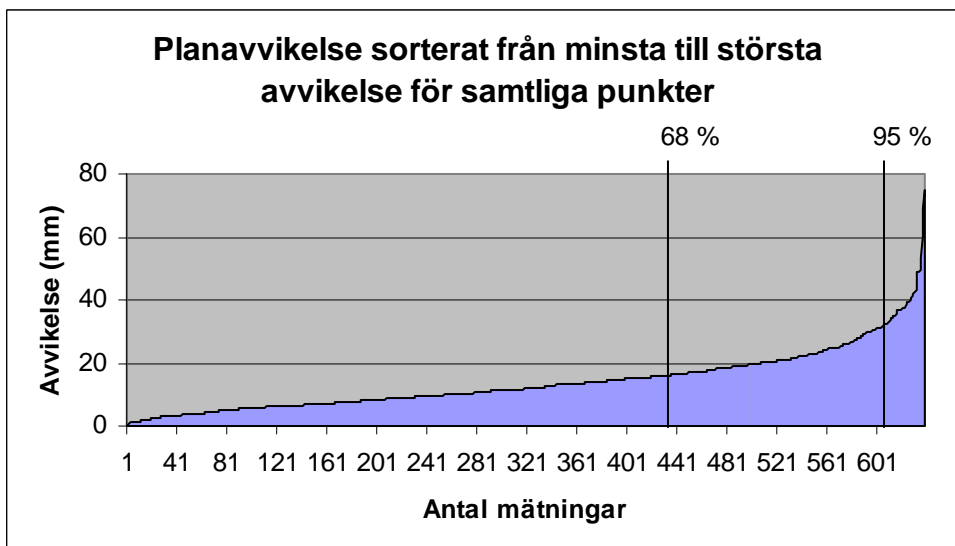
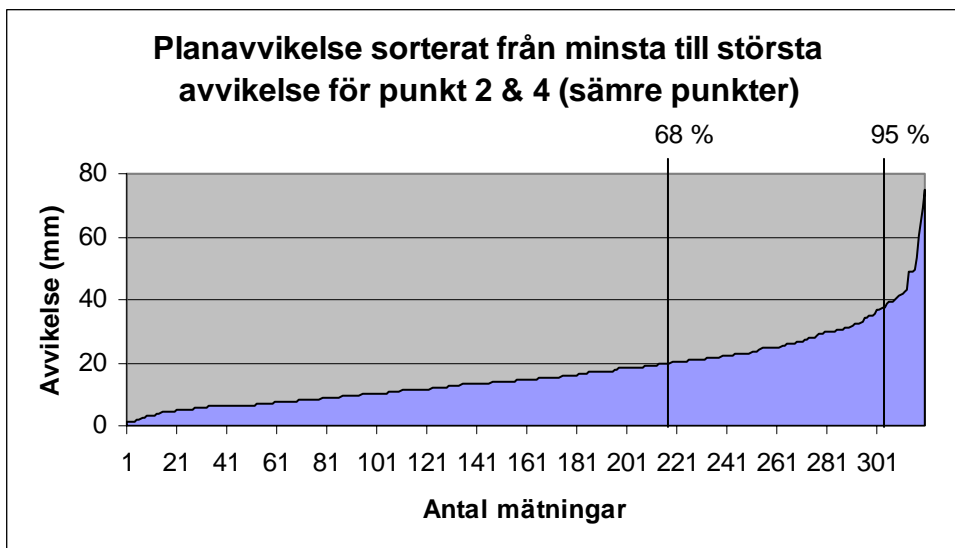
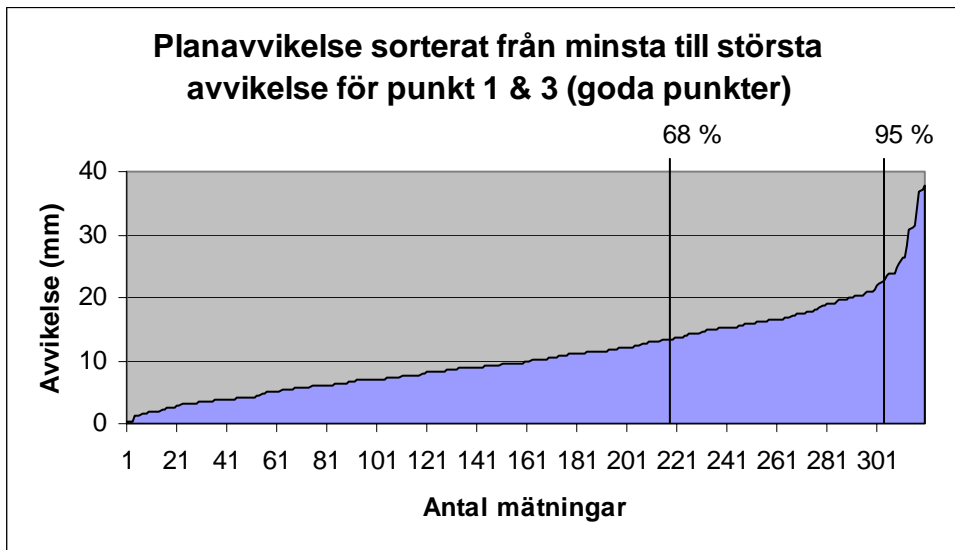


### Planavvikelse i mm från sant värde för samtliga punkter

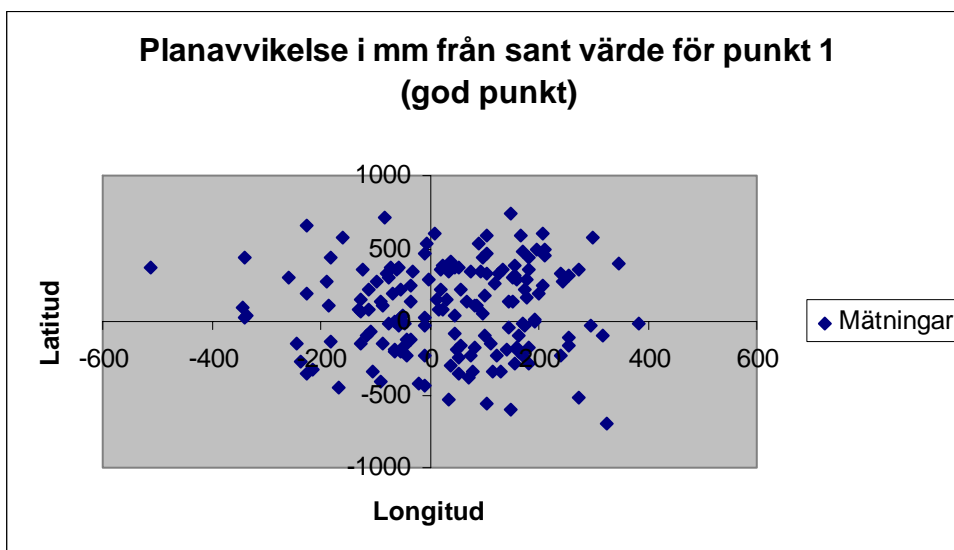


(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	14	9	16
Noggrannhet	15	9	17
Medelavvik.	3	-1	3

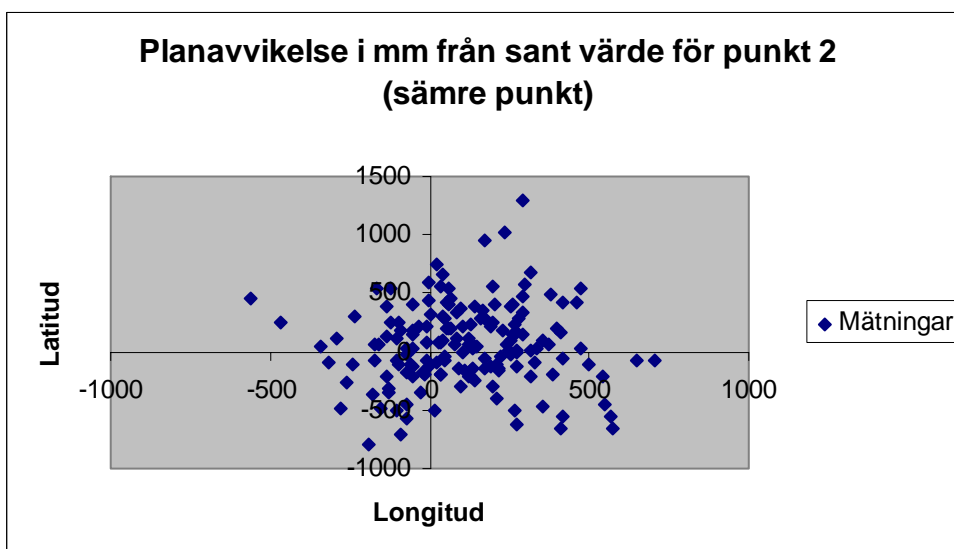
## 9.2 Sorterad planavvikelse för Nätverks-RTK



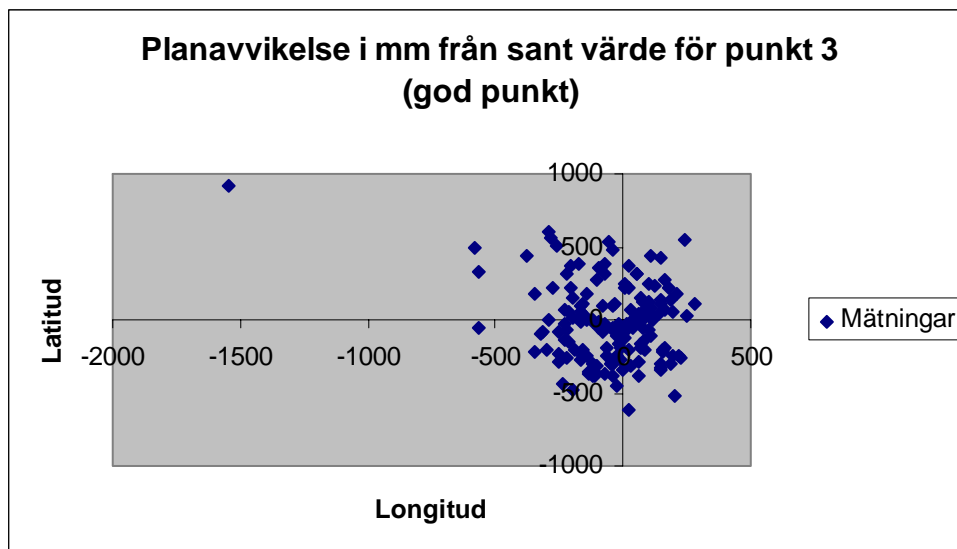
## 9.3 Planavvikelse för Nätverks-DGPS



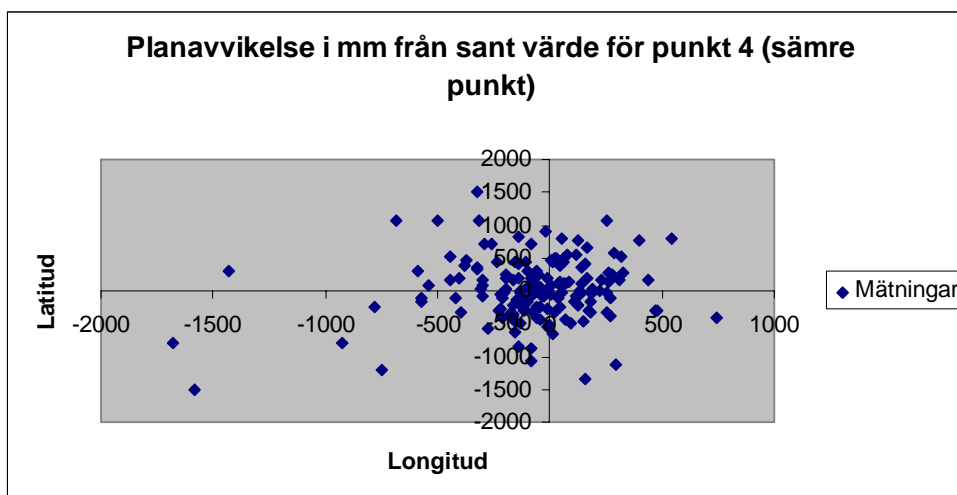
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	304	156	342
Noggrannhet	315	159	353
Medelavvik.	85	34	92



(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	344	217	407
Noggrannhet	347	242	423
Medelavvik.	52	108	120

