

# **Kan Nätverks-DGPS bidra till att effektivisera naturreservats- mätning – en utvärdering av mätnoggrannhet och användaraspekter**

Examensarbete av  
Ida Magni

Gävle 2007





Copyright ©

2007-11-07

Författare Ida Magni

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 62

LMV-Rapport 2007:9 – ISSN 280-5731

**Kan Nätverks-DGPS  
bidra till att  
effektivisera  
naturreservats-  
mätning – en  
utvärdering av  
mätnoggrannhet och  
användaraspekter**

Examensarbete av  
Ida Magni

Gävle 2007

## Förord

Det här examensarbetet markerar slutet på min lantmätariingenjörsutbildning vid Högskolan Väst i Trollhättan. Det är skrivet på uppdrag av Lantmäteriet och jag vill rikta ett stort tack till mina handledare vid myndighetens Östersundskontor, Åke Sporrstedt och Lars Åstrand. Jag vill även tacka Bengt Eurenus på Division Fastighetsbildning i Gävle som har fungerat som referensperson. Gunnar Ersbo, överlantmätare i Jämtland och Västernorrland, tipsade om detta intressanta ämne och det är jag mycket tacksam för. Gunnar Ericsson och Bo-Göran Holmgren, också de vid Division Fastighetsbildning, som korrekturläste min rapport, Dan Norin på Geodesienheten i Gävle och min examinator vid högskolan, Einar Hunnes, förtjänar också tack.

Sist men inte minst vill jag tacka Ingemar Engström och Forest it Design AB som lånade ut instrument och programvara.

Östersund, oktober 2007

Ida Magni

# Kan Nätverks-DGPS bidra till att effektivisera naturreservatsmätning – en utvärdering av mätnoggrannhet och användaraspekter

## Förord

Sammanfattning	1
----------------	---

Abstract	2
----------	---

1 Inledning	3
-------------	---

1.1 Bakgrund .....	3
1.2 Syfte .....	4
1.3 Avgränsningar .....	4

2 Allmänt om GNSS	4
-------------------	---

2.1 Frekvenser .....	5
2.2 Felkällor .....	6
2.3 Kodmätning .....	6
2.4 Bärvägsmätning .....	7
2.5 Differentiell GPS .....	7
2.5.1 Nätverks-DGPS-tjänsten .....	8
2.6 RTK-mätning .....	8

3 GNSS-mottagare	9
------------------	---

3.1 Enfrekvensmottagare .....	9
3.2 Tvåfrekvensmottagare .....	9

4 Metod	10
---------	----

5 Mätutrustning och programvara	11
---------------------------------	----

5.1 GeoXT .....	11
5.2 Zephyr extern antenn .....	12
5.3 Modem .....	12
5.4 GPS Pathfinder Office 3.10 .....	12
5.5 TerraSync Professional .....	13
5.6 Trimble Planning .....	13
5.7 Leica GPS 1200 .....	14
5.8 AutoKaPC .....	14

<b>6 Utvärdering av GeoXT och programvara</b>	<b>15</b>
6.1 GeoXT.....	15
6.2 Ergonomi .....	16
6.3 Programvara.....	16
6.4 Dataöverföring.....	17
6.4.1 TerraSync till Pathfinder Office .....	17
6.4.2 Pathfinder Office till AutoKaPC.....	17
<b>7 Fältmätningar</b>	<b>19</b>
7.1 Förberedelser.....	21
7.2 Inmätning och utsättning.....	21
<b>8 Resultat vid mätning</b>	<b>22</b>
8.1 Kvalitetsangivelser .....	22
8.2 Inmätning av punkt .....	23
8.3 Utsättning av punkt.....	23
8.4 Utsättning av linje.....	23
<b>9 Diskussion</b>	<b>24</b>
9.1 Inmätning av punkt.....	24
9.1.1 Inmätning av öppen punkt.....	24
9.1.2 Inmätning av halvskymd punkt.....	24
9.1.3 Inmätning av skymd punkt.....	24
9.2 Utsättning av punkt.....	25
9.2.1 Utsättning av öppen punkt .....	25
9.2.2 Utsättning av halvskymd punkt.....	25
9.2.3 Utsättning av skymd punkt .....	26
9.3 Utsättning av linje.....	26
9.3.1 Utsättning av öppen linje .....	27
9.3.2 Utsättning av halvskymd linje .....	27
9.3.3 Utsättning av skymd linje .....	27
<b>10 Slutsatser</b>	<b>28</b>
<b>11 Rekommendationer till fortsatt arbete</b>	<b>29</b>
<b>Källförteckning</b>	<b>30</b>
<b>Bilaga A Utförliga resultattabeller</b>	<b>32</b>
<b>Bilaga B Avvikelser i plan</b>	<b>36</b>
<b>Bilaga C Sorterade avvikelser i plan</b>	<b>46</b>

# Kan Nätverks-DGPS bidra till att effektivisera naturreservatsmätning – en utvärdering av mätnoggrannhet och användaraspekter

## Sammanfattning

Lantmäteriet omsätter varje år miljontals kronor på naturreservatsuppdrag. Utstakning av reservatsgränser är tidskrävande och man önskar effektivisera fältarbetet. Syftet med detta examensarbete är att undersöka om Nätverks-DGPS-mätning med en enfrekvensmottagare kan ge den lägesnoggrannhet som krävs och om tidsbesparingar kan göras. Även användarvänlighet och ergonomi har bedömts.

Fördelar med enfrekvensmottagare och nätverksmätning är att det inte behövs egna referensstationer, användaren slipper invänta fixlösning och mottagaren är inte lika känslig för signalavbrott.

Enfrekvensmottagare positionerar sig med hjälp av C/A-koden på L1-frekvensen. I undersökningen användes en GeoXT från Trimble, ett instrument som kan ta emot de korrektioner som sänds ut i SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst. Korrektionerna innebär en stor förbättring av lägeskvaliteten.

Dataprogrammen som har använts är Pathfinder Office och TerraSync. Överföringar programmen emellan, samt mellan Pathfinder Office och AutoKaPC har utvärderats. ASCII-fil bedöms vara det lättaste sättet att överföra data till AutoKaPC men en del redigeringar behövs för att filerna skall kunna läsas.

GeoXT upplevdes som ett enkelt instrument att arbeta med men lite för tungt. Om mottagaren monteras på en stång så minskas belastningen på armar och axlar.

Mätningarna gjordes i realtid. De situationer som undersöktes var inmätning av punkt, utsättning av punkt och utsättning av linje. Totalt utfördes 36 mätserier á 10 mätningar. Mätningarna gjordes både med och utan extern antenn. Terrängen runt punkterna och linjerna varierade, så att det var möjligt att se hur resultaten påverkades av skymmande objekt. Noggrannheten för inmätning och utsättning av punkt beräknades till 0,7 respektive 0,8 meter medan noggrannheten för utsättning av linje var 0,4 meter, när extern antenn användes.

# Can positioning by Network DGPS make nature reserve surveying more efficient – a study of accuracy and user friendliness

## Abstract

Working with nature reserves, Lantmäteriet has a turnover of several million Swedish kronor every year. Staking out the reserves' boundaries is a time-consuming job and there is a wish to make it more efficient. The purpose of this thesis is to examine if Network DGPS and single-frequency receiver can give the required accuracy and if time savings can be made. User friendliness and ergonomics have also been evaluated.

Advantages with single-frequency receivers and Network DGPS are that no base stations of your own are needed, the wait for initialization is not as long and the equipment is not as sensitive to signal interruptions.

Single-frequency receivers use the C/A-code on the L1-frequency for positioning. In this thesis, a GeoXT from Trimble was used, an instrument that can receive the corrections sent out from the SWEPOS Network DGPS service. The corrections make a big improvement for the positioning accuracy.

The computer programs used in the study are Pathfinder Office and TerraSync. Transferring data between the programs, and between Pathfinder Office and AutoKaPC, have been evaluated. The ASCII-format seems to be the easiest way to transfer data to AutoKaPC but a few adjustments have to be made previous to import.

GeoXT was experienced as easy to use but a little bit too heavy. If the receiver is mounted on a range pole, the wear on arms and shoulders are reduced.

The surveys were made in real-time. Occupying a point, staking out a point and staking out a line were the situations studied. In total 36 survey series, with 10 measurements each, were carried out. The surveys were made both with and without an external antenna. The terrain around the points and lines varied, which made it possible to see how obstructing objects affected the results. The accuracy for occupying and staking out a point were calculated to 0.7 and 0.8 meters, while the accuracy for setting out a line was 0.4 meters, when an external antenna was used.



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

När Länsstyrelserna beslutar om bildande av naturreservat är det lantmäterimyndigheten som, bland mycket annat arbete, utför utsättningen av reservatets gränser. Miljontals kronor och många arbetstimmar omsätts årligen på dessa naturvårdsuppdrag [1].

I dagsläget utförs naturreservatsmätningen i Jämtlands län med RTK-utrustning. Då länet inte ingår i det förtätade SWEPOS-nätverket, krävs det både rover och referens för att kunna utföra denna typ av GNSS-mätning. Naturreservaten täcker många gånger stora geografiska områden och även om en repeater används (en repeteringsenhet som vidareänder referensens signal så att den når längre) måste flera referensstationer etableras.

Reservatsgränserna går ofta i väglös och svårtillgänglig terräng. RTK-utrustning är otymplig att ta med sig och dess kapacitet utnyttjas sällan fullt ut p.g.a. dåliga mätförhållanden såsom skymd sikt uppåt. Dessutom ställs det inte lika höga noggrannhetskrav på läget för en reservatsgräns som för en fastighetsgräns (så länge gränserna inte sammanfaller). Enligt Lantmäteriets *Basnivåer vid förrättningsmätning* får lägeskvaliteten inte vara sämre än 1 meter för jord- och skogsbruksmark utanför tätbebyggt samhälle, eller 0,5 meter då höga markvärden råder [2]. Detta stämmer också överens med Naturvårdsverkets krav på lägesnoggrannhet för intrångsgränser [3]. Vid naturvårdsuppdrag används ofta 0,5 meter som norm.

Lantmäterimyndigheten i Jämtlands län önskar undersöka om Nätverks-DGPS-mätning med en enfrekvensmottagare kan vara ett alternativ till RTK-mätning. Några av de fördelar som finns är att man slipper etablera referensstationer och mottagaren är lättare att ta med sig då den bara består av en enhet (eller eventuellt är monterad på en stång om extern antenn används). En enfrekvensmottagare blir även snabbare mätklar än RTK-utrustningen och är inte lika känslig för signalavbrott, beroende på att man använder C/A-koden i stället för bärvågen på L1. Det sistnämnda är en stor fördel när man rör sig i skogrik terräng, där signalavbrott ofta inträffar. Enfrekvensmottagaren är också avsevärt billigare än en RTK-utrustning.

Användarvänligheten och ergonomin skall också utvärderas, då det är olyckligt om en utrustning som i och för sig ger tillräcklig noggrannhet, inte passar in i systemet för övrigt.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete, är att fastslå om realtidsmätning med Nätverks-DGPS och en enfrekvensmottagare kan ge den noggrannhet som ställs vid naturreservatsmätning. Jämte noggrannhet skall även användarvänlighet och ergonomi för instrumentet utvärderas. Kort sagt skall det undersökas hur denna typ av mottagare fungerar i det dagliga arbetet på ett lantmäterikontor.

## 1.3 Avgränsningar

Rapporten avser inte att bestämma vilken noggrannhet Nätverks-DGPS-tjänsten kan ge, då det redan har undersökts, t.ex. i examensarbetet *En noggrannhetsjämförelse mellan Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS* av Ahrenberg och Olofsson (LMV-rapport 2005:3). Rapporten omfattar inte heller höjdmätning eller efterberäkning av data. Höjdkoordinater är ofta av underordnad betydelse vid naturreservatsmätning och eftersom utsättningar görs så krävs realtidsmätning.