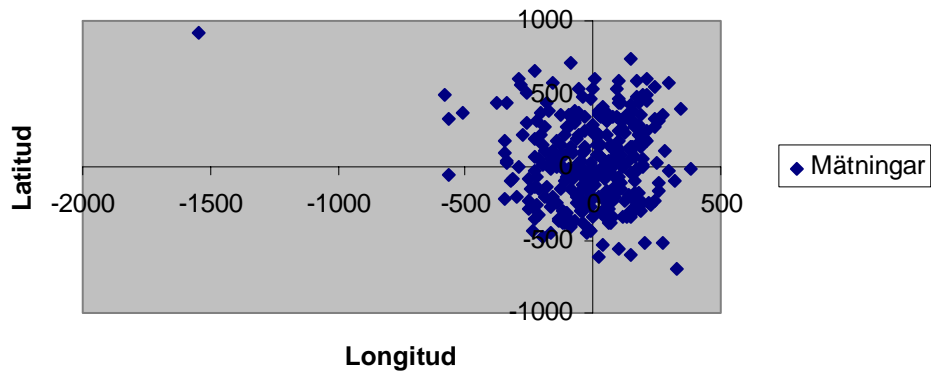


(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	260	202	329
Noggrannhet	260	208	333
Medelavvik.	-16	-53	56



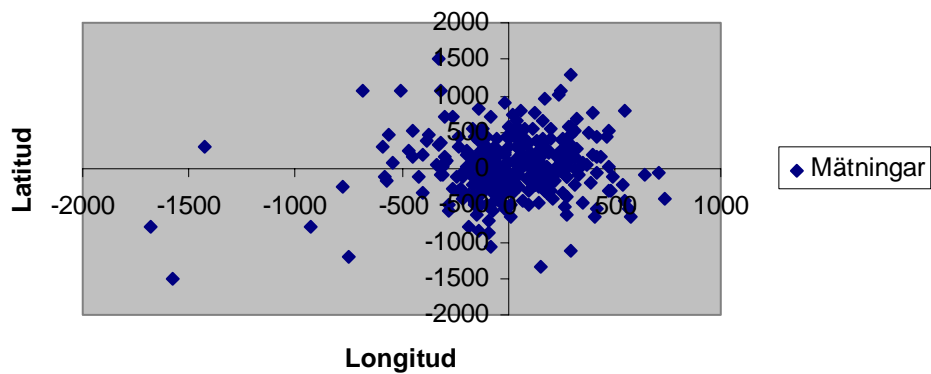
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	473	328	576
Noggrannhet	472	336	579
Medelavvik.	21	-76	79

**Planavvikelse i mm från sant värde för punkt 1 & 3  
(goda punkter)**



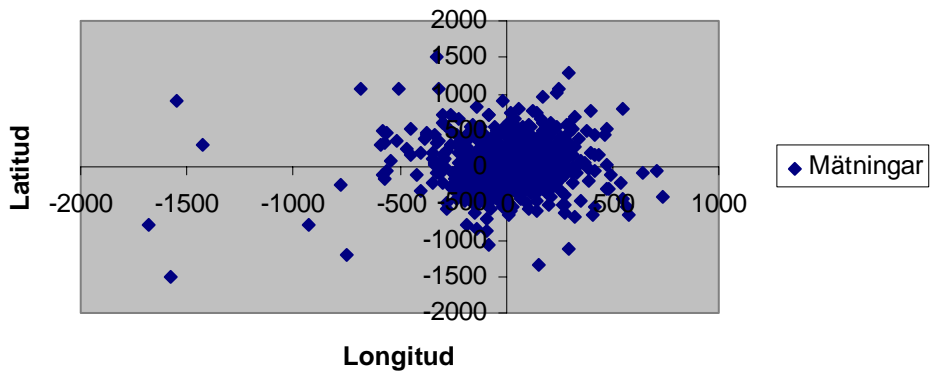
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	282	180	335
Noggrannhet	289	185	343
Medelavvik.	35	-10	36

**Planavvikelse i mm från sant värde för punkt 2 & 4  
(sämre punkter)**



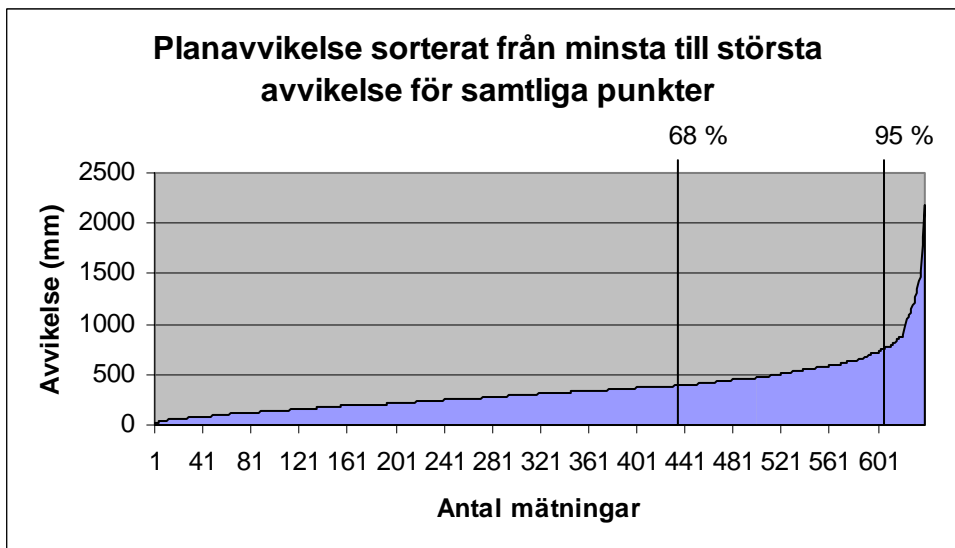
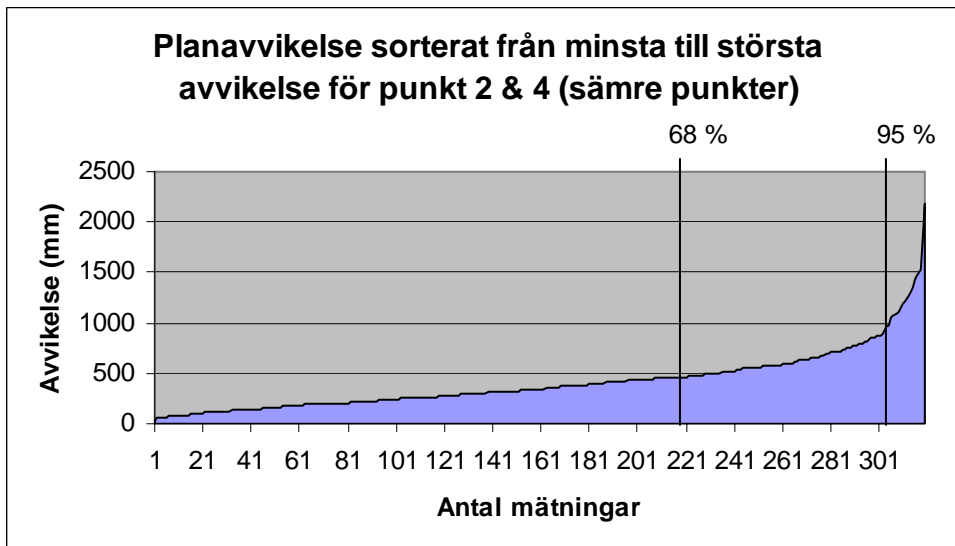
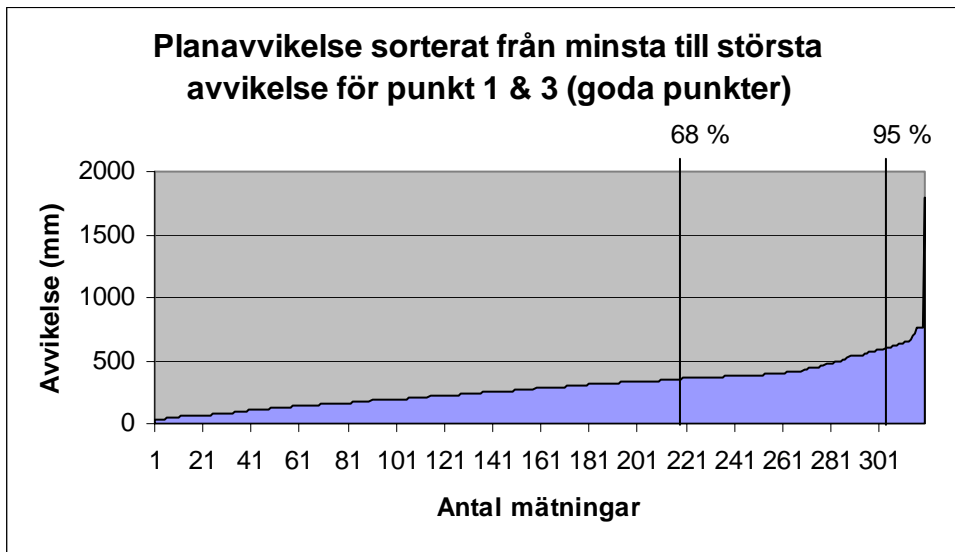
(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	413	278	498
Noggrannhet	414	293	507
Medelavvik.	37	16	40

**Planavvikelse i mm från sant värde för samtliga punkter**

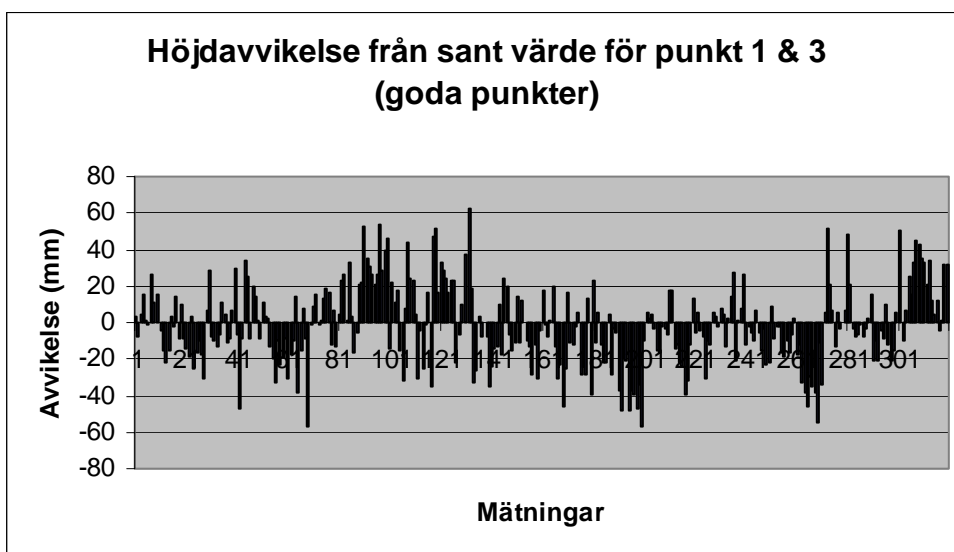


(mm)	Lat	Long	Radiellt
Precision	354	234	424
Noggrannhet	357	245	433
Medelavvik.	36	3	36

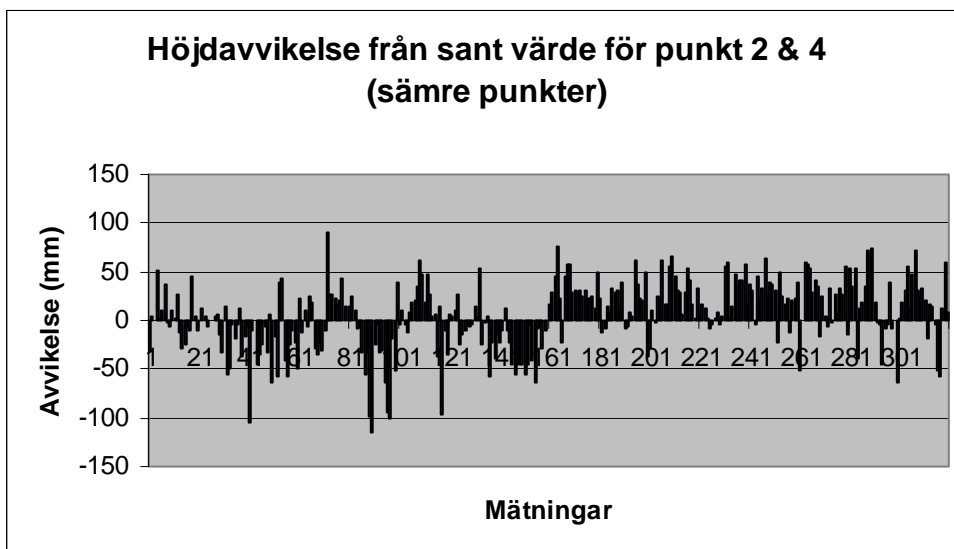
## 9.4 Sorterad planavvikelse för Nätverks-DGPS