Avsnitten som behandlar ergonomi och utvärdering av programvara, är inte att se som en vetenskaplig rapport, utan är författarens personliga uppfattning. Informationen har efterfrågats av Lantmäteriet och är viktiga aspekter t.ex. vid inköp av ny utrustning.

Hur GPS-systemet är uppbyggt och fungerar beskrivs endast översiktligt.

## 2 Allmänt om GNSS

I dagligt tal används ofta GPS synonymt med satellitnavigering men eftersom att GPS enbart är ett utav de olika system som finns, så har förkortningen GNSS införts. GNSS står för Global Navigation Satellite Systems och är ett samlingsnamn för alla satellitbaserade positioneringssystem som finns.

GPS (Global Positioning System) är ett amerikanskt satellitnavigeringssystem, som från början var avsett för militärt bruk. Satelliterna rör sig i sex olika omloppsbanor drygt 20 000 km ovan jordytan. För att vara fullt operationellt, skall systemet ha 24 satelliter. I dagsläget (juni 2007) finns dock 30 st. [4], dels för att livslängden på dem varit längre än förväntat och dels för att en del experiment utförs. Satelliterna har en inklination på 55°, vilket innebär att de befinner sig i zenit mellan 55:e breddgraden på norra halvklotet och 55:e breddgraden på södra halvklotet [5]. På norra halvklotet motsvarar det ungefär södra Bornholms läge. Ju längre norrut

från Bornholm användaren befinner sig, desto lägre vinkel över horisonten har GPS-satelliterna.

Ryssland har också ett satellitnavigeringssystem, GLONASS (GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) som även det var militärt från början. I dagsläget finns det inte tillräckligt många GLONASS-satelliter för att kunna positionera sig enbart med hjälp av dessa [6] men om de används tillsammans med GPS-satelliterna kan de förkorta initialiseringstiden ("väntetiden" från det att instrumentet slås på till dess att det är mätklart) [7]. I norra Sverige kan GLONASS troligen möjliggöra GNSS-mätning på fler platser, t.ex. där tillgången till GPS-satelliter är för liten men det inte krävs mer än en eller två ytterligare satelliter. De ryska satelliterna har en högre inklinationsvinkel ( $64,8^\circ$ ) och når ända upp till Skellefteå innan de vänder söderut igen [8].

Ett europeiskt samarbete, Galileo, är operationellt inom några år (2011 om allt går enligt planerna) och blir ett globalt, civilt system. Inklinationsvinkeln kommer att ligga på  $56^\circ$ , d.v.s. något högre än för GPS. Kina har påbörjat uppskjutningen av satelliter i sitt heltäckande navigeringssystem, medan Japan skall förbättra täckningen i sina städer och dalar med satelliter som kompletterar GPS. I Indien planeras ett oberoende system med sju satelliter. [6]

## 2.1 Frekvenser

GPS-satelliterna sänder ut signaler på två olika frekvenser, kallade L1 och L2. "L" står för L-bandet och utgörs av ett visst frekvensområde (jämför med FM-bandet). Inom kort kommer det fler signaler, som t.ex. L5 för civil användning och även fler koder på existerande signaler, såsom en civil kod på L2 [8].

L1-signalen sänder P-kod och C/A-kod medan L2 endast sänder P-kod. P-koden (där "P" står för precise) är en militär kod och krypterad för civila användare. C/A-koden (Coarse Acquisition) är för civilt bruk och har lägre upplösning. Koderna, som sänds på L1:s och L2:s bärvåg innehåller data som kommer direkt från satelliten och gör att mottagaren kan identifiera satelliten. Även ett satellitmeddelande sänds ut på bärvågen och det innehåller bl.a. klockkorrektion, banddata för satelliten, information om jonosfären och en almanacka som berättar för mottagaren var de olika satelliterna befinner sig. Satellitmeddelandet skickas upp till satelliterna från de markbaserade kontrollstationer som övervakar systemet [5].

## 2.2 Felkällor

All GPS-mätning är behäftad med fel som kan finnas hos satelliterna, hos mottagaren eller i överföringen mellan satelliter och mottagare. *Klockfel* uppstår om mottagarklockan inte är synkroniserad med satellitklockan. Största delen av felet ligger i mottagaren, eftersom den klockan är av enklare kvalitet (vanligtvis kvartsur jämfört med satelliternas atomur).

*Störningar i jonosfären* ger upphov till fel genom att satellitsignalerna fördröjs när de passerar genom den. Signalerna störs av elektriskt laddade partiklar och felets storlek beror på solens aktivitet (som rör sig i 11-årscyklar) och tiden signalen färdas genom jonosfären [9]. Genom att inte mäta mot satelliter nära horisonten (satelliter med låg elevationsvinkel) så minskas felet. Även *troposfären* har en viss påverkan på signalerna men den är relativt liten. Genom att skapa atmosfärsmodeller, som det görs vid nätverksmätning, går det att beräkna fördröjningarna och därmed minimera felen.

*Bandatafel* uppstår när det finns avvikelser mellan satellitens förutspådda och verkliga bana. Jordens dragningskraft inte är sfärisk och det är främsta anledningen till att avvikelser förekommer men även solens och månens kraft kan påverka satellitbanorna. Den här typen av fel är svår att modellera men lätt att konstatera efteråt och kan elimineras genom efterberäkning av mätdata.

*Flervägsfel* kallas de falska signaler som reflekterande vattenytor och husfasader, bilar, höga byggnader m.m. kan skapa. GPS-mottagaren kan ofta skilja falska signaler från riktiga, därför att de falska ser annorlunda ut. Även antennens konstruktion kan bidra till att minska felet. Genom att försöka låta bli att mäta nära reflekterande ytor och att ställa in elevationsvinkeln på  $15^\circ$  i mottagaren, kan användaren minska inverkan storleken av flervägsfelet [9].

Positionsnoggrannheten påverkas även av antalet satelliter som är tillgängliga, hur satellitkonfigurationen ser ut, signalkvaliteten och eventuella sikthinder.

## 2.3 Kodmätning

Avståndet till satelliterna kan mätas på två olika sätt; genom kodmätning eller bärvågsmätning. Vid kodmätning mäter mottagaren den C/A- eller P-kod som satelliterna sänder ut på sin bärvåg. Samtidigt som GPS-mottagaren får tag på satellitsignalen, börjar den generera en signalkopia. Signalen innehåller tidsmarkeringar och genom att jämföra satellitsignalen med den genererade, kan en tidsskillnad bestämmas. Signalen färdas med

ljusets hastighet och i och med att tid och hastighet är kända, kan avståndet räknas ut.

Chiplängden är det som avgör positioneringsnoggrannheten vid kodmätning. Ett chip i C/A-koden är 292,6 meter långt, medan det i P-koden är 29,26 meter. Den teoretiska upplösningen är 1 % av chiplängden och det innebär att C/A-koden inte kan ge bättre noggrannhet än 2,9 meter och P-koden 0,3 meter [5]. Däremot kan noggrannheten förbättras genom efterberäkning eller genom att korrektionsdata tas emot av mottagaren samtidigt som mätningen sker (se 2.5 Differentiell GPS).

Detta sätt att mäta avståndet är mindre störningskänsligt än bärvågsmätning. Även om tillfälliga avbrott inträffar, så kan mottagaren räkna fram den tidsskillnad som behövs för att kunna bestämma ett avstånd. Det går även snabbare att få en första position med kodmätning.

## 2.4 Bärvågsmätning

Istället för att mäta den kodade signal som bärvågen sänder, mäter mottagaren direkt på bärvågen. Även vid detta sätt att mäta, genereras en kopia i mottagaren men på bärvågen finns inga tidsmarkeringar, såsom på koden. För att kunna räkna ut avståndet, måste mottagaren i stället ha kontinuerlig kontakt med satelliten en viss tid för att lösa periodobekanta (antalet hela bärvågor mellan mottagare och satellit) och del av våglängd. Periodobekanta bestäms genom att mottagaren får information från flera av satellitens epoker (positioner längs satellitbanan) medan del av våglängd räknas ut genom att jämföra fasskillnaden mellan satellitens och den genererade signalen.

När periodobekanta har lösts har GPS-mottagaren initialiserats, eller fått fixlösning. Uppstår det signalavbrott, t.ex. p.g.a. skymmande träd, så tappas fixlösningen och mottagaren måste på nytt låsa mot signalerna.

Den maximala upplösningen är 1 % av bärvågens längd. L1-signalen har en våglängd på 19 cm och L2 24 cm. Noggrannheten kan då, teoretiskt sett, komma ända ner till 2 mm [5]. Att den i praktiken aldrig gör det beror på att geometrin mellan satelliterna och mottagaren inte är tillräckligt bra och de felkällor som redovisades i avsnittet ovan.

## 2.5 Differentiell GPS

Differentiell GPS, även kallad DGPS, är ett sätt att förbättra noggrannheten vid kodmätning. Basstationer som står på kända platser samlar in data från satelliterna och jämför den positionen som beräknas med sina kända koordinater. Den differens som uppstår sänds ut som korrektioner t.ex. genom radions FM-band eller GSM-nätet, till de rörliga mottagare (rovers)

som mäter i närområdet. "Basstationerna" kan även vara geostationära satelliter och korrektionerna behöver inte sändas i realtid, utan kan tas med vid efterberäkning av data.

DGPS används mycket för sjöfartsnavigering, inom jordbruket, i motorfordon o. dyl. Den största tillväxten sker dock inom datainsamling och -uppdatering för GIS-tillämpningar [5].

För att korrektionsdata för rovers position skall kunna beräknas, måste basstation och rover samtidigt mäta mot minst fyra satelliter [10]. Avståndet mellan dem får inte heller vara för långt, eftersom att variationerna i atmosfären då blir för stora. Genom att använda sig av ett nätverk av basstationer kan avstånden vara längre, för då är det möjligt att skapa atmosfärmodeller som täcker större områden.

### **2.5.1 Nätverks-DGPS-tjänsten**

Nätverks-DGPS är en tjänst som tillhandahålls av SWEPOS och startade den 1 april 2006. Den ingår i Nätverks-RTK-abonnemanget men kan även köpas som egen tjänst. Ett examensarbete från 2006 visade på en noggrannhet på 3,4 dm i det förtätade SWEPOS-nätet och 4,2 dm i det glesare nätet [10]. Dessa mätningar utfördes med geodetisk GPS-utrustning.

Anslutning till tjänsten sker antingen via GSM eller via GPRS (mobilt Internet).

Korrektionerna sänds i formatet RTCM v. 2.3. RTCM är ett standardformat framtaget av the Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104.

## **2.6 RTK-mätning**

RTK är en förkortning av Real Time Kinematic och är den mest noggranna GNSS-mätmetoden. Avståndsmätningen sker direkt på satellitens bärvåg på både L1- och L2-frekvensen.

Det är en relativ mätmetod, vilket innebär att rovers position bestäms relativt en känd punkt, där en referensstation står och loggar satellitdata. Relativa mätmetoder kan ge en bättre noggrannhet i och med att det går att utesluta eller minimera många av de felkällor som försämrar positioneringen, på liknande sätt som för DGPS. Ett krav för att metoden skall fungera, är att referens och rover samtidigt har kontakt med, och mäter mot, samma satelliter.

Nätverks-RTK är en SWEPOS-tjänst där avståndet mellan basstationerna är så pass kort att en egen referensstation inte behövs. Nätverket är

fortfarande under utbyggnad och under detta år (2007) skall de sista förtätningarna göras. Då kommer även Jämtlands, Västernorrlands och Västerbottens län få tillgång till denna tjänst. Anslutning sker via GSM eller GPRS och korrektionerna sänds i formatet RTCM v. 2.3 eller det modernare och mer kompakta RTCM v. 3.0 [11]. Noggrannheten för Nätverks-RTK är 3 cm i plan [12].

## **3 GNSS-mottagare**

### **3.1 Enfrekvensmottagare**

Det finns flera typer av enfrekvensmottagare men de flesta mäter enbart C/A-koden som sänds på L1-frekvensen. Som det redan har nämnts, är noggrannheten i C/A-koden relativt låg. Därför används denna sorts mottagare till enklare tillämpningar, såsom handhållna utrustningar. Oftast så kan de bara ta emot data från GPS-satelliterna.

Genom att kunna ta emot korrektioner, förbättras positionsnoggrannheten men då krävs det att mottagaren har större minneskapacitet [5].

### **3.2 Tvåfrekvensmottagare**

Tvåfrekvensmottagare kallas även geodetiska mottagare. De mäter bärvågen både på L1- och L2-signalen. Många moderna mottagare kan hantera data både från GPS- och GLONASS-satelliter och en del äldre utrustningar går att uppgradera till att ta in även GLONASS. Prismässigt är de betydligt dyrare än enfrekvensmottagare men de ger å andra sidan en mycket bättre noggrannhet.

Jämfört med enfrekvensmottagare är tvåfrekvensutrustningarna bättre på att eliminera jonosfärsstörningar. Frekvenserna för L1 och L2 påverkas på olika sätt och genom att jämföra resultaten för respektive bärvåg kan felet skiljas ut.

## 4 Metod

All mätning gjordes i realtid, d.v.s. att ingen efterberäkning av data har skett. De situationer som undersöktes var inmätning och utsättning (uppsökning) av befintlig gränspunkt, samt utsättning av gränslinje. Punkterna och linjerna valdes på ett sådant sätt att de representerade olika siktförhållanden uppåt, detta för att se hur resultatet påverkades av t.ex. skymmande skog. Varje mätsituation utfördes vid två olika tillfällen, för att se vilken inverkan satellitkonfigurationen hade. Mätningarna genomfördes både med och utan extern antenn (en extern antenn höjer positionsnoggrannheten).

Varje punkt mättes in respektive sattes ut 10 gånger. För att göra mätningarna mer oberoende av varandra stängdes instrumentet av mellan varje mätning. Författaren utgick från olika väderstreck vid varje enskild mätning, för att riktningen inte skulle påverka resultatet.

Vid inmätning utan extern antenn placerades en stakkäpp i gränsröret för att det skulle bli lättare att mäta över rätt plats. Då mätning med extern antenn gjordes, var GPS-mottagaren monterad på en stång och extra markering av gränsröret var inte nödvändigt. Vid utsättning markerades navigerad punkt antingen med stakkäpp eller med markeringsspray, beroende på markförhållandena.

Linjerna markerades ungefär vart 10:e meter på en 100 meter lång sträcka. Var linjen kortare än så, sattes det ändå ut 10 st. markeringar men tätare. Också här gjordes markeringen med stakkäpp eller markeringsspray.

Utsättningarna som gjordes mättes in med RTK-utrustning för att kunna jämföras mot punktens eller linjens sanna läge. Där det inte gick att mäta med RTK, användes i stället en Geodolite 506 totalstation. I den här undersökningen anses RTK-mätning ge sanna värden, eftersom att det är den utrustningen som används i det dagliga arbetet med naturreservaten. Så fort kontrollinmätningen var utförd, togs markeringarna bort för att inte påverka efterföljande utsättningar.

Resultaten för punktmätningarna beräknas som radiella fel och redovisas med kvalitetsmått medelavvikelse, standardavvikelse och medelfel (se avsnitt 8.1 Kvalitetsangivelser och bilaga A). Resultaten från linjemätningarna beräknas som avvikelser vinkelrätt från den sanna linjen. I övrigt redovisas de på samma sätt som punktmätningarna.

Efter att fältmätningarna hade genomförts, undersöktes det hur överföring av information mellan GPS-mottagare och dator, respektive olika program i datorn, fungerade.



De ergonomiska aspekterna hade författaren i åtanke genom hela fältmätningstiden och antecknade allteftersom synpunkter och reflektioner dök upp.

## 5 Mätutrustning och programvara

### 5.1 GeoXT

GeoXT från Trimble är det instrument som har använts i fältmätningarna för denna rapport. Det är en ruggad handdator, utvecklad för datainsamling och -uppdatering i GIS-syfte. Den har en inbyggd GPS-mottagare, som enbart mäter koden på L1-signalen. GLONASS-signaler kan inte tas emot. Enligt instrumentspecifikationerna ger den en noggrannhet på under 1 m vid DGPS-mätning i realtid, mer noggrant om data efterberäknas. Vid mottagande av korrektioner från SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst, ligger noggrannheten i plan på 3,4 dm vid bra siktförhållanden och 4,3 dm då mer skymda platser tas med i beräkningarna [12]. Studien som kom fram till dessa resultat, genomfördes i det förtätade SWEPOS-nätet men med ett likadant instrument som i detta arbete. Extern antenn användes i samtliga av studiens mätningar.

Operativsystem är Windows Mobile 5.0, den väger 810 gram, har 512 MB inbyggt minne och plats för extra minneskort. Skärmen är en pekskärm. Instrumentet kopplas till datorn genom en dockningsstation med USB-kabel och dockningsstationen fungerar även som laddare. GeoXT har även Bluetooth och inbyggt trådlöst LAN [13].

GPS-korrektioner kan tas emot antingen via GSM eller GPRS.



Figur 1: GeoXT



Figur 2: Zephyr

Källa: [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

## 5.2 Zephyr extern antenn

En extern antenn ger högre noggrannhet i mätningarna och skall särskilt hjälpa till i svår terräng såsom skog och hög, tät bebyggelse [14]. Zephyr är en tvåfrekvensantenn som är framtagen för att komplettera Trimbles GeoXH (en handhållen tvåfrekvensmottagare). Eftersom fältmätningarna i det här arbetet görs med en enfrekvensmottagare, utnyttjas endast den ena av antennens två frekvenser. Enligt återförsäljaren skall detta varken förbättra eller försämra resultaten, jämfört med om en enfrekvensantenn hade använts.

Zephyr är 16,1 cm i diameter och 5,8 cm hög. Den väger 450 gram och fungerar i temperaturer mellan  $-40^{\circ}\text{C}$  och  $+70^{\circ}\text{C}$ . Den har ett inbyggt filter som skall förhindra flervägsfel [15].

Antennen kan monteras på en stång eller fästas i en ryggsäck. I den här undersökningen användes stång. En 1,5 meter lång kabel anslöt antennen till GPS-mottagaren.

## 5.3 Modem

Som modem användes en Sony Ericsson P990i mobiltelefon som kopplades till GeoXT via Bluetooth.

## 5.4 GPS Pathfinder Office 3.10

Pathfinder Office är Trimbles programvara för GIS-datainsamling. Användaren kan välja att hantera sina mätdata direkt i detta program eller exportera dem till något av de program Pathfinder Office konverterar till (t.ex. ESRI:s Shape, MapInfos MIF eller AutoCads dxf) [16]. Det går också att importera data av olika format.

För att kunna registrera data i GPS-mottagaren GeoXT måste en Data Dictionary-fil skapas. Det görs lättast i Pathfinder Office men det går även att göra direkt i GeoXT:s mätprogram TerraSync. Ett Data Dictionary är användarspecifikt – användaren skapar själv de olika objekt som skall mätas in respektive sättas ut. Det kan röra sig om fastighetsgränser, gångvägar, hushörn etc. och kan liknas vid den kodlista som används i Leica 1200. Attributdata specificeras under respektive objekt och det kan t.ex. vara punktnummer, datum och anteckning. Vid inmätning går det inte att lägga in objekt som inte har beskrivits tidigare, utan Data Dictionary måste då först redigeras. Redigeringen kan göras antingen i Pathfinder Office eller i TerraSync. Det är upp till användaren själv att bestämma om han/hon vill ha ett generellt Dictionary eller flera projektspecifika.

Pathfinder Office kan arbeta mot ArcPad också, i stället för TerraSync. Den möjligheten har inte provats i denna rapport.

I koordinatsystemsinställningarna går det att definiera geoidmodell och välja om höjdmätning skall redovisas från ellipsoiden eller från havsytan. Koordinatsystem från hela världen finns inlagda i programmet, dock inte SWEREF99. Inställningarna kan sedan exporteras till TerraSync.

Koordinater för utsättning av punkter och linjer, skapas som en waypointfil.

Inmätt data kan studeras både grafiskt och i textform. Koordinater, mätdatum och tidpunkt, antal satelliter, DOP-värden, korrektionstyp och precisionsdata framgår i fönstret Position Properties. Feature Properties visar attributdata som registrerats för objektet; vilken objekttyp det rör sig om, precisionsdata och antal positioner som har loggats (slutlig position beräknas automatiskt som ett medeltal). I Feature Properties kan redigeringar göras, om t.ex. den inmätta punkten har fått fel objekttyp. Mätdata lagras i Trimbles ssf-format (Standard Storage Format).

## 5.5 TerraSync Professional

TerraSync är namnet på den GPS-programvara som finns bl.a. i Trimbles GeoExplorer 2005-serie (som GeoXT hör till). Programmet är kompatibelt med Pathfinder Office. I Professional-utgåvan är det möjligt att lägga in bakgrundskartor som t.ex. flygfoton, satellitbilder eller Shapefiler [17].

Om det upptäcks fel eller brister i Data Dictionary eller om inställningarna för koordinatsystemet är felaktiga, kan redigeringar göras direkt i TerraSync. Även helt nya Dictionaries kan skapas.

Det finns fem olika fönster i programmet: Map, Data, Navigation, Status och Setup. Endast ett fönster i taget visas på en skärm i GeoXT:s storlek.

Vid utsättning går det att arbeta efter en helt grafisk bakgrund (Mapfönstret) där GPS-mottagaren visas som ett kryss i kartbilden, eller i navigationsfönstret som enbart visar GPS-mottagarens och utsättningspunktens positioner grafiskt men samtidigt ger avvikelser i textformat, t.ex. i avstånd och bäring eller norr- och östermått. Vid linjeutsättning kan användaren få ett sidomått från linjen, genom funktionen Cross-Track i navigationsfönstret.

Även i TerraSync lagras mätdata i ssf-format.

## 5.6 Trimble Planning

Trimble Planning är ett planeringsverktyg att jämföra med Satellite Availability i Leica Geo Office. Det går att både framåt och bakåt i tiden se

teoretiskt uppskattade satellitförhållanden för en viss dag och plats och med en given elevationsvinkel. Information som finns är bl.a. antal satelliter, vilka satelliter som är synliga vid vilken tid, satelliternas hälsotillstånd och olika DOP-värden. Även GLONASS-satelliter finns med.

Programmet användes för att kontrollera satellitförhållandena vid de utsättningar som gjordes i fältmätningarna. Vid utsättningarna registrerades inga mätdata, så förhållandena framgår inte vare sig i TerraSync eller i Pathfinder Office.

## **5.7 Leica GPS 1200**

Leica GPS 1200 är en geodetisk tvåfrekvensmottagare, en s.k. RTK-utrustning. Den uppfyller de strängaste noggrannhetskrav som ställs på fastighetsbildningsmätning, d.v.s. 30 mm i plan [2]. Det går att mäta både mot GPS- och GLONASS-satelliter.

Referensutrustningen består av ett stativ med trefot, GPS-antenn, sensor med batterier och radiomodem med tillhörande antenn. Radiomodemet möjliggör kontakt med rovern.

Roverutrustningen består av en ryggsäck med sensor, batterier och radiomodem med tillhörande antenn, samt GPS-antenn och handenhet monterade på en teleskopstång. Kablar går från ryggsäcken till handenheten och GPS-antennen.

Leica 1200 användes till att mäta in de utsättningar som gjordes med GeoXT, så att jämförelser mellan utsättningarna och sant värde kunde göras.