## 9.5 Höjdavvikelse för Nätverks-RTK

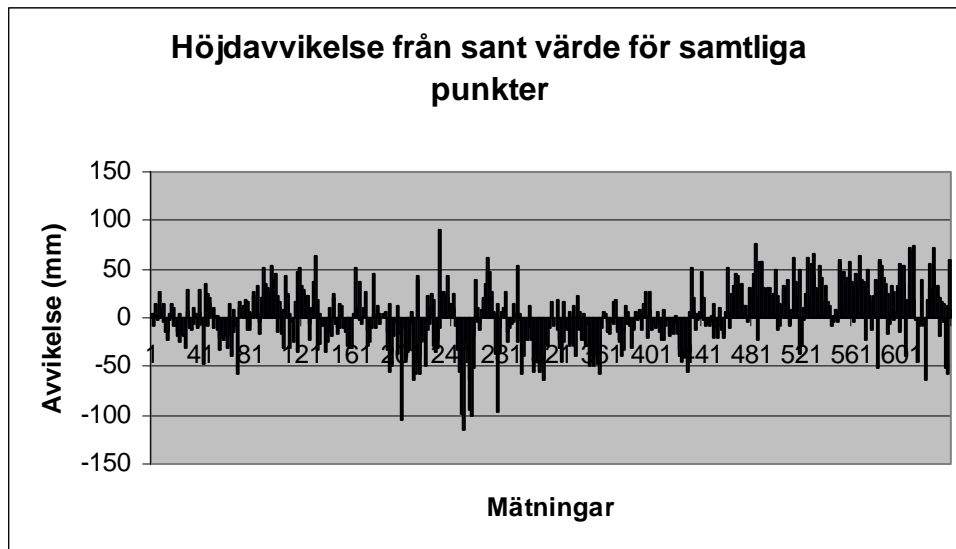


(mm)	Höjd
Precision	21
Noggrannhet	22
Medelavvik.	-2



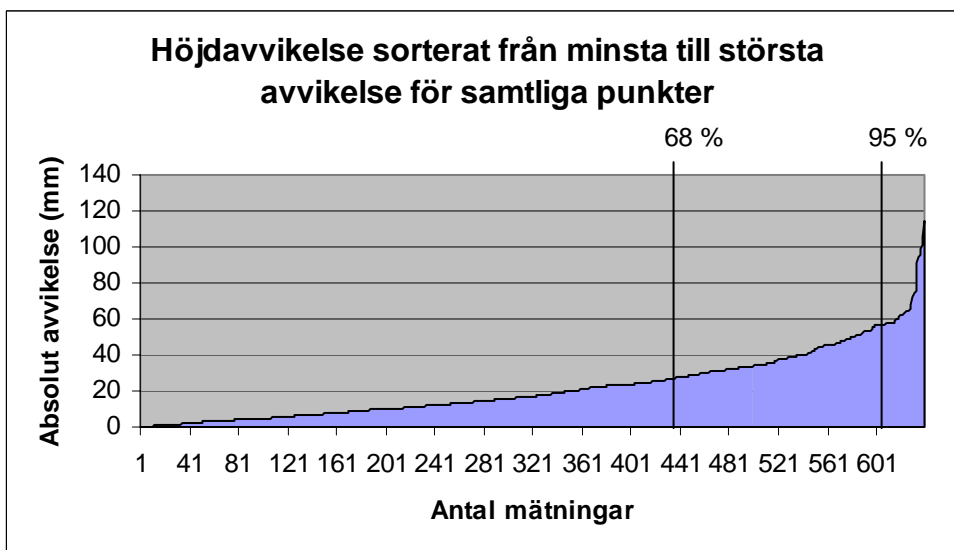
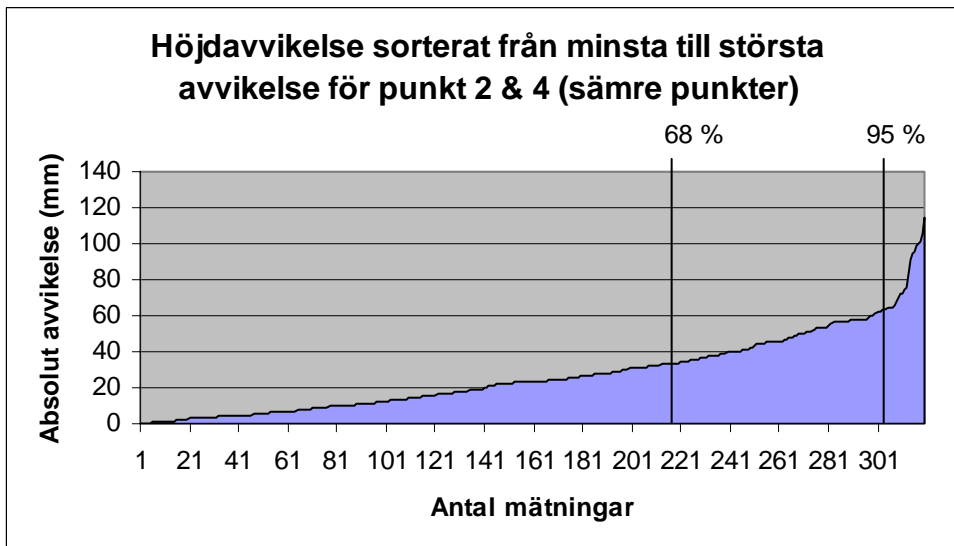
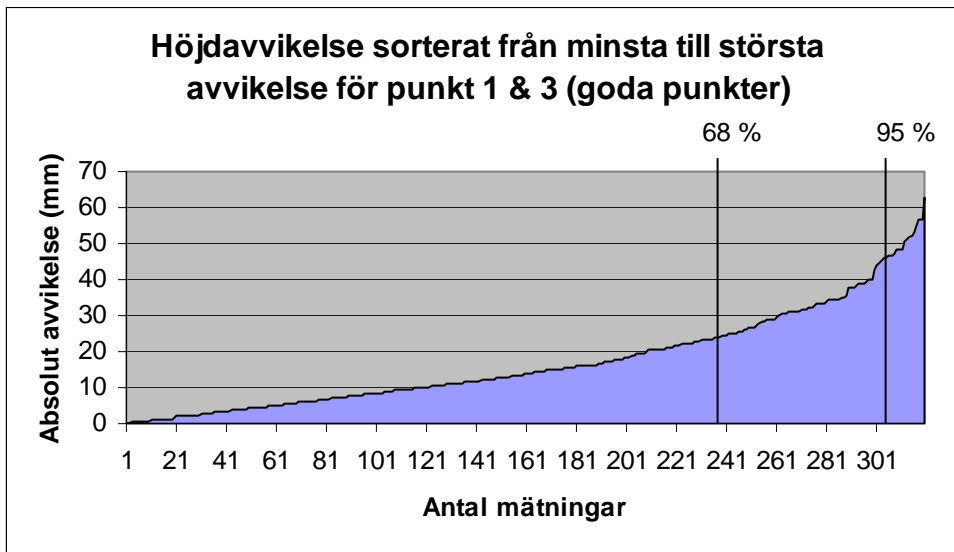
(mm)	Höjd
Precision	30
Noggrannhet	35
Medelavvik.	6



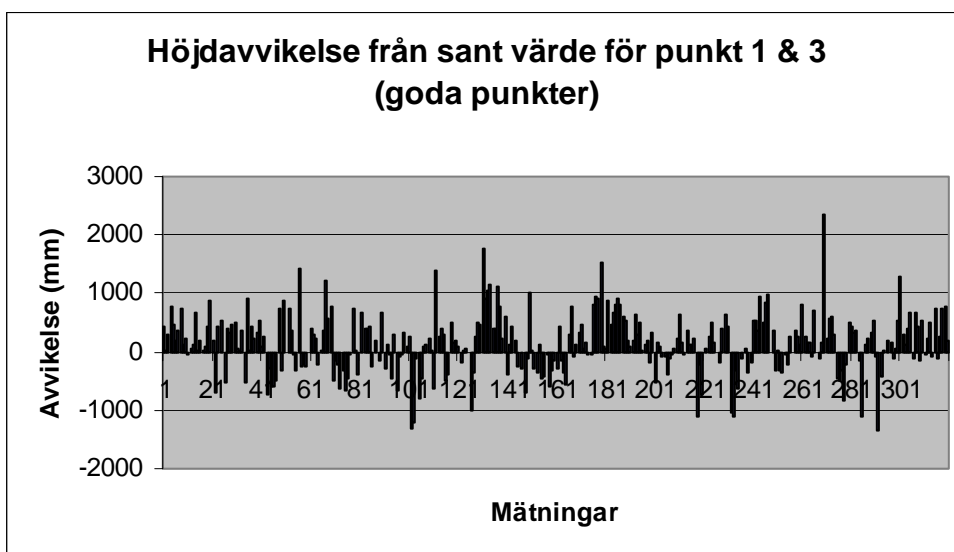


(mm)	Höjd
Precision	26
Noggrannhet	29
Medelavvik.	2

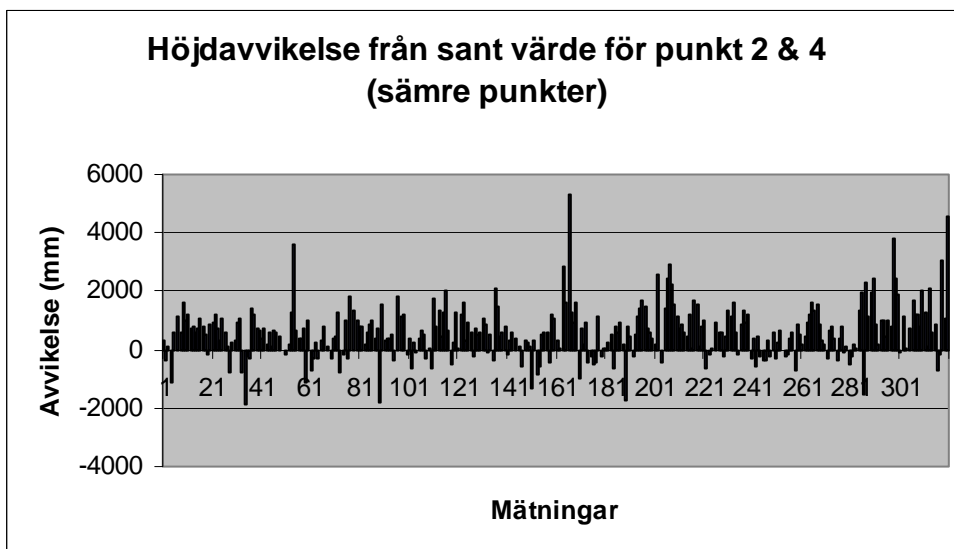
## 9.6 Sorterad höjdavvikelse för Nätverks-RTK



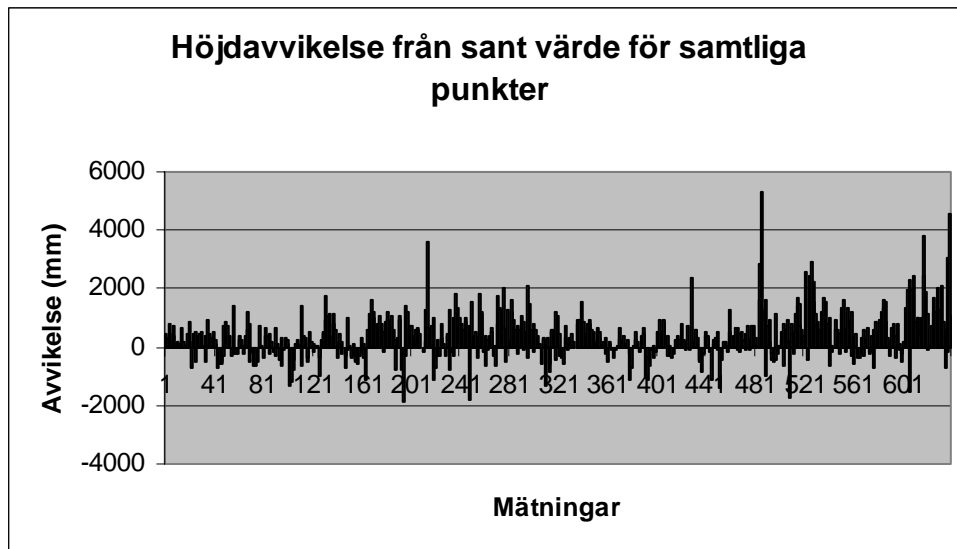
## 9.7 Höjdavvikelse för Nätverks-DGPS



(mm)	Höjd
Precision	495
Noggrannhet	514
Medelavvik.	139

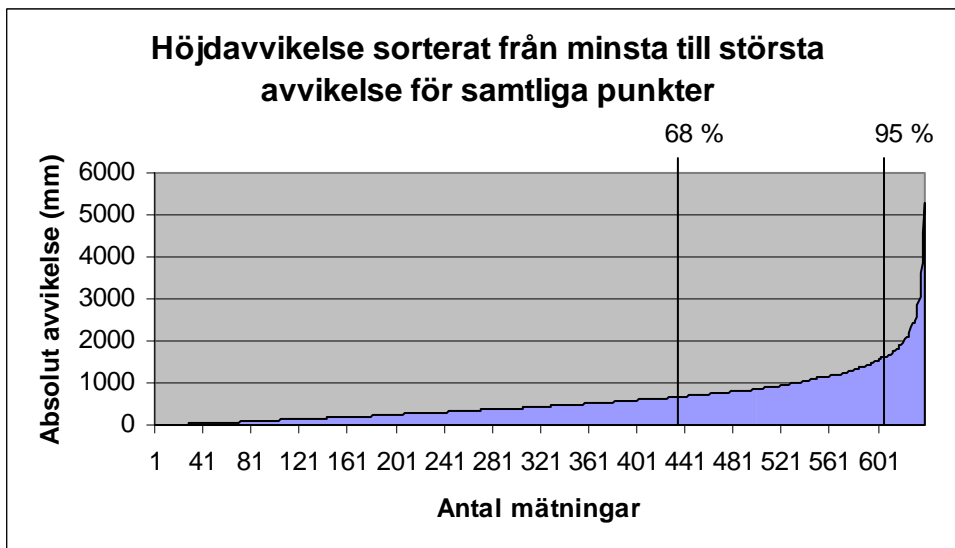
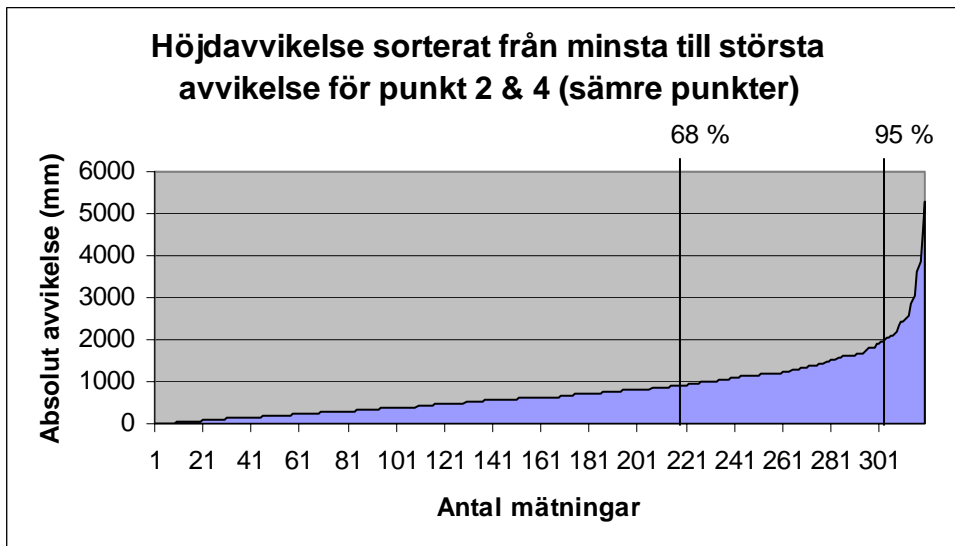
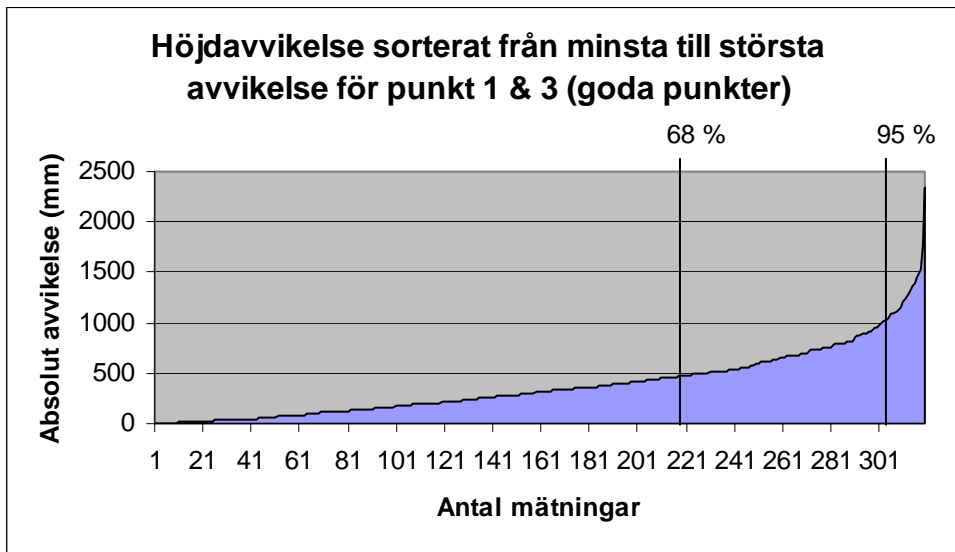


(mm)	Höjd
Precision	880
Noggrannhet	1061
Medelavvik.	579

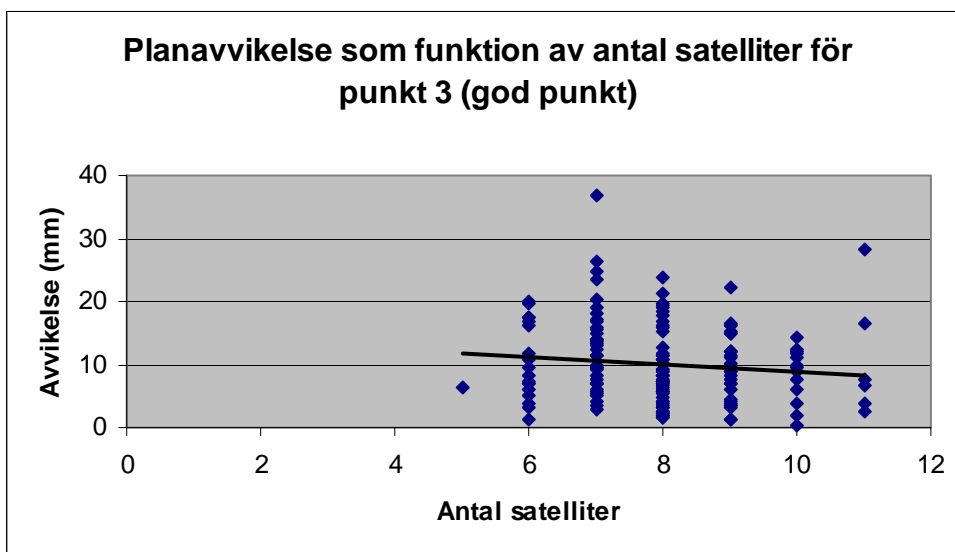
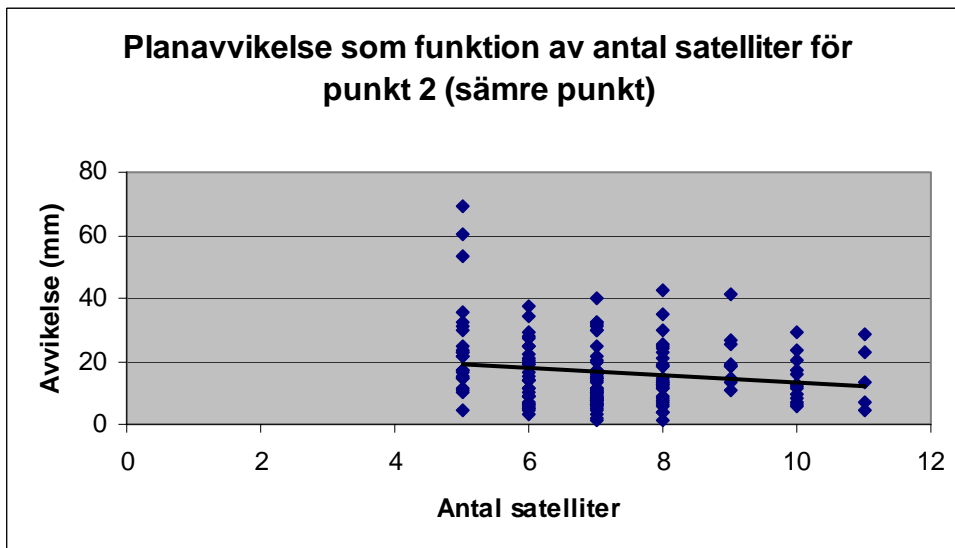
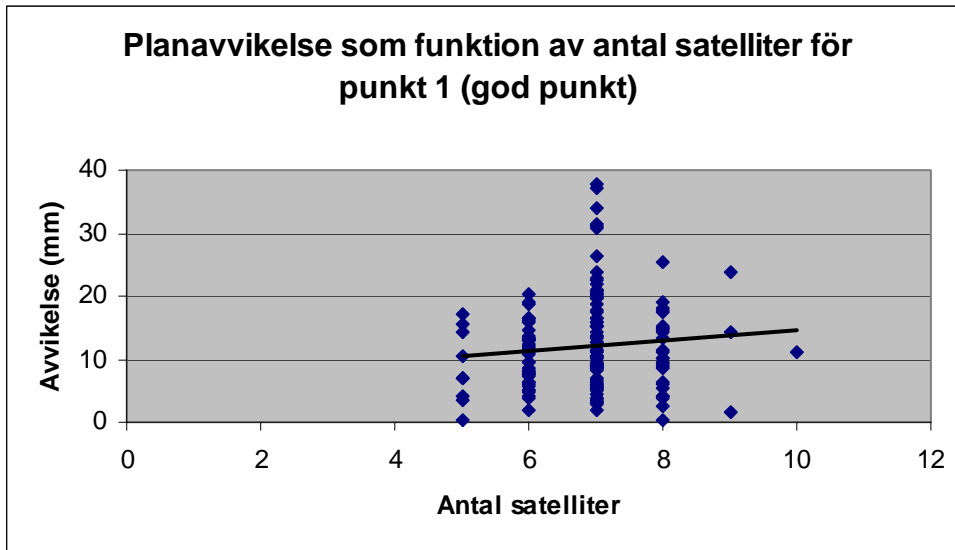