## **5.8 AutoKaPC**

Data som samlas in vid fastighetsbildnings- och naturreservatsmätning, läggs in i Lantmäteriets kartprogram AutoKaPC. De olika filformat som kan läsas in i programmet är begränsade. Det vanligaste är den så kallade k-filen men även dxf-filer (från AutoCad) i äldre format, K85, waypointfiler från hand-GPS och flyttfiler i Shapeformat går att lägga in.

## 6 Utvärdering av GeoXT och programvara

Det här avsnittet skall inte ses som en vetenskaplig rapport, utan det är författarens personliga uppfattning. Till skillnad från mätresultat, så är användarvänlighet svårt att beskriva i siffror, särskilt när det inte har gjorts någon jämförelsestudie. Utvärderingen tas ändå med som ett eget avsnitt eftersom dessa frågor är viktiga t.ex. vid val av olika mätutrustningar.

### 6.1 GeoXT

GeoXT har en Windowsplattform, vilket gör att de flesta användare snabbt känner igen sig. Byte mellan olika program görs enkelt via Startmenyn. Batterikapaciteten var god och räckte minst en hel dag, även då det var minusgrader. Vid solsken var det svårt att se vad bildskärmen visade men detta är ett problem många utrustningar har.

Det var lätt att komma igång med mätningarna. Utmaningen i början var att få tag på korrektionsdata igen efter att de förlorats, vilket hände relativt ofta. Anledningen till att korrektionerna tappas är inte känd men några orsaker kan vara dålig mobiltelefon täckning, tillfälligt avbrott på telekommunikationen eller störning från annan digital utrustning. Korrektionerna kommer inte tillbaka per automatik, utan måste hämtas manuellt. Tiden det tar från det att instrumentet startas tills det är redo att börja mäta, uppskattas till c:a 2-3 minuter. Då har Bluetoothen slagits på både i GeoXT och mobiltelefonen, Internetuppkoppling gjorts, mätprogrammet TerraSync startats, kontakt med satelliter etablerats och inmättnings- eller utsättningsfil öppnats. Vid RTK-mätning tar det omkring 10-15 minuter att komma igång, enligt dem som jobbar med detta vid Lantmäteriets Östersundskontor. Stativ skall ställas upp över referenspunkten, tillräcklig noggrannhet erhållas innan data börjar sändas till rovern, roverutrustningen skall monteras ihop, handenheten slås på, jobbfil skapas eller öppnas och fixlösning erhållas.

Vid flera tillfällen vägrade Bluetoothen i GeoXT att vara påslagen. Återförsäljaren har inte hört talas om detta problem tidigare och det avhjälpes genom att göra en reset av instrumentet.

Ibland krävs det att man lägger ifrån sig utrustningen och då är GeoXT smidigare än RTK i och med att det inte finns någon ryggsäck med sladdar kopplade till handenheten. Tyvärr är sladden mellan GeoXT och extern antenn mycket tunn och ger ett bräckligt intryck.

## 6.2 Ergonomi

Om användaren är höger- eller vänsterhänt spelar ingen roll när man arbetar med en GeoXT. Instrumentet är symmetriskt i sin utformning och vid montering på stång kan det fästas på antingen höger eller vänster sida.

Instrumentet är lite för brett för att passa bekvämt i en normalstor kvinnohand.

Efter en dags mätningar känns både armar, axlar och nacke något slitna. Instrumentet upplevdes som lite för tungt för att hanteras med en hand (vikten är 810 gram). Det underlättar då att man lätt kan byta hand att arbeta med. När mottagaren är monterad på stång blir belastningen mycket mindre men man förlorar å andra sidan lite av den smidighet som eftersträvas.

Det finns hjälpmedel framtagna speciellt för den här typen av instrument, såsom midjebälte med hållare, som avlastar armar och axlar. Några sådana har dock inte provats i den här undersökningen.

## 6.3 Programvara

Grundläggande handledning i form av övningar med instruktioner följde med både Pathfinder Office och TerraSync. Utifrån dessa fick man en förståelse för hur programmen fungerade och det var sedan lätt att lära sig resten själv. Instruktioner, menyer och hjälpfunktioner är på engelska för båda programmen.

I början saknade författaren mer textinformation i TerraSyncs kartfönster, såsom hur man ska röra sig för att navigera till en punkt (norr- och östermått), alternativt mer grafisk information i navigeringsfönstret så att det går lättare att orientera sig.

DOP-värden och satellitantal används ofta för att kontrollera att förhållandena är tillräckligt bra vid mätning. Tyvärr så framgår DOP-värden varken i datafönstret som används vid inmätning eller navigations- eller kartfönstren som används vid utsättning. Däremot visas antal satelliter och ett s.k. precisionsvärde som visar förväntad noggrannhet vid efterberäkning av data. Författaren är dock tveksam till tillförlitligheten i detta värde, då det kunde vara lika bra i tät skog som på öppen mark.

Vid inmätning registreras DOP-värdena och framgår då data har lästs in i Pathfinder Office. Om man vill veta hur satellitförhållandena såg ut vid en utsättning, går det att använda sig av Trimble Planning. De värden som visas i Trimble Planning är en teoretisk uppskattning och eventuella sikthinder där man har mätt påverkar satellitförhållandena. Elevationsvinkeln som anges i programmet, kan behöva höjas till 25° om

mätningarna gjorts i tät skog [18]. Vill användaren veta DOP-värdet samtidigt som mätning sker, måste statusfönstret öppnas.

## 6.4 Dataöverföring

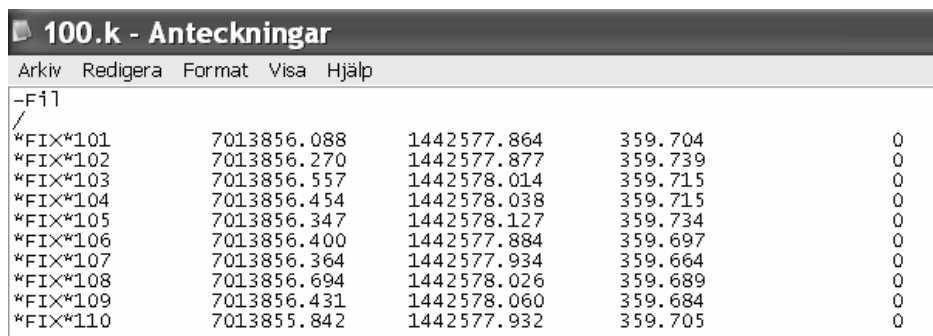
### 6.4.1 TerraSync till Pathfinder Office

Att överföra data mellan TerraSync och Pathfinder Office görs lättast genom att använda den dockningsstation som följer med GeoXT. I Pathfinder Office klickar användaren på Data Transfer-ikonet och väljer därefter vilka filer han/hon vill sända eller ta emot. Filer som inte tidigare har överförts från GeoXT, är markerade i överföringsfönstret, så att det enkelt går att se vilka nya filer som har mätts.

Det går också att överföra data via Bluetooth.

### 6.4.2 Pathfinder Office till AutoKaPC

I Pathfinder Office finns det många exporteringsformat att välj mellan, varav de flesta är olika GIS-program. Däremot är importformaten i AutoKaPC begränsade. Det är möjligt att ta in data från handhållen GPS men GeoXT och Pathfinder Office använder sig inte av det formatet. Därför är det enklast att skapa en k-fil av det data man vill importera i AutoKaPC.



The screenshot shows a window titled "100.k - Anteckningar" with a menu bar containing "Arkiv", "Redigera", "Format", "Visa", and "Hjälp". Below the menu bar, the text "-Fil" is visible. The main content area displays a table with five columns of data. The first column contains file names from \*FIX\*101 to \*FIX\*110. The second column contains a series of seven-digit numbers. The third column contains eight-digit numbers. The fourth column contains four-digit numbers. The fifth column contains the digit 0.

*FIX*101	7013856.088	1442577.864	359.704	0
*FIX*102	7013856.270	1442577.877	359.739	0
*FIX*103	7013856.557	1442578.014	359.715	0
*FIX*104	7013856.454	1442578.038	359.715	0
*FIX*105	7013856.347	1442578.127	359.734	0
*FIX*106	7013856.400	1442577.884	359.697	0
*FIX*107	7013856.364	1442577.934	359.664	0
*FIX*108	7013856.694	1442578.026	359.689	0
*FIX*109	7013856.431	1442578.060	359.684	0
*FIX*110	7013855.842	1442577.932	359.705	0

Figur 3: Skärmdump av k-fil

K-fil är inget standardformat och det går inte att direkt ta ut en sådan från Pathfinder Office. Det bästa är att skapa en ASCII-fil och ändra defaultinställningarna, så att den blir så lik k-filen som möjligt. Genom att ta bort information som inte behövs och byta ordning på det man vill ha, kvarstår inte mycket editering. De ändrade inställningarna går att lagra i Pathfinder Office och behöver sålunda bara göras en gång.

0205A.att - Anteckningar					
Arkiv	Redigera	Format	Visa	Hjälp	
_GRŽ_	1	_GRŽ_	7007642.388	1441250.534	333.086
_SMP_	415	_SMP_	7007657.226	1441235.752	311.075
_SMP_	417	_SMP_	7007661.248	1441224.064	310.681
_SMP_	418	_SMP_	7007677.209	1441227.711	312.181
_pol_	3021	_pol_	7007676.931	1441219.053	324.617
_pol_	2357	_pol_	7007677.698	1441213.851	312.475

Figur 4: Skärmdump av ASCII-fil

I sitt Data Dictionary rekommenderas det att döpa de olika objekttyperna till de detaljtypsbeteckningar som används i AutoKaPC, t.ex. \*GRÄ\* eller \*SMP\*, för att editeringen till k-fil ska gå ännu smidigare. Tyvärr kommer varken \* eller Å, Ä, Ö med i ASCII-filen men det går att ändra t.ex. med sök-och-ersättningsfunktionen i Ultra Edit.

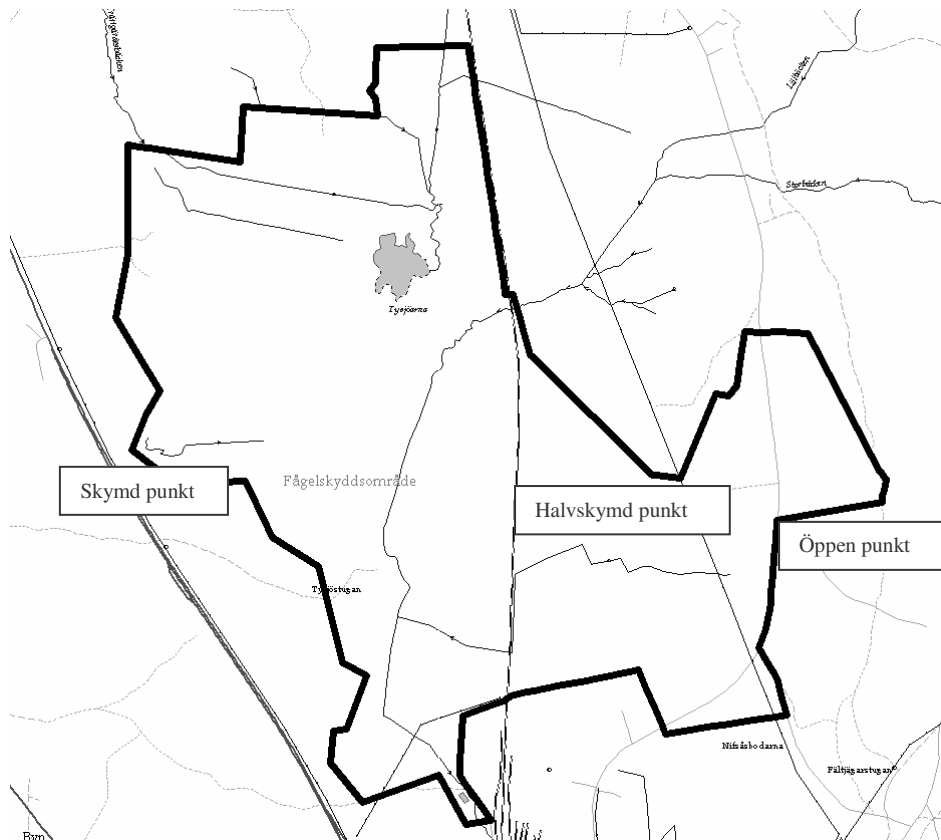
Det går även att direkt i GeoXT skriva sina mätdata till Shapefiler. Shapefilerna kan sedan konverteras till flyttfiler med hjälp av Lantmäteriets FME. Denna möjlighet undersöktes inte, eftersom att den kräver mer redigering än att skapa en k-fil från ASCII-formatet.