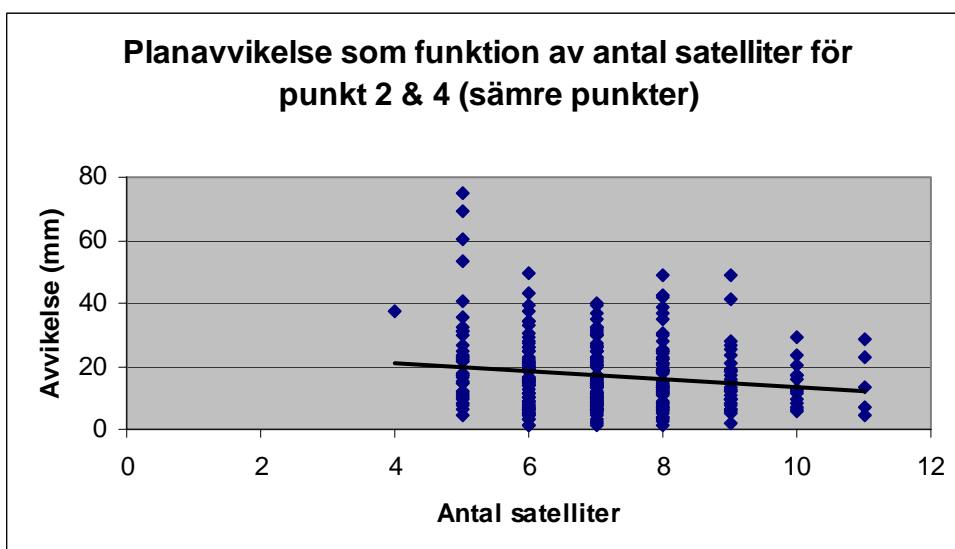
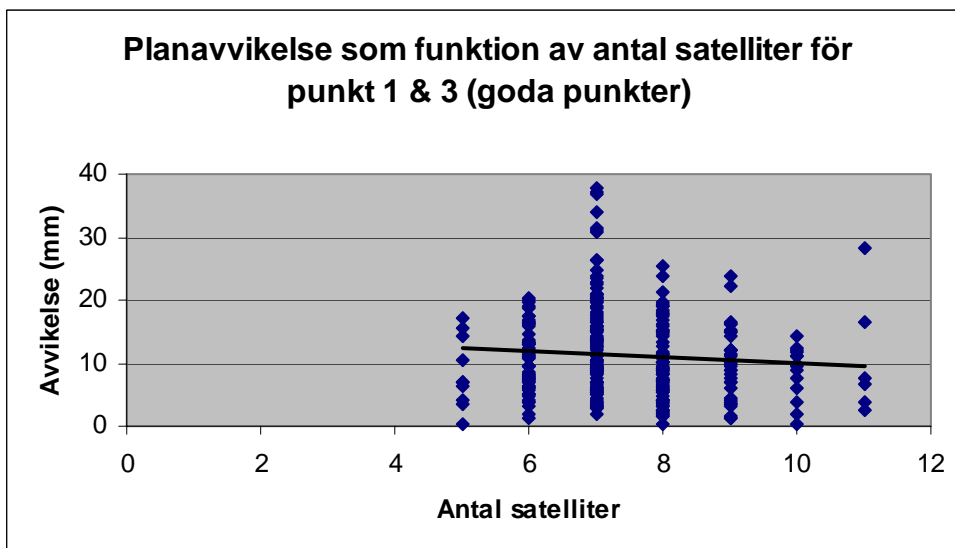
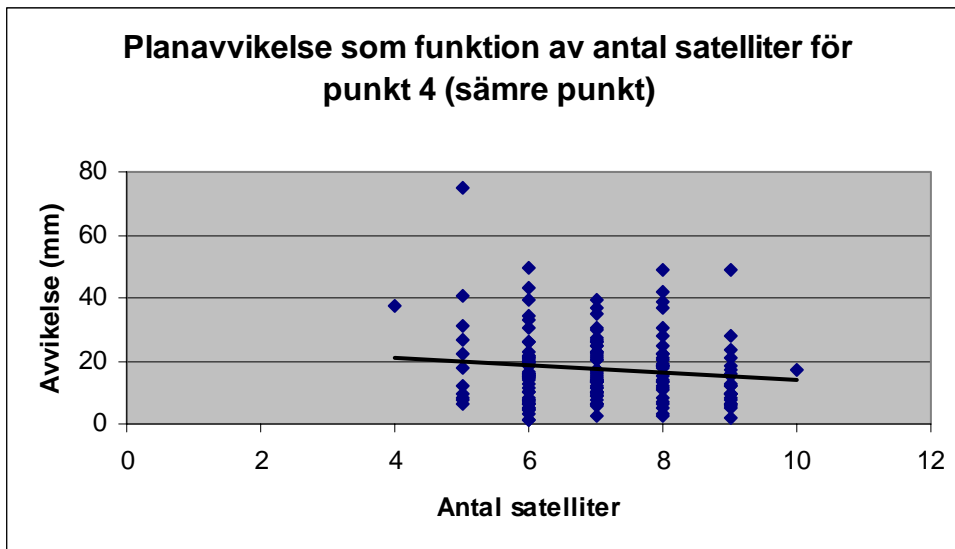
(mm)	Höjd
Precision	714
Noggrannhet	834
Medelavvik.	359

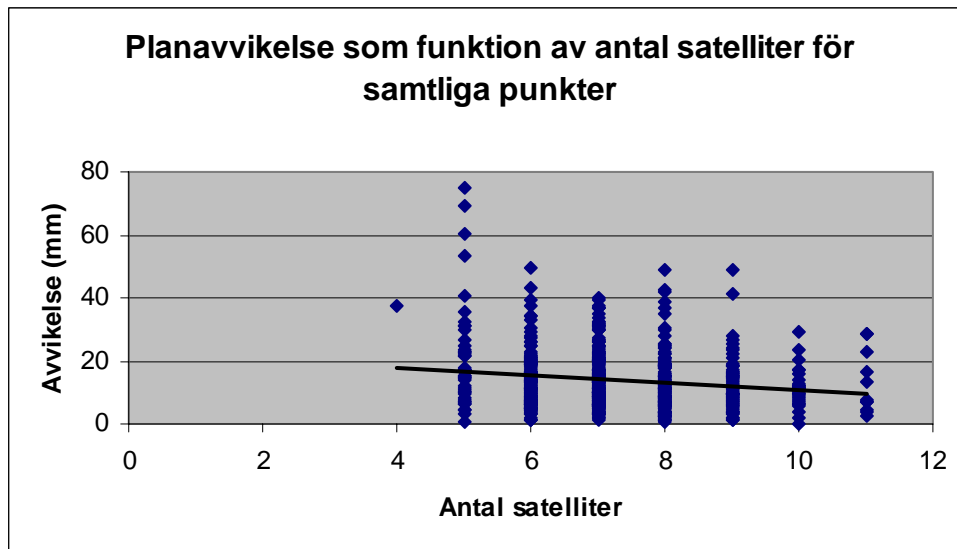
## 9.8 Sorterad höjdavvikelse för Nätverks-DGPS



## 9.9 Planavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-RTK

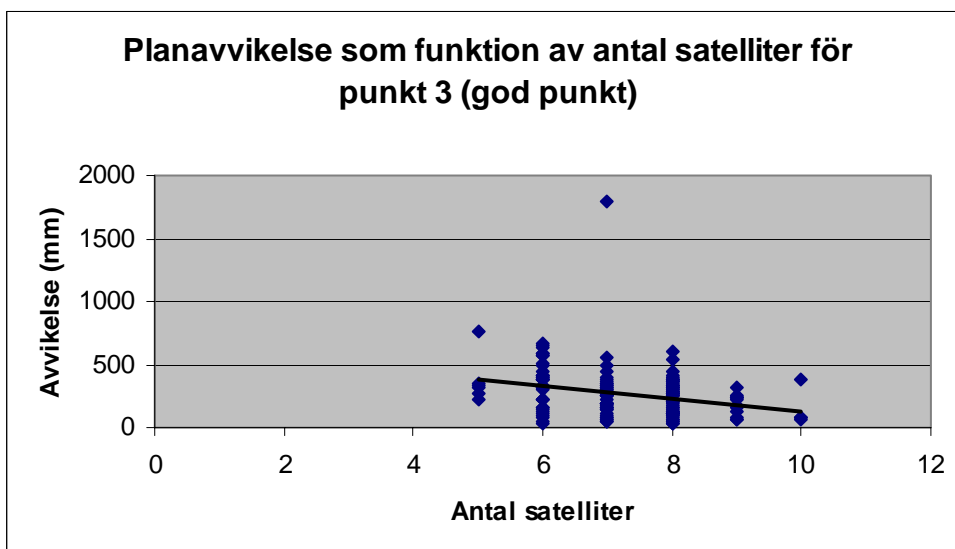
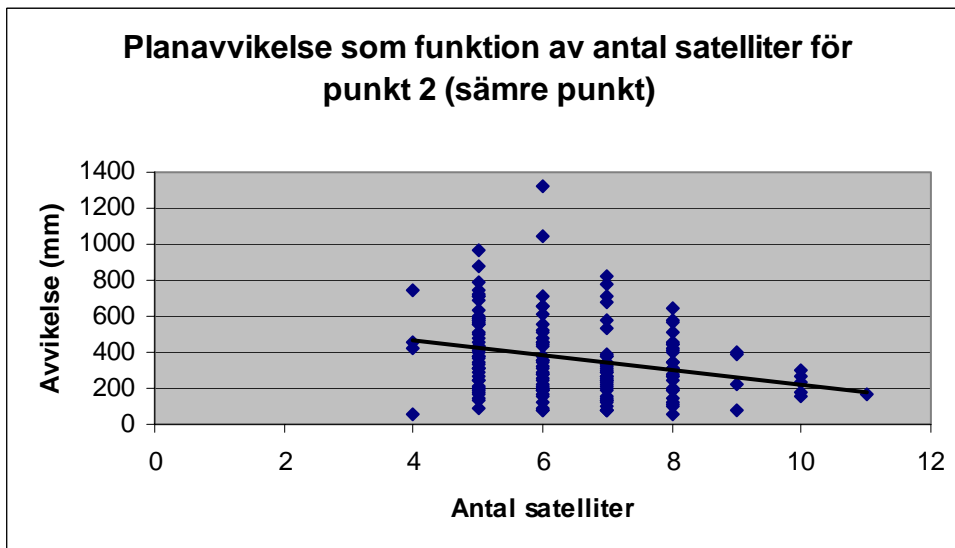
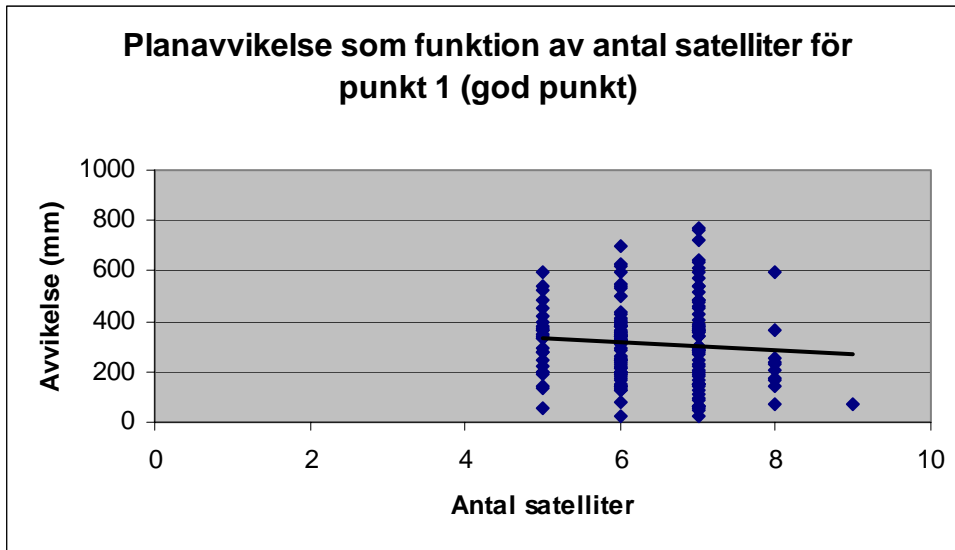


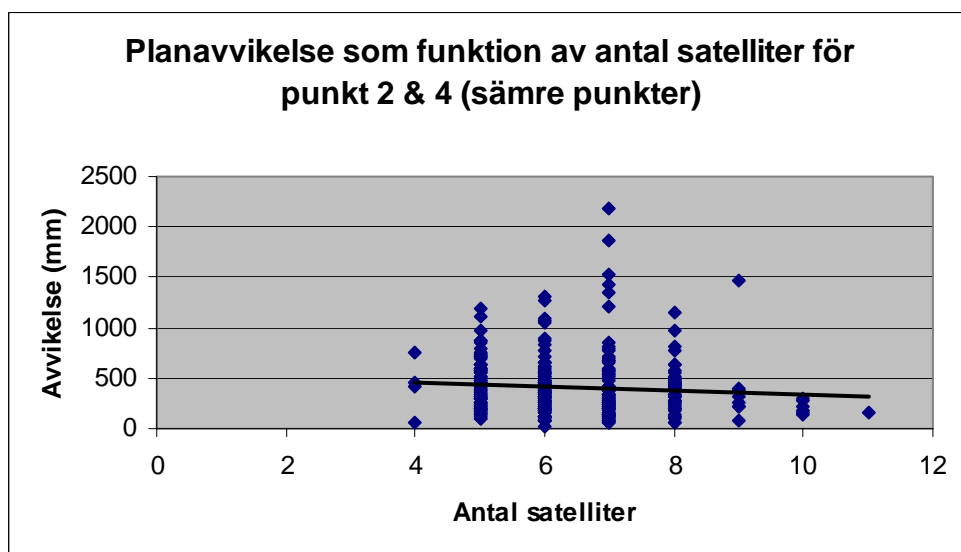
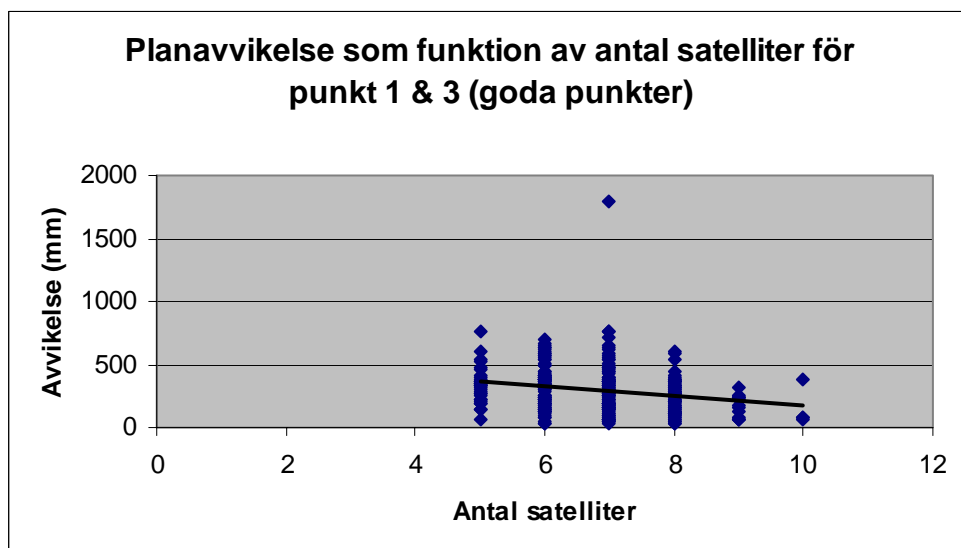
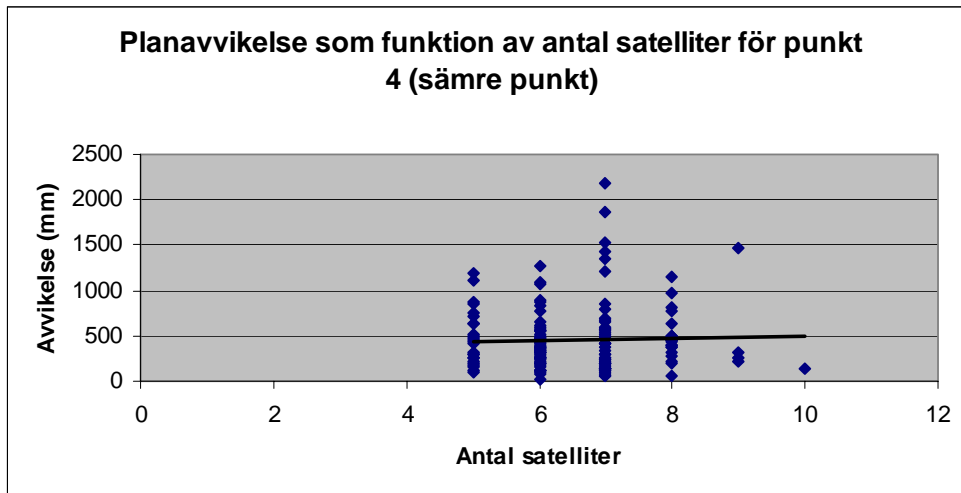




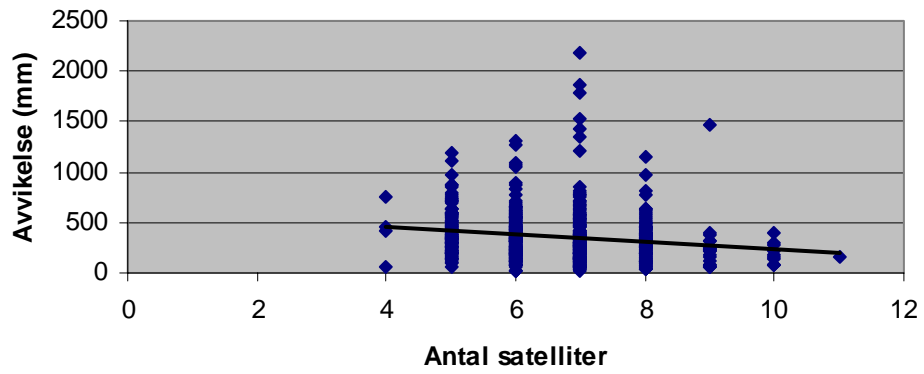


## 9.10 Planavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-DGPS

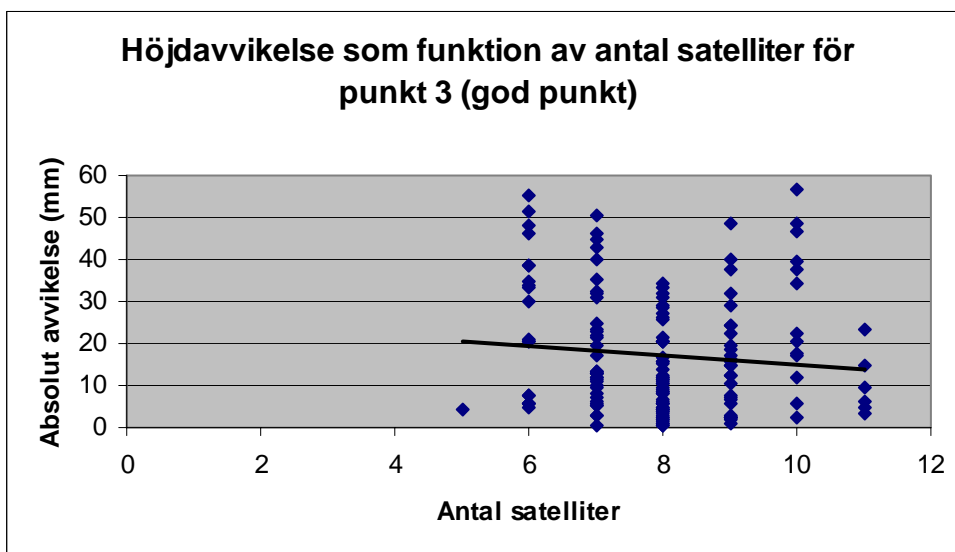
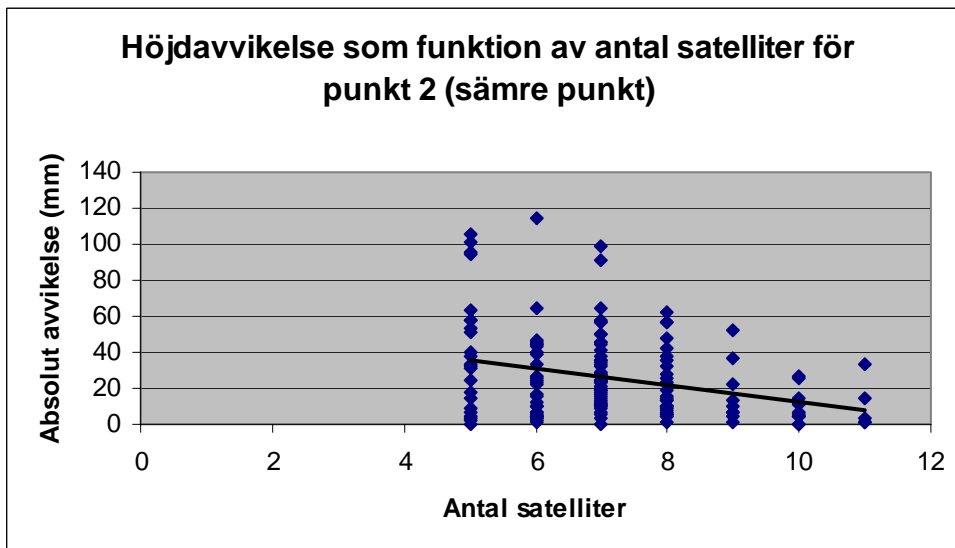
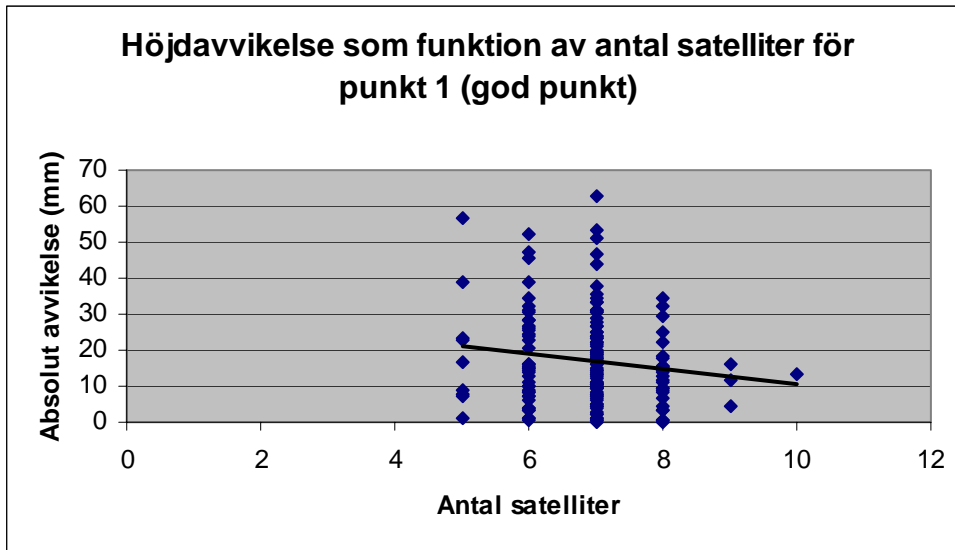