I Pathfinder Office går det att exportera data till dxf-format, ett format som också kan läsas in i AutoKaPC. Tyvärr använder sig Pathfinder av ett nyare format än vad AutoKaPC kan hantera.



## 7 Fältnätningar

Mätningarna utfördes i Tysjöarnas naturreservat i Östersunds kommun under 10 dagar i perioden 27 mars till 12 april 2007, delvis samtidigt som Lantmäteriets ordinarie naturreservatsarbete och delvis som enbart undersökningsmätningar.

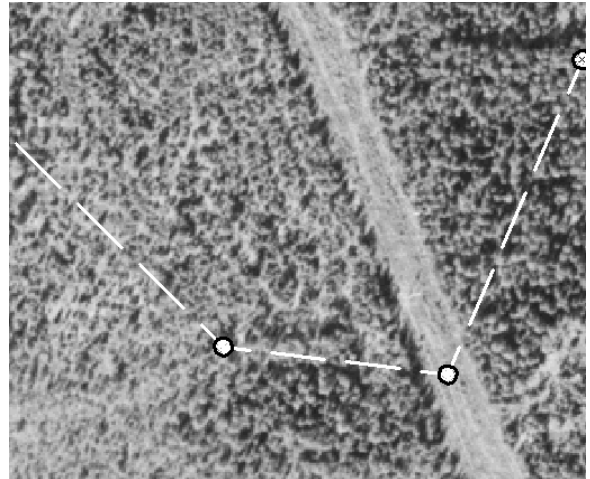


Figur 5: Tysjöarnas naturreservat

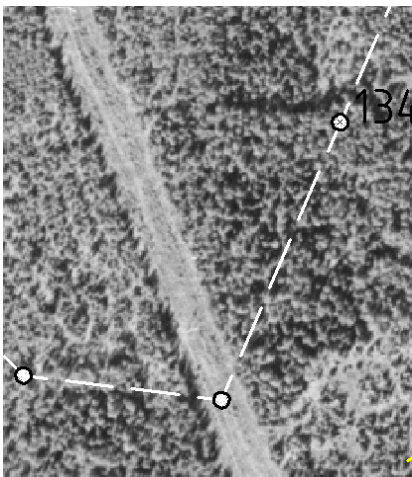
Mätningarna gjordes i tre sorters terräng: öppen, halvskymd och skymd. Öppen terräng innebar att varken träd eller höga buskar fanns i närheten, halvskymd terräng innebar gles skog medan den skymda omfattade tät och hög skog. Bilden för skymd punkt är något missvisande; punkten ligger inte i skogsbrynet utan inne i skogen.



Figur 6: Öppen punkt (cirkeln näst längst söderut) och öppen linje (från öppen punkt till nordligaste cirkel)

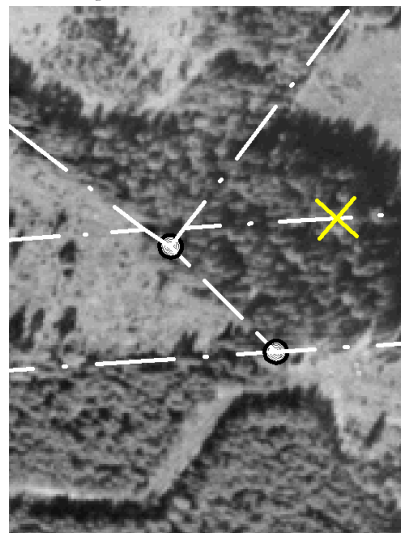


Figur 7: Halvskymd punkt i väster och halvskymd linje (från halvskymd punkt och österut)



Figur 8: Skymd linje (i nordostlig riktning)

Källa samtliga ortofoton: Lantmäteriet



Figur 9: Skymd punkt (cirkeln i nordväst)

Projektet med Tysjöarna påbörjades innan Lantmäteriet bytte koordinatsystem till SWEREF99. För att kunna jämföra undersökningsmätningarna med redan utfört arbete, och för att varken Pathfinder Office eller TerraSync har SWEREF99 förinlagt, gjordes mätningarna i RT90 2,5 G V. Elevationsvinkeln sattes till 10° och signal/brusförhållandet var minimum 20. Dessa inställningar behölls under alla mätningar även om bättre resultat kanske hade kunnat uppnås genom att ändra dem. Å andra sidan hade det blivit svårare att analysera och jämföra dem.

## 7.1 Förberedelser

Åke Sporrstedt vid Lantmäteriet Jämtlands län hade på förhand sett ut lämpliga platser att utföra mätningarna på. Förutom varierande terräng, skulle det även finnas mobiltelefon täckning så att korrektionerna för Nätverks-DGPS-tjänsten kunde tas emot.

Författaren skapade ett Data Dictionary och en fil med utsättningsdata (en s.k. waypointfil) i Pathfinder Office och överförde dem till GeoXT. Även en enkel bakgrundskarta i form av en Shapefil fördes över, för att underlätta orienteringen vid mätningarna.

## 7.2 Inmätning och utsättning

Totalt utfördes det 36 mätserier, där 12 st. var inmätningar och 24 st. utsättningar. De tre punkterna (öppen, halvskymd och skymd) mättes in och sattes ut fyra gånger vardera: förmiddag och eftermiddag utan extern antenn, samt förmiddag och eftermiddag med extern antenn. I varje serie gjordes 10 inmätningar respektive utsättningar (se även avsnitt 4 Metod). Inmätning gjordes i 10 sekunder med en loggning per sekund. Vid utsättning väntade författaren en stund, för att se att koordinaterna som GPS:en angav "stabiliserade sig", innan punkten markerades.

Även linjerna har blivit utsatta fyra gånger var, på samma sätt som punkterna.

## 8 Resultat vid mätning

### 8.1 Kvalitetsangivelser

Mätningarnas kvalitet redovisas i den här rapporten med tre olika termer: riktighet, precision och noggrannhet. För att lättare åskådliggöra resultaten visas i detta avsnitt endast noggrannheten, den kvalitet som anses vara den viktigaste i den här rapporten. Riktighet och precision, tillsammans med P-DOP och satellitantal vid mätning, återfinns i bilaga A. Där förklaras även uttrycken.

Noggrannheten visar en mätseries spridning kring det sanna värdet och beräknas för 68 % sannolikhet (68 % av alla mätningar ligger inom intervallet/värdet). Det sanna värdet har erhållits genom att mäta in respektive punkt (öppen, halvskymd och skymd) med RTK-utrustning.

Noggrannheten presenteras av *medelfelet*. Vid punktmätningarna har avvikelserna mellan uppmätt och sant värde i x- och y-led räknats ut för var och en av mätseriens 10 mätningar. Avvikelseerna kallas i det här fallet för *sant fel* och betecknas med bokstaven  $\varepsilon$ . Formeln lyder

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

där  $n$  står för antal mätningar.

För att få ett radiellt medelfel används formeln

$$\sqrt{[(\text{medelfel } x)^2 + (\text{medelfel } y)^2]}$$

Sant värde för linje räknades fram genom att dra en rät linje mellan de RTK-inmätta punkterna. Avvikelseerna beräknas sedan vinkelrätt ut från linjen, med positivt värde på höger sida och negativt på vänster sida. Medelfelet får man fram på samma sätt som för punktmätningarna med den skillnaden att ingen radiell avvikelse behöver räknas ut.

Ett lågt medelfel innebär en bra noggrannhet och att mätserien ligger väl samlad kring det sanna värdet.

## 8.2 Inmätning av punkt

Terrängtyp	Utan extern antenn			Med extern antenn		
	fm	em	fm & em	fm	em	fm & em
Öppet	0,24	0,48	0,38	0,14	0,14	0,14
Halvskymt	1,09	1,87	1,54	0,67	0,70	0,68
Skymt	1,30	4,51	3,32	1,02	1,12	1,07
Alla	0,99	2,83	2,12	0,71	0,77	0,74

Tabell 1: Medelfel i meter för inmätning av punkt

## 8.3 Utsättning av punkt

Terrängtyp	Utan extern antenn			Med extern antenn		
	fm	em	fm & em	fm	em	fm & em
Öppet	0,27	0,19	0,23	0,13	0,16	0,14
Halvskymt	0,99	0,46	0,77	0,66	0,31	0,51
Skymt	1,84	1,50	1,68	1,22	1,34	1,28
Alla	1,22	0,91	1,08	0,80	0,80	0,80

Tabell 2: Medelfel i meter för utsättning av punkt

## 8.4 Utsättning av linje

Terrängtyp	Utan extern antenn			Med extern antenn		
	fm	em	fm & em	fm	em	fm & em
Öppet	0,23	0,11	0,18	0,19	0,14	0,16
Öppet, pkt 1-5	0,10	0,13	0,11	0,07	0,06	0,06
Halvskymt	0,21	0,76	0,55	0,78	0,27	0,57
Skymt	0,62	0,80	0,71	0,37	0,38	0,38
Alla*	0,43	0,69	0,58	0,55	0,30	0,44

\*Från öppen linje är endast punkt 1-5 medräknade (se 9.3.1 Utsättning av öppen linje)

Tabell 3: Medelfel i meter för utsättning av linje

## 9 Diskussion

Noggrannhet och medelfel används nedan synonymt med varandra. Med DOP-värde menas enbart P-DOP.

Några systematiska fel har inte upptäckts i denna undersökning. Ett systematiskt fel utgörs t.ex. av felaktiga inställningar i instrumentet eller dålig kalibrering. Felen upptäcks genom att jämföra standardavvikelsen och medelfelet [12]. Har de liknande värden är mätningarna fria från den sortens fel.

### 9.1 Inmätning av punkt

#### 9.1.1 Inmätning av öppen punkt

Eftermiddagsmätningen utan extern antenn gav dubbelt så stora avvikelser som förmiddagen gjorde. Detta till trots för lägre DOP-värde och fler satelliter. En orsak kan kanske vara att det var den andra mätserien som genomfördes och att författaren inte var van vid instrumentet. Noggrannheten ligger antagligen närmare 2,4 dm än 4,7 dm. Ser man till de resultat som uppnåddes med extern antenn och vid utsättning utan extern antenn för samma punkt, förstärks denna hypotes.

Vid mätning med extern antenn, stämmer båda serierna bra överens. 1,4 dm i noggrannhet är troligtvis vad som kan förväntas.

#### 9.1.2 Inmätning av halvskymd punkt

DOP-värde och satellitantal var i stort sett lika vid mätningarna utan extern antenn, ändå är medelfelet nästan dubbelt så högt på eftermiddagsmätningen; 19 dm jämfört med 11 dm på förmiddagen. Om rör sig om naturliga variationer eller ovana vid instrumentet (denna mätserie var den fjärde i ordningen) är svårt att säga.

Resultaten med extern antenn var relativt lika i de båda mätningarna och noggrannheten borde ligga runt 7 dm.

#### 9.1.3 Inmätning av skymd punkt

Författaren hittar ingen förklaring till de höga avvikelserna (ett medelfel på 45 dm) i eftermiddagsmätningen utan extern antenn. DOP-värdet är ganska högt (3,8) men vid mätning med extern antenn gav samma DOP bra resultat. I Lantmäteriets rapport *Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst* rekommenderas ett högsta P-DOP på 4 vid basnivåmätning [19], så det bör inte vara något problem att mäta vid 3,8. Förmiddagen däremot gav ett lågt

medelfel, 13 dm. Den verkliga noggrannheten ligger troligen närmare 13 dm än 45 dm.