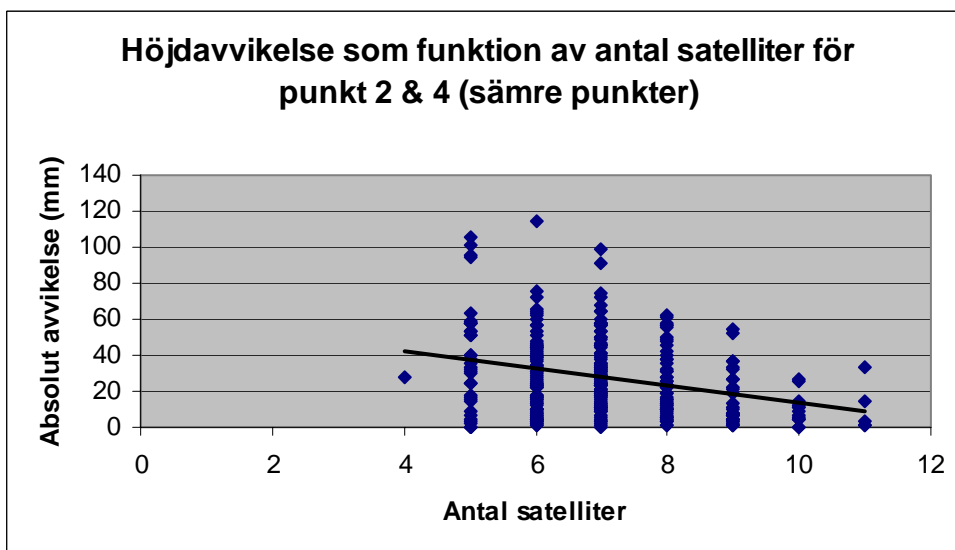
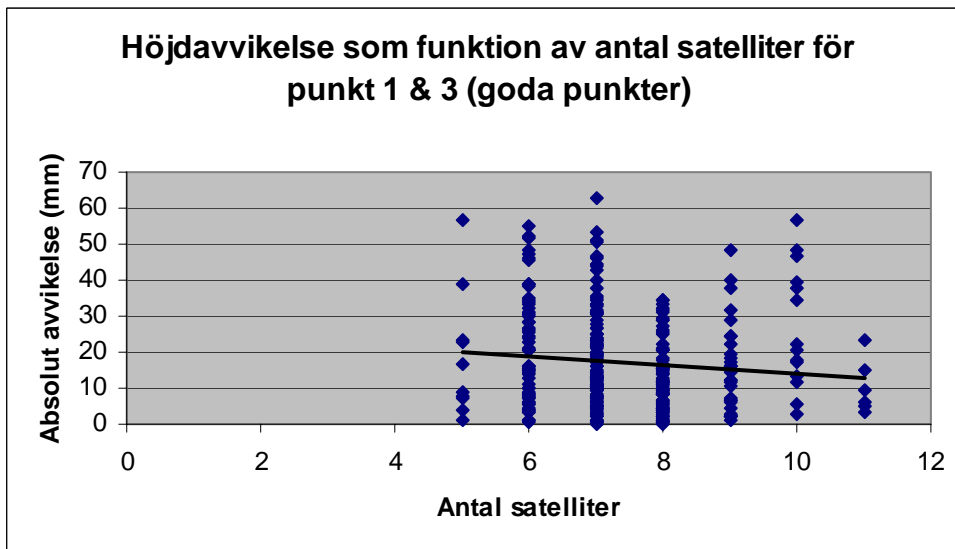
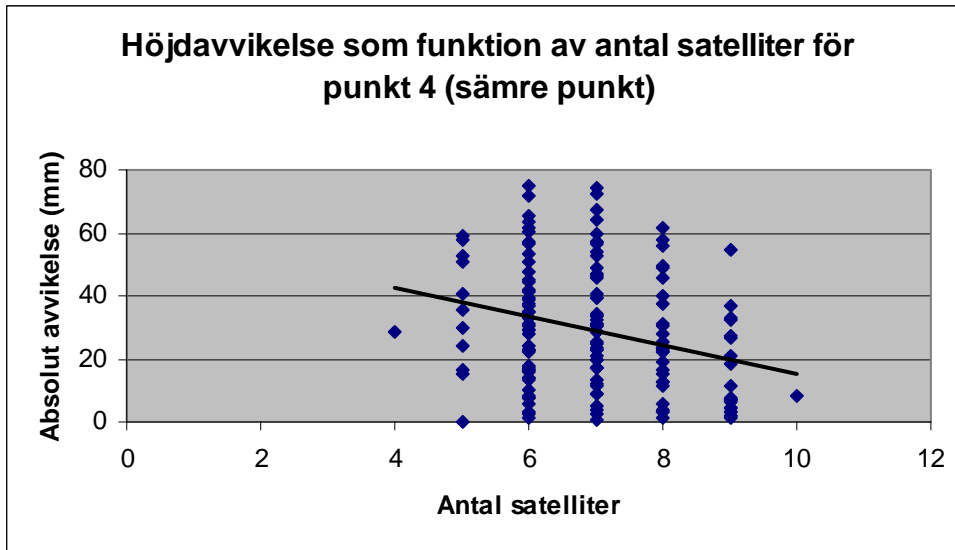


### Planavvikelse som funktion av antal satelliter för samtliga punkter

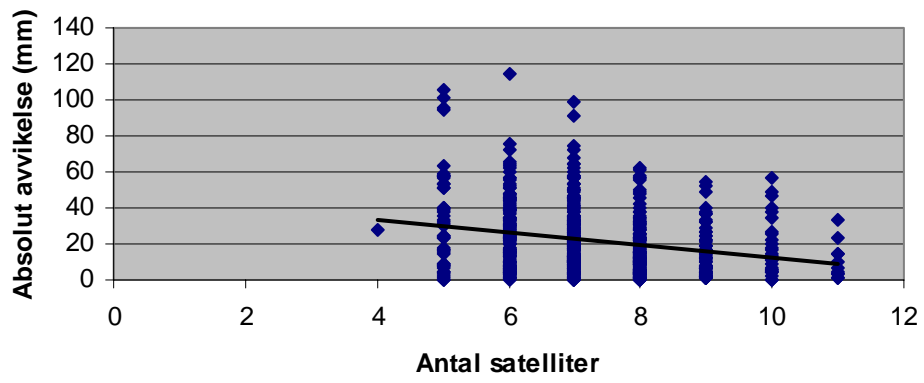


## 9.11 Höjdavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-RTK

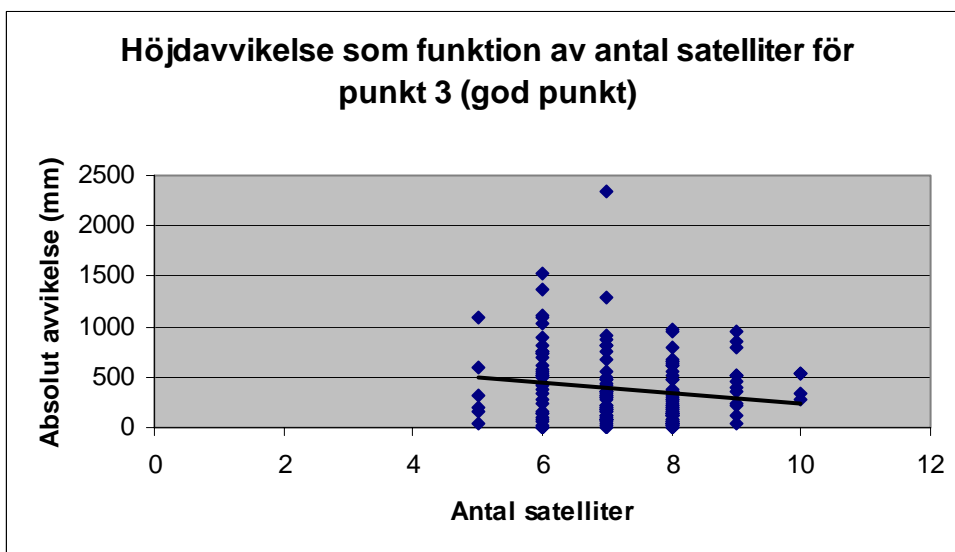
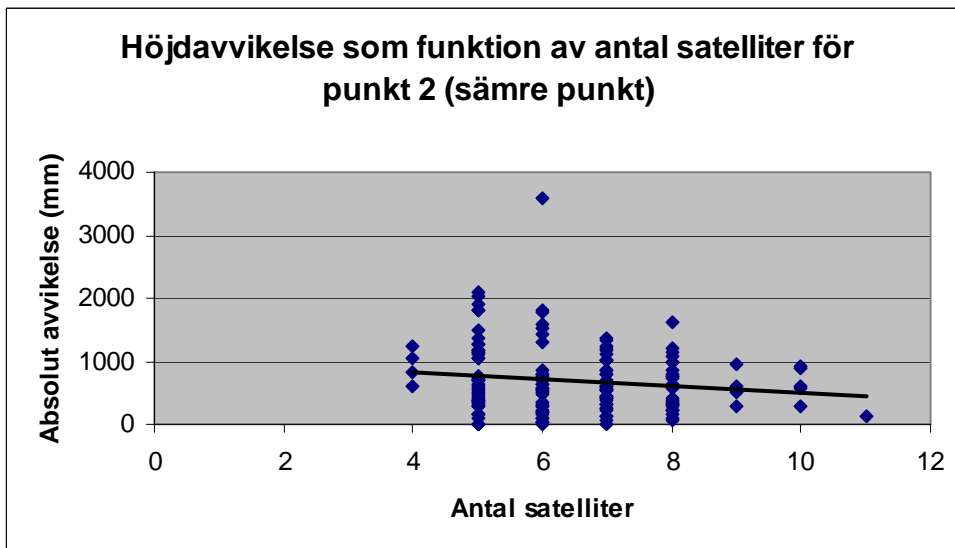
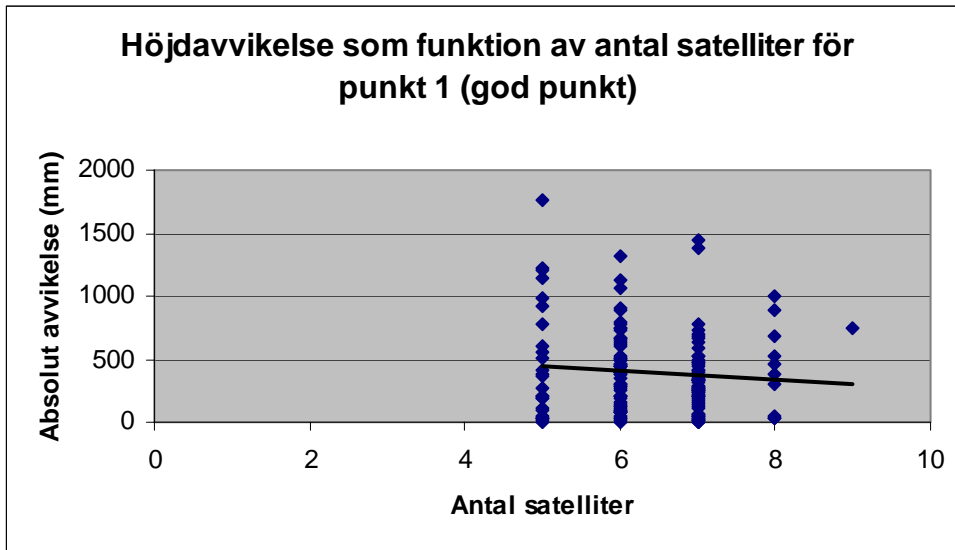


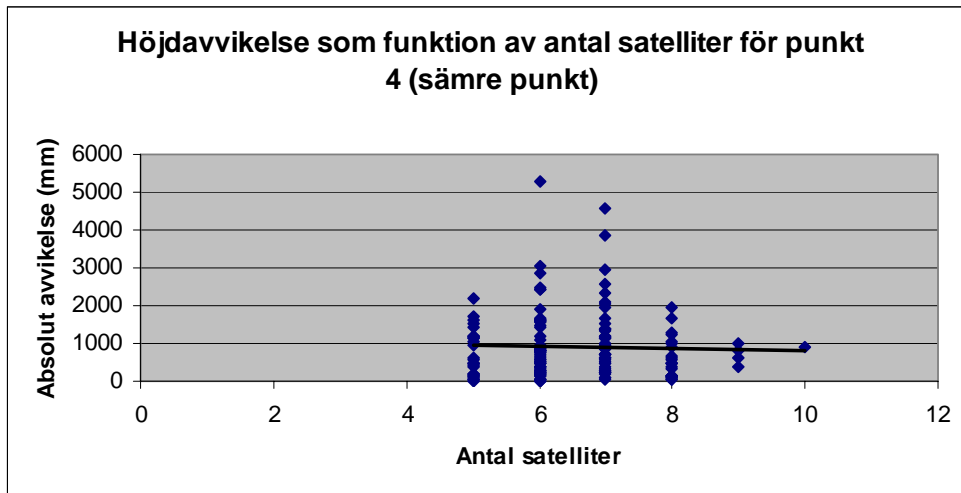


### Höjdavvikelse som funktion av antal satelliter för samtliga punkter



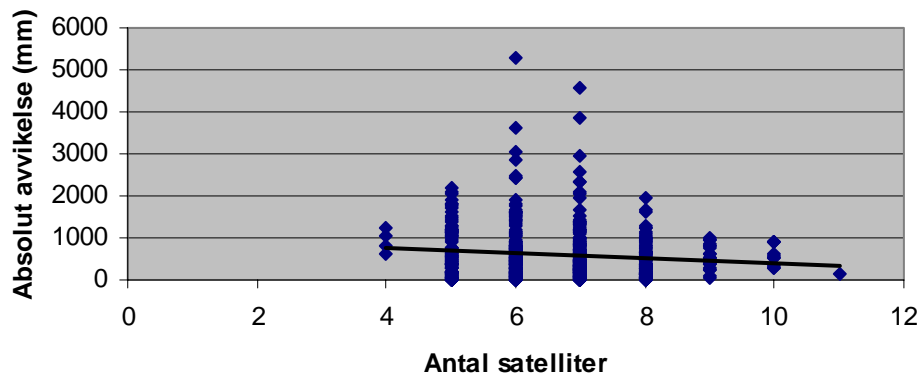
## 9.12 Höjdavvikelse som funktion av antal satelliter för Nätverks-DGPS



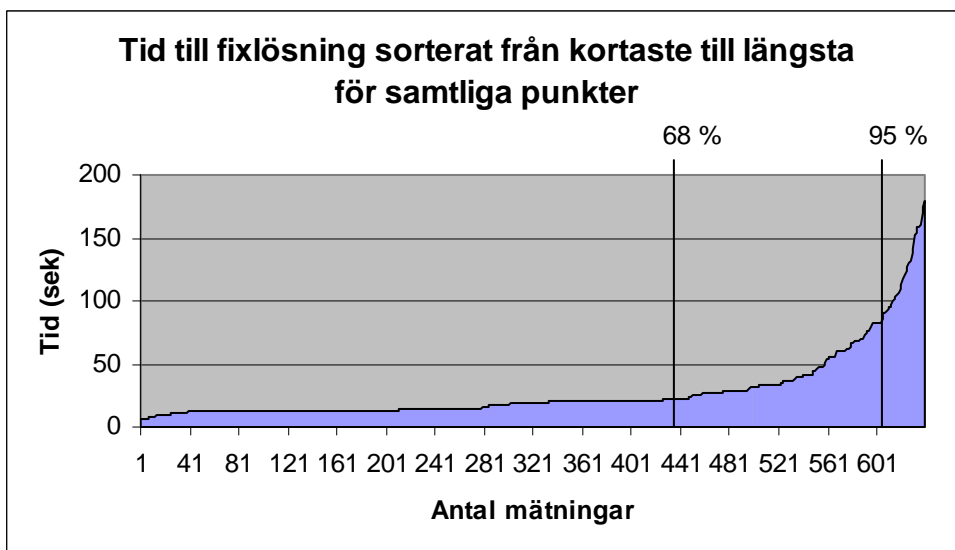
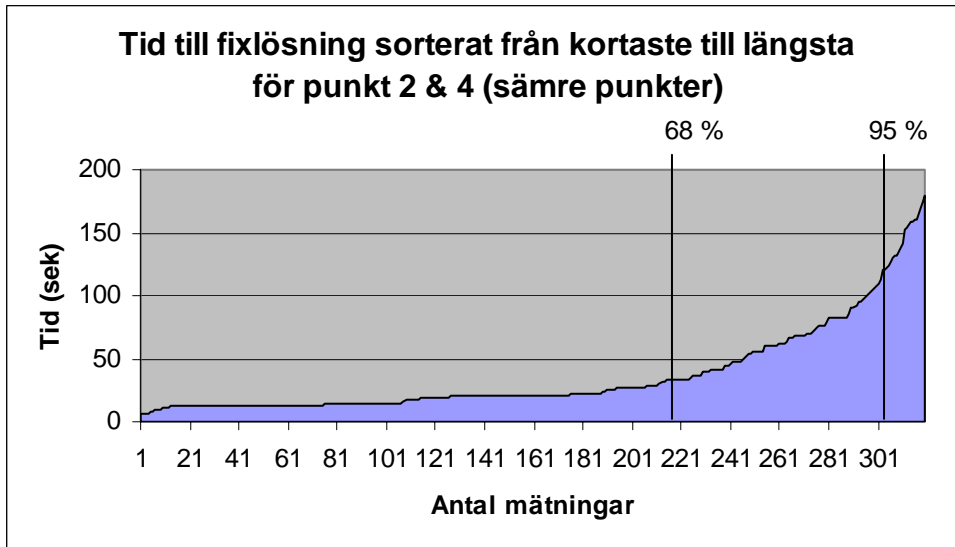
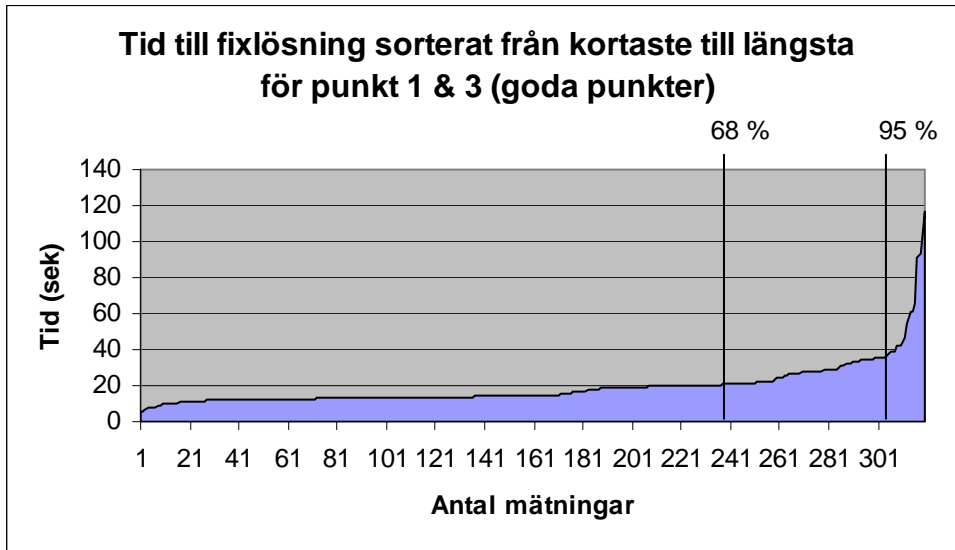


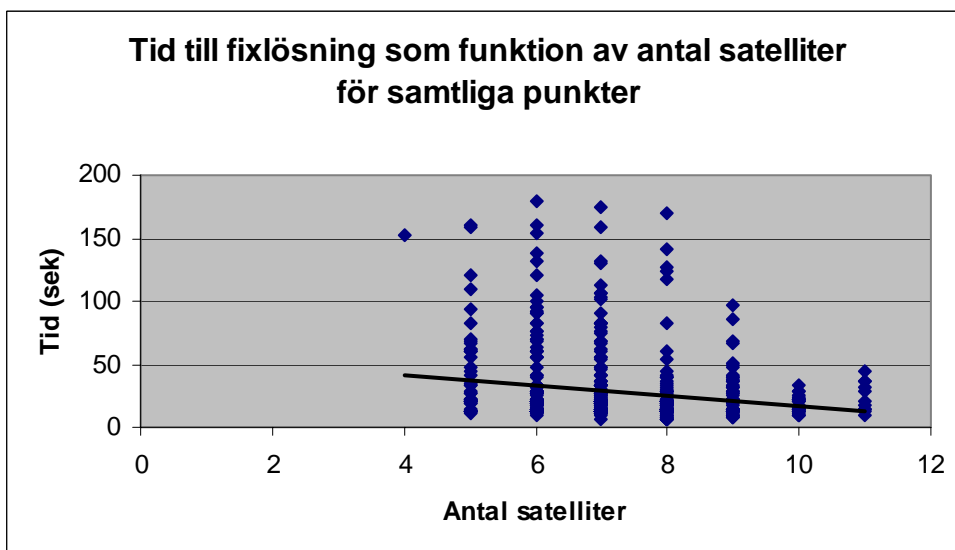
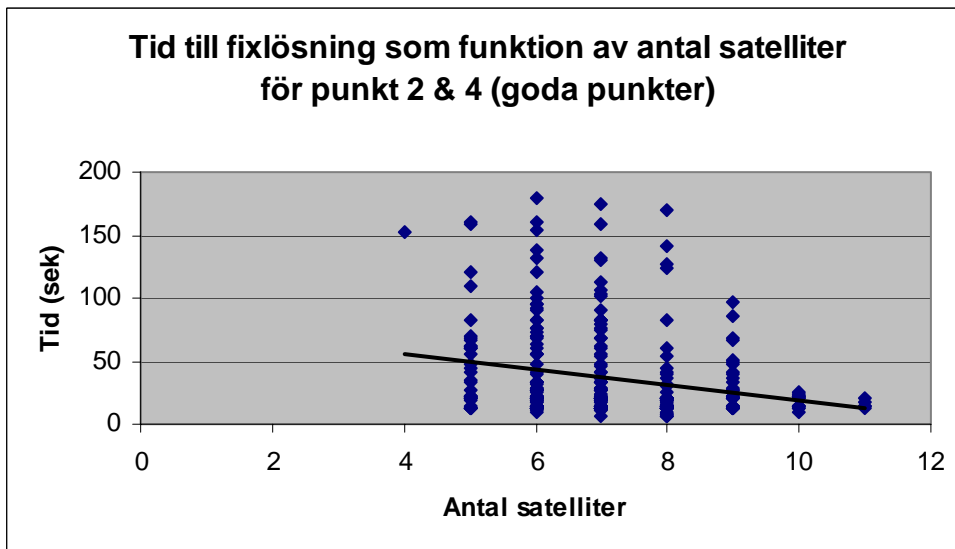
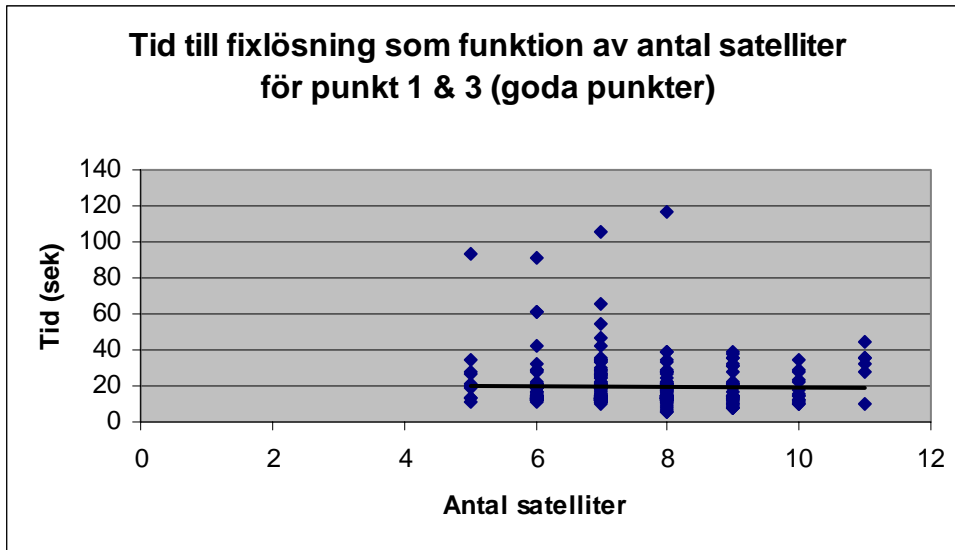


### Höjdavvikelse som funktion av antal satelliter för samtliga punkter



## 9.13 Initialiseringstid för Nätverks-RTK







## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2001:10 Rönnerberg Andreas: Undersökning av tjänster för differentiell GPS.
- 2002:1 Wiklund Peter: Slutrapport för projekt "Position Stockholm-Mälaren - 1".
- 2002:2 Wahlund Sara: Production measurements with network RTK - tests and analysis.
- 2002:5 Alfredsson Anders: Studier av deformationer vid byte av koordinatsystem.
- 2002:7 Persson Jan & Brynte Stefan: Kompatibilitet för nätverks-RTK-programvaran Trimble GPS-Net med olika typer av rörliga mottagare.
- 2003:4 Engfeldt Andreas, Norin Dan, Nielsen Jan, Holm Warming Louise, Grinde Gro, Johansson Daniel, Lilje Christina, Nilsson Andreas, Wiklund Peter, Kempe Tina, Frisk Anders: The 2002 NKG GNSMART/GPSNet test campaign.
- 2003:8 Vejdeland Sofia & Dahlberg Liselotte: Tolkarhet av GGD-objekt i bilder registrerade av olika sensorer.
- 2003:10 Engfeldt Andreas & Jivall Lotti: Så fungerar GNSS.
- 2003:11 Alm Malin & Munsin Anna-Stina: Traditionell RTK kontra nätverks-RTK - en noggrannhetsjämförelse.
- 2003:12 Jonsson Albert & Nordling Anders: Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät.
- 2004:1 Peterzon Martin: Distribution of GPS-data via Internet.
- 2004:4 Andersson Maria: Deformationer av fasta geometrier - en metodstudie.
- 2004:7 Valdimarsson Runar Gisli: Interpolationsmetoder för restfelshantering i höjddled vid höjdmätning med GPS.
- 2004:11 Kempe Christina: Väst-RTK - nätverks-RTK i produktionstest i västra Sverige.
- 2004:12 Johansson Daniel: SKAN-RTK - 2 - nätverks-RTK i produktionstest i södra Sverige.
- 2004:13 Wiklund Peter: "Position Stockholm-Mälaren - 2" - nätverks-RTK i produktionstest.
- 2004:16 Andersson Therese & Torngren Julia: Traditionell RTK och nätverks-RTK - en jämförelsestudie.

L A N T M Ä T E R I E T



Vaktmästeriet 801 82 GÄVLE Tfn 026 - 65 29 15 Fax 026 - 68 75 94  
Internet: [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se)