Resultaten vid mätning med extern antenn var mer enhetliga, med en noggrannhet på 10 respektive 11 dm.

Utan extern antenn hamnade 15 av 20 punkter öster om det sanna värdet, medan 16 av 20 låg norr om sant värde med extern antenn. Detta beror sannolikt mer på hur terrängen ser ut runtomkring punkten än på något systematisk fel i utrustningen, eftersom att samma mönster inte har kunnat ses vid de andra mätningarna.

## **9.2 Utsättning av punkt**

### **9.2.1 Utsättning av öppen punkt**

Resultaten från för- och eftermiddag stämmer bra överens och en noggrannhet på 2-3 dm anses rimlig vid mätning utan extern antenn.

Med extern ligger noggrannheten på ca 1,4 dm. De flesta värdena hamnade väster om det sanna (16 st. av 20), medan spridningen var jämnare då mätning gjordes utan extern antenn.

Resultaten för inmätning och utsättning av öppen punkt är av liknande storleksordning, både med och utan extern antenn.

### **9.2.2 Utsättning av halvskymd punkt**

Det fanns inga nämnvärda skillnader på förutsättningarna för mätningarna utan extern antenn men det blev ändå stor skillnad på resultaten, 5 resp. 10 dm i medelfel. Jämförs det med noggrannheten för inmätning av samma punkt (drygt 10 dm), är det det högre värdet som ligger närmast sanningen. Se resonemanget nedan om svårigheterna vid utsättningen.

Med extern antenn gav eftermiddagsmätningen en bättre noggrannhet; 3 dm jämfört med 7 dm på förmiddagen. Även här kan det vara så att det bättre värdet är missvisande, för jämfört med inmätning av samma punkt bör noggrannheten ligga omkring 7 dm.

Vid utsättning av öppen punkt gick det tydligt att se hur GPS-mottagaren räknade ner allteftersom den kom närmare den sökta punkten. Stannade man upp så stabiliserades koordinaterna/utsättningsdatan i navigationsfönstret. Då de mer skymda punkterna skulle sättas ut däremot, stabiliserades aldrig värdena, även om mottagaren hölls still. Detta gjorde det svårt att bestämma var någonstans den sökta punkten låg. Efter att ha rört sig inom ett mindre område där mottagaren överallt angivit att utsättningspunkten låg, uppskattades en sorts geografisk tyngdpunkt/medelpunkt och där sattes

markeringen. Vid efterföljande mätning var det inte säkert att man blev guidad till samma område, utan kunde hamna på någon annan plats i närheten.

Med tanke på hur stor betydelse författaren själv hade vid placeringen av markeringarna, är utsättningsresultaten osäkra och troligtvis beroende av vem som gjort utsättningen. Mätarens erfarenhet spelar sannolikt stor roll för resultatet – om problemet har upplevts tidigare går det nog lättare att se ett mönster i rörelserna.

### **9.2.3 Utsättning av skymd punkt**

I den skymda terrängen blev det ännu svårare att sätta ut punkterna – GPS-mottagaren kunde hoppa 10 meter i sina koordinatangivelser. Erfarenhet kan troligen ha en än större inverkan på resultatet, jämfört med den halvskymda punkten.

Mönstret från inmätningen, att denna punkt skulle få ett bättre resultat på förmiddagen då ingen extern användes, sågs inte vid utsättningen. Noggrannheten var omkring 17 dm utan extern antenn och c:a 13 dm med extern antenn.

Det kändes som om GeoXT gav något säkrare utsättningsdata då den externa antennen kopplades in och medelfelet blev även lite lägre jämfört med utan antenn.

Skogen kring den skymda punkten var så pass hög och tät att det inte gick att mäta in utsättningsmarkeringarna med RTK-utrustning, utan en totalstation användes i stället.

## **9.3 Utsättning av linje**

För att sätta ut linjerna skapades en referenslinje i GeoXT och instrumentet ställdes in på att visa avståndet till höger respektive vänster om linjen. För att vara mer säker på att markeringarna verkligen hamnade i linjen, rörde sig författaren in mot den både från höger och vänster. Sammanföll inte "nollpunkterna" gjordes fler försök och sedan eventuellt en liten medling innan markeringen gjordes.

Författaren tittade aldrig bakåt, för att se var markeringarna i linjen hade satts och på så sätt kunnat passa in punkterna, utan gick endast på vad GPS-mottagaren angav för position. I vanliga fall kan det vara en stor hjälp att se hur linjen har markerats, om det blir problem vid en punkt. I denna undersökning däremot, är det instrumentets prestanda som skall testas och författaren gick därför i största möjliga mån efter vad det angav.



### 9.3.1 Utsättning av öppen linje

Slutet av den öppna linjen har en del skog på västsidan. Därför har två olika resultat räknats ut; ett för hela linjen och ett för den första halvan. En majoritet av värdena ligger väster om den sanna linjen.

Ses det enbart till den första halvan av linjen, så ger den externa antennen en förbättring av resultatet; 0,6 dm jämfört med 1,1 dm utan. Även om man ser till linjen i helhet, förbättras resultatet av extern antenn men inte i samma utsträckning.

### 9.3.2 Utsättning av halvskymd linje

Linjeutsättningarna blev svårare i och med att sikten uppåt skymdes. Ibland var det svårt att avgöra var markeringarna skulle sättas, precis som för punktutsättningarna i skymd terräng. Till viss del är resultaten beroende av vem som gjort utsättningen men det är författarens intryck att linjerna var lättare att sätta ut än punkterna.

Vid mätning utan extern antenn blev det stora skillnader i noggrannheten. Det är särskilt en punkt i slutet av linjen av eftermiddagsmätningen som försämrar resultatet. Utesluts den ur beräkningarna förbättras noggrannheten från 7,6 dm till 4,6 dm. Vid en riktig utsättning tror författaren att punkten inte hade placerats på den plats den gjorde i undersökningen, eftersom det tydligt gick att se att den inte var i linje med de markeringar som redan hade satts. Anledningen till att den ändå markerades där, var att GPS-mottagaren visade att den befann sig mitt i linjen. Beräknas noggrannheten för både förmiddags- och eftermiddagsmätningen utan nämnda punkt, blir resultatet 3,5 dm (i stället för 5,5 dm) och det bedöms som troligare.

Även med extern antenn var det stora skillnader i resultaten och en punkt som tydligt avvek från linjen. Precis som vid mätningen utan extern antenn, hade markeringen troligtvis inte satts där instrumentet visade, eftersom att det syntes att den inte var i linje med de tidigare. Utesluts den ur beräkningarna, förbättras noggrannheten i förmiddagsmätningen från 7,8 dm till 5,9 dm. Den totala noggrannheten (både för- och eftermiddag) går då från 5,7 till 4,4 dm.

I denna linje har den externa antennen inte givit bättre resultat, något den gjort i alla de andra mätsituationerna.

### 9.3.3 Utsättning av skymd linje

Till trots för att markeringarnas placering många gånger var svåra att bestämma (se avsnittet ovan) var resultaten ganska väl samlade. Noggrannheten för mätning utan extern antenn ligger omkring 7 dm och med extern antenn kring 4 dm.

Det var stora bekymmer att mäta in markeringarna med RTK-utrustningen. Vid flera tillfällen krävdes många minuters väntan på fixlösning och en dag var det tvunget att ge upp för att sedan komma tillbaka dagen efter och fortsätta. Under samma tidsperiod som det inte var möjligt att använda RTK, gick det bra att mäta med enfrekvensmottagaren.

## 10 Slutsatser

Syftet med detta examensarbete var att besvara frågan om Nätverks-DGPS och enfrekvensmottagare kan effektivisera naturreservatsmätning. Vad gäller noggrannheten uppmättes den vid inmätning och utsättning av punkt till 0,7 respektive 0,8 meter då extern antenn användes. Då har inga förmildrande omständigheter räknats in. Det innebär att Lantmäteriets basnivåkrav för jord- och skogsbruksmark klaras, vilket är 1 meters noggrannhet. Vid naturreservatsuppdrag, opereras det dock ofta efter det strängare kravet 0,5 meter som gäller för höga markvärden. Naturvårdsverket använder sig av samma gränser, 0,5-1 meter och hänvisar till Lantmäteriets basnivåer.

För linjeutsättningen uppnåddes ett bättre resultat, 0,4 meter, då extern antenn användes. Även det strängare kravet uppfylls alltså. Anledningen till att linjerna fick en bättre noggrannhet, är troligtvis att det går att känna av terrängen på ett annat sätt än då punktutsättning görs. Är det skymd sikt där punkten ligger, är det svårt att få bra mätresultat. När en linje sätts ut däremot, är det fullt möjligt att ta ett stort kliv i linjens riktning och på så sätt undvika skymmande träd och få bättre noggrannhet.

Är det helt öppen terräng där mätningarna skall göras, t.ex. vid fjäll- eller myrreservat, visar den här undersökningen att tillräcklig noggrannhet uppnås även utan extern antenn. Vid skymd sikt rekommenderas det att använda extern antenn. Är användaren inne i riktigt tät skog, kanske en teleskopstång är att föredra.

Tidsbesparingar bedöms kunna göras med en enfrekvensmottagare. Det faktum att inga referensstationer behövs, att initialiseringstiden är kortare och att tillfälliga signalavbrott inte påverkar mätningarna såsom tappad fixlösning gör talar för detta. Däremot är användaren beroende av att mobiltelefon täckning finns, så att han/hon kan ta emot korrektionerna från Nätverks-DGPS-tjänsten.

Dataprogrammen som användes var lätta att lära sig och att överföra data till AutoKaPC fungerar ungefär likadant som för RTK-utrustningen, när inställningarna för export av ASCII-fil har justerats. Något författaren saknade, var att kunna se DOP-värden direkt i TerraSyncs fönster för inmätning och utsättning. Batterikapaciteten var bra; även vid minusgrader gick det att mäta

en hel dag. Att GeoXT upplevdes som lite för tung, avhjälpes genom att montera instrumentet på en stång eller använda något av de hjälpmedel som finns på marknaden.

En enfrekvensmottagare är mycket billigare än en tvåfrekvens. Råder det hög press på mätutrustningarna, kan enfrekvensmottagaren frigöra RTK-utrustningen till mätningar som kräver hög noggrannhet.

## **11 Rekommendationer till fortsatt arbete**

Till hösten 2007 är det planerat att Nätverks-DGPS och Nätverks-RTK skall vara operationellt i Jämtlands län. Som det nämndes tidigare i rapporten, kan man förvänta sig ett bättre resultat när mätningar utförs i det förtätade nätet jämfört med i det glesa. Därför är det ett förslag att göra om samma test när nätverket är i bruk.

Det har kommit enfrekvensmottagare som kan ta in GLONASS i tillägg till GPS-satelliter. Det vore intressant att se om ett sådant instrument ger andra resultat.

## Källförteckning

1. Division Fastighetsbildning (2007). *Budgetutfall 070430*. [Elektronisk]. Lantmäteriet. Tillgänglig: <<http://fweb.lmv.lm.se>> [2007-06-01]
2. Lantmäteriet (2002). *Basnivåer vid förrättningsmätning. LMV-rapport 2002:4*. Gävle: Lantmäteriet.
3. Naturvårdsverket (2003). *Utstakning och utmärkning av skyddade områden enligt Miljöbalken*. [Elektronisk]. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <<http://naturvardsverket.se/sv/>> [2007-06-01]
4. U.S. Coast Guard Navigation Center (2007). *GPS status*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <<http://www.navcen.uscg.gov/Default.htm>> [2007-06-01]
5. Van Sickle, Jan (2001). *GPS for Land Surveyors*. 2. uppl. New York: Taylor & Francis.
6. Norin, Dan (2007). *Nuläget vad gäller GPS, Galileo och GLONASS*. Seminarium vid MätKart 07 i Uppsala.
7. Johnsson, Fredrik & Wallerström, Mattias (2007). *En Nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS, LMV-rapport 2007:1*. Gävle: Lantmäteriet.
8. Lantmäteriet (2007). *GPS och annan mätningsteknik – GPS, GLONASS och Galileo – status*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <[http://www.lantmateriet.se/templates/LMV\\_Page.aspx?id=7361](http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=7361)> [2007-06-01]
9. Alexandersson, Jan (2006). Föreläsningsmaterial i kursen Geomatik III vid Högskolan Väst.
10. von Malmborg, Helena (2006). *Jämförelse av Epos och Nätverks-DGPS, LMV-rapport 2006:5*. Gävle: Lantmäteriet.
11. SWEPOS (2007). *Nätverks-RTK-tjänst*. [Elektronisk]. SWEPOS. Tillgänglig: <<http://swepos.lmv.lm.se/>> [2007-06-01]
12. Ahrenberg, Magnus & Olofsson, Andreas (2005). *En noggrannhetsjämförelse mellan Nätverks-RTK och Nätverks-DGPS, LMV-rapport 2005:3*. Gävle: Lantmäteriet.
13. Trimble (2007). *GeoXT handheld*. [Elektronisk]. Trimble. Tillgänglig: <<http://www.trimble.com/geoxt.shtml>> [2007-06-01]
14. Trimble (2007). *Trimble Hurricane Antenna*. [Elektronisk]. Trimble. Tillgänglig: <<http://www.trimble.com/hurricane.shtml>> [2007-06-01]
15. Trimble (2007). *Trimble Zephyr Antenna for Mapping and GIS*. [Elektronisk]. Trimble. Tillgänglig: <<http://www.trimble.com/zephyrmgis.shtml>> [2007-06-01]

16. Trimble (2007). *GPS Pathfinder Office Software* [Elektronisk]. Trimble. Tillgänglig: <<http://www.trimble.com/pathfinderoffice.shtml>> [2007-06-01]
17. Trimble (2007). *TerraSync Software*. [Elektronisk]. Trimble. Tillgänglig: <<http://www.trimble.com/terrasync.shtml>> [2007-06-01]
18. Holmgren, Bo-Göran (2007). [Muntlig källa]. Gävle: Lantmäteriet [2007-05-24]
19. Norin, D., Engfeldt, A., Johansson, D., Lilje, C. (2006) *Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst LMV-rapport 2006:2*. 2. uppl. Gävle: Lantmäteriet

## A Utförliga resultattabeller

Enligt Lantmäteriets bok *HMK Geodesi, Stommätning* (1996) används ofta tre termer för att beskriva mätningars kvalitet: riktighet, precision och noggrannhet.

Sanna värden att jämföra mätningarna mot, har fåtts genom att mäta in respektive punkt (öppen, halvskymd och skymd) med RTK-utrustning. Avvikelseerna mellan uppmätt och sant värde i x- respektive y-led har sedan räknats ut för varje enskild mätning för punktinmätning och -utsättning. Sant värde för linje räknades fram genom att dra en rät linje mellan de RTK-inmätta punkterna. Linjeavvikelseerna beräknas vinkelrätt ut från linjen, med positivt värde på höger sida och negativt på vänster sida. De här avvikelseerna ligger sedan till grund för måtten på riktighet, precision och noggrannhet.

*Riktigheten* anger mätvärdenas genomsnittliga överrensstämmelse med det sanna värdet. Den räknas ut som ett vanligt medelvärde och kallas *medelavvikelse*. Formeln ser ut så här:

$$\frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}$$

där  $l$  är skillnaden mellan uppmätt och sant värde och  $n$  är antalet mätningar.

För att få ett radiellt mått används formeln:

$$\sqrt{[(\text{medelavvikelse } x)^2 + (\text{medelavvikelse } y)^2]}$$

*Precisionen* anger hur stor spridning de enskilda mätningarna har kring seriens medelavvikelse (medelvärde). Den beräknas för 68 % sannolikhet, d.v.s. att 68 % av mätseriens mätningar ligger inom intervallet/värdet. Formeln är:

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

där  $v$  är förbättringen (avvikelsen mellan uppmätt värde och seriens medelvärde) och  $n$  antalet mätningar

För att få det radiella värdet används formeln:

$$\sqrt{[(\text{standardavvikelse } x)^2 + (\text{standardavvikelse } y)^2]}$$

*Noggrannheten* visar en mätseries spridning kring det sanna värdet och även den beräknas på 68 %-nivå. Noggrannheten presenteras av *medelfelet*. Formeln lyder:

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

där  $\varepsilon$  står för det sanna felet (avvikelsen mellan uppmätt och sant värde) och  $n$  antal mätningar.

För att få ett radiellt medelfel används formeln:

$$\sqrt{[(\text{medelfel } x)^2 + (\text{medelfel } y)^2]}$$

För linjerna beräknas inga radiella fel, eftersom att det bara finns en avvikelse (sidomåttet till den sanna linjen).

### Inmätning av punkt

ÖPPEN PUNKT	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	0,01	0,25	0,24	2,9	6
Utan extern antenn, em	0,19	0,46	0,48	1,9	9
Utan extern antenn, fm & em	0,09	0,38	0,38	2,4	7
Med extern antenn, fm	0,03	0,14	0,14	2,1	8
Med extern antenn, em	0,06	0,13	0,14	1,8	10
Med extern antenn, fm & em	0,03	0,14	0,14	2,0	9

HALVSKYMD PUNKT	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	0,46	1,05	1,09	2,9	7
Utan extern antenn, em	0,31	1,95	1,87	2,6	8
Utan extern antenn, fm & em	0,12	1,57	1,54	2,8	7
Med extern antenn, fm	0,26	0,65	0,67	2,1	10
Med extern antenn, em	0,41	0,60	0,70	1,9	10
Med extern antenn, fm & em	0,26	0,65	0,68	2,0	10

SKYMD PUNKT	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	0,50	1,26	1,30	3,3	6
Utan extern antenn, em	1,77	4,37	4,51	3,8	7
Utan extern antenn, fm & em	1,03	3,24	3,32	3,6	6
Med extern antenn, fm	0,01	1,08	1,02	3,8	8
Med extern antenn, em	0,61	0,99	1,12	2,2	10
Med extern antenn, fm & em	0,30	1,06	1,07	3,0	9

Enheten är meter

## Utsättning av punkt

<b>ÖPPEN PUNKT</b>	<b>Medelavv.</b>	<b>Standardavv.</b>	<b>Medelfel</b>	<b>P-DOP</b>	<b>Sat.</b>
Utan extern antenn, fm	0,13	0,26	0,27	2,0	9
Utan extern antenn, em	0,09	0,17	0,19	1,8	10
Utan extern antenn, fm & em	0,05	0,23	0,23	1,9	10
Med extern antenn, fm	0,11	0,07	0,13	2,4	8
Med extern antenn, em	0,05	0,16	0,16	2,2	7
Med extern antenn, fm & em	0,07	0,13	0,14	2,3	7

<b>HALVSKYMD PUNKT</b>	<b>Medelavv.</b>	<b>Standardavv.</b>	<b>Medelfel</b>	<b>P-DOP</b>	<b>Sat.</b>
Utan extern antenn, fm	0,28	1,00	0,99	2,3	8
Utan extern antenn, em	0,19	0,44	0,46	3,5	7
Utan extern antenn, fm & em	0,20	0,77	0,77	2,9	7
Med extern antenn, fm	0,32	0,61	0,66	2,3	8
Med extern antenn, em	0,18	0,26	0,31	1,8	8
Med extern antenn, fm & em	0,24	0,47	0,51	2,1	8

<b>SKYMD PUNKT</b>	<b>Medelavv.</b>	<b>Standardavv.</b>	<b>Medelfel</b>	<b>P-DOP</b>	<b>Sat.</b>
Utan extern antenn, fm	0,81	1,74	1,84	2,3	7
Utan extern antenn, em	0,44	1,51	1,50	1,7	7
Utan extern antenn, fm & em	0,19	1,71	1,68	2,0	7
Med extern antenn, fm	0,72	1,03	1,22	1,8	8
Med extern antenn, em	0,73	1,18	1,34	3,4	7
Med extern antenn, fm & em	0,70	1,10	1,28	2,6	7

Enheten är meter



## Utsättning av linje

ÖPPEN LINJE	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	-0,14	0,19	0,23	2,8	6
Utan extern antenn, em	-0,05	0,11	0,11	2,5	7
Utan extern antenn, fm & em	-0,09	0,16	0,18	2,7	6
Med extern antenn, fm	-0,06	0,19	0,19	1,9	9
Med extern antenn, em	-0,10	0,10	0,14	2,8	7
Med extern antenn, fm & em	-0,08	0,15	0,16	2,4	8

ÖPPEN LINJE*	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	-0,08	0,05	0,10	2,8	6
Utan extern antenn, em	-0,07	0,12	0,13	2,5	7
Utan extern antenn, fm & em	-0,08	0,09	0,11	2,7	6
Med extern antenn, fm	0,06	0,03	0,07	1,9	9
Med extern antenn, em	-0,05	0,02	0,06	2,8	7
Med extern antenn, fm & em	0,01	0,07	0,06	2,4	8

\*Punkt 1-5

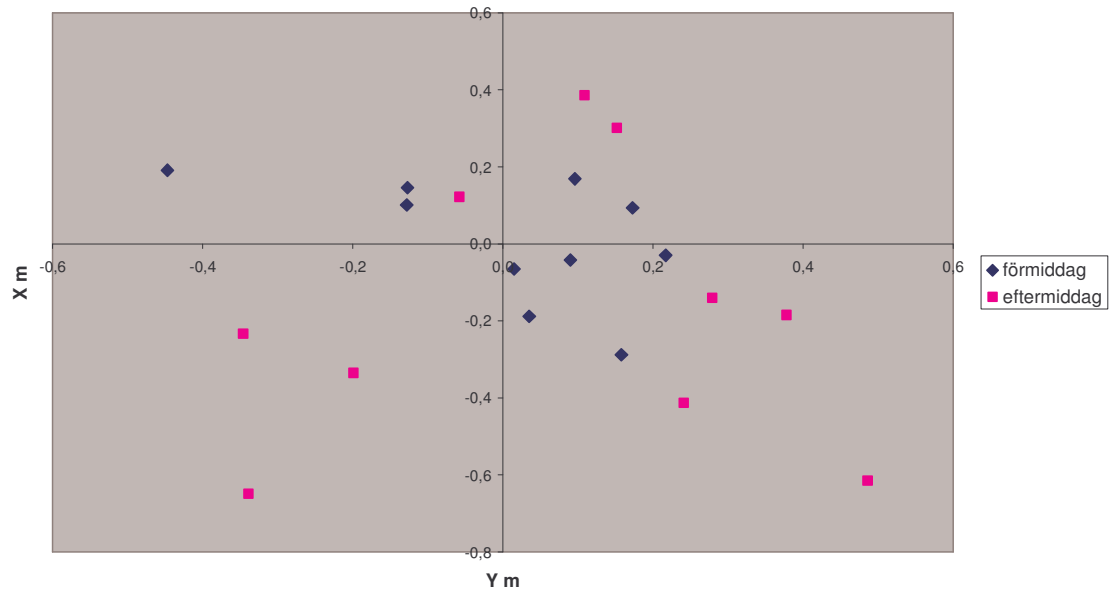
HALVSKYMD LINJE	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	-0,03	0,22	0,21	2,8	7
Utan extern antenn, em	0,03	0,81	0,76	1,9	8
Utan extern antenn, fm & em	0,003	0,57	0,55	2,4	7
Med extern antenn, fm	0,61	0,52	0,78	2,4	8
Med extern antenn, em	0,01	0,28	0,27	1,7	10
Med extern antenn, fm & em	0,29	0,50	0,57	2,1	9

SKYMD LINJE	Medelavv.	Standardavv.	Medelfel	P-DOP	Sat.
Utan extern antenn, fm	0,19	0,62	0,62	2,2	8
Utan extern antenn, em	0,15	0,83	0,80	1,7	9
Utan extern antenn, fm & em	0,17	0,71	0,71	2,0	8
Med extern antenn, fm	-0,14	0,36	0,37	2,3	7
Med extern antenn, em	0,02	0,40	0,38	2,6	7
Med extern antenn, fm & em	-0,06	0,38	0,38	2,5	7

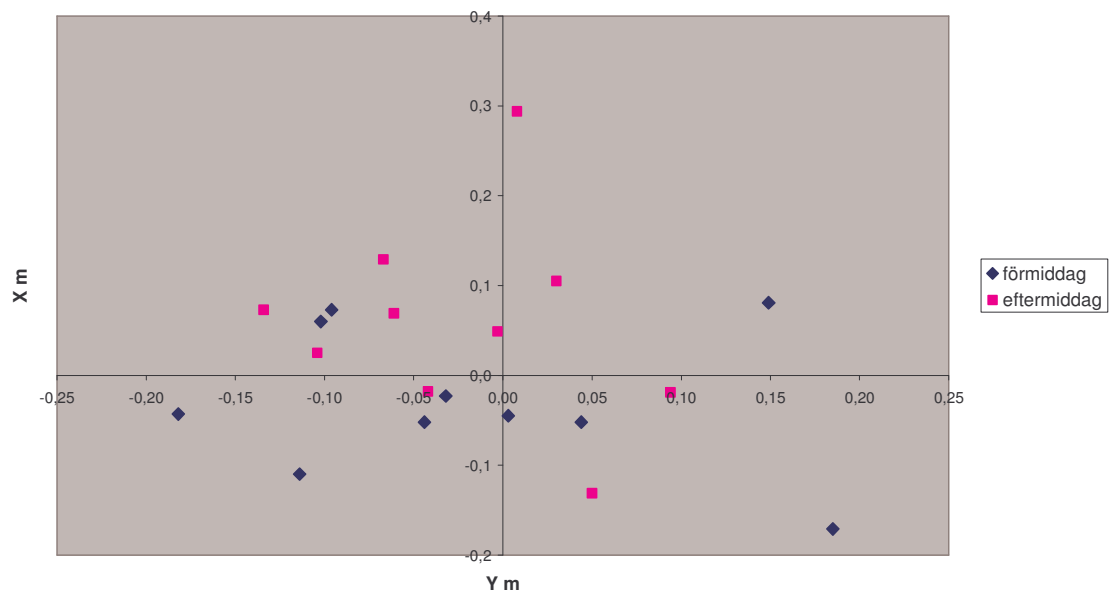
Enheten är meter

## B Avvikelser i plan

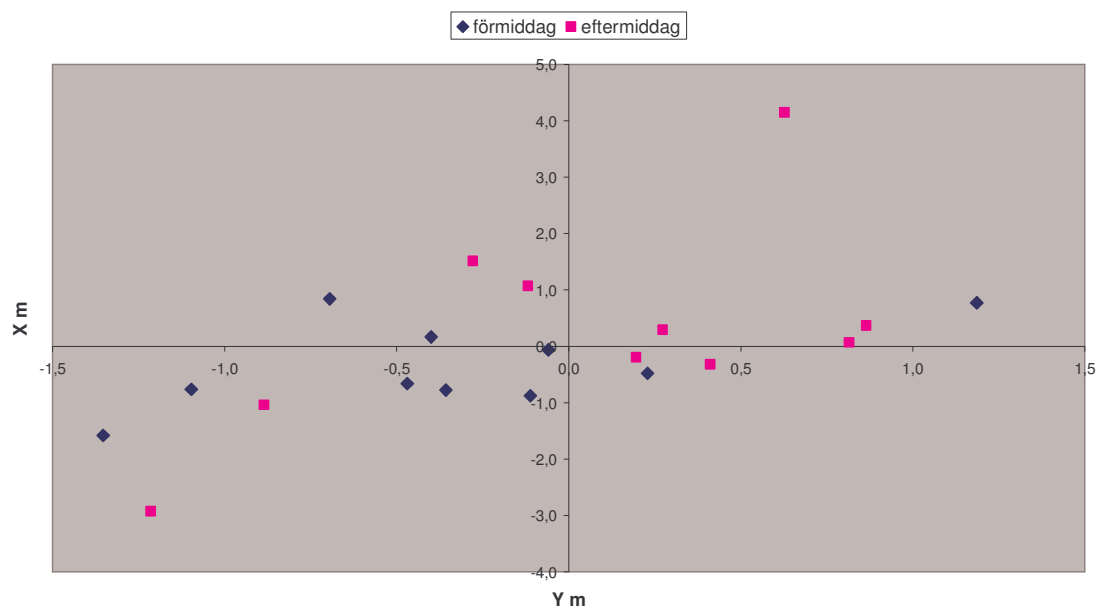
Inmätning av öppen punkt utan extern antenn



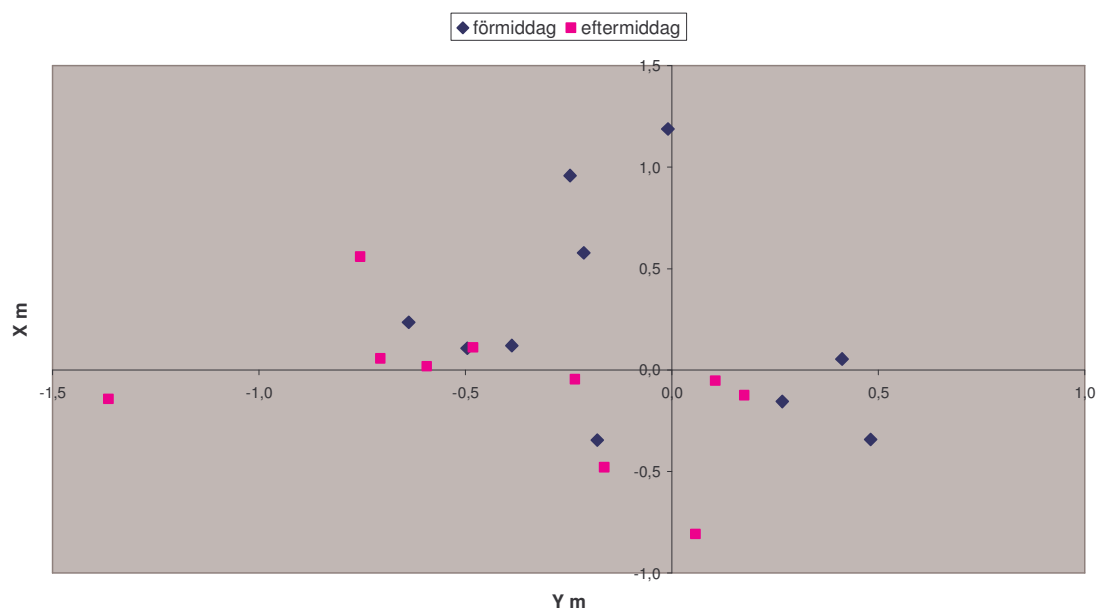
Inmätning av öppen punkt med extern antenn



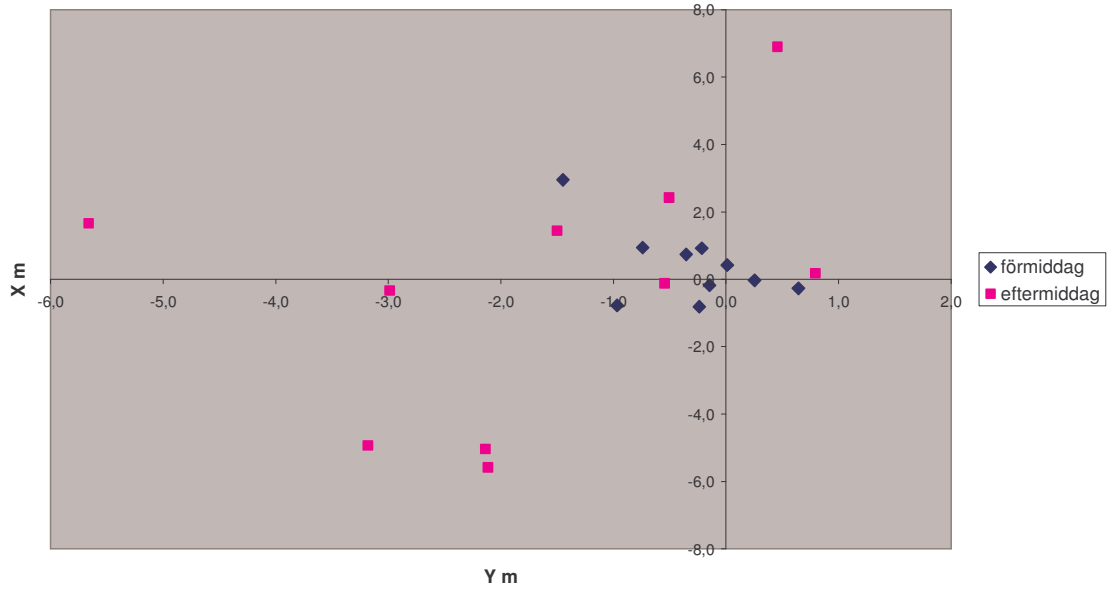
### Inmätning av halvskymd punkt utan extern antenn



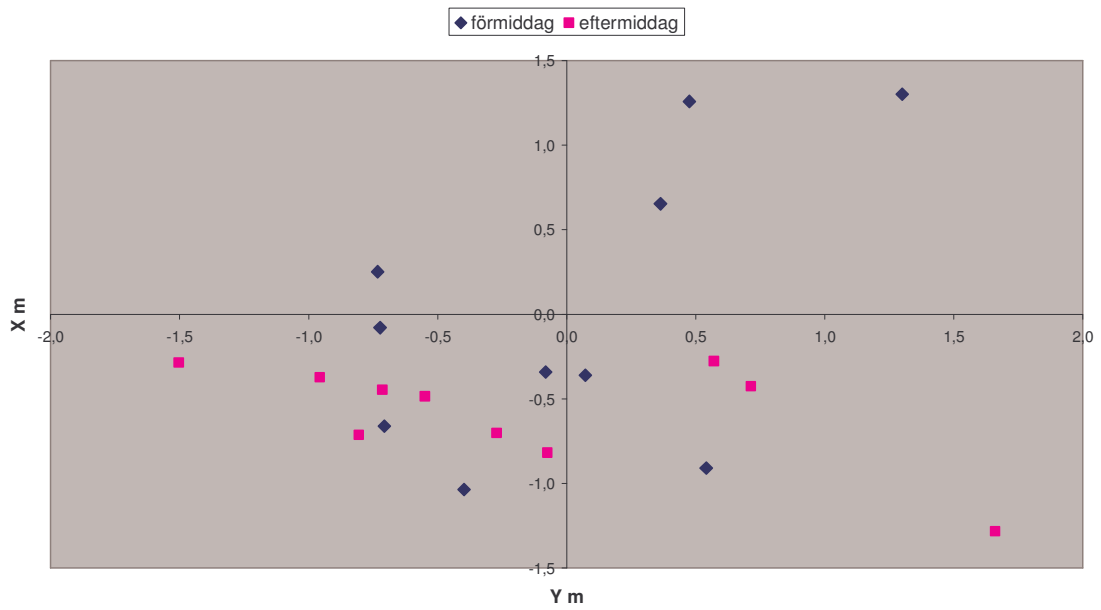
### Inmätning av halvskymd punkt med extern antenn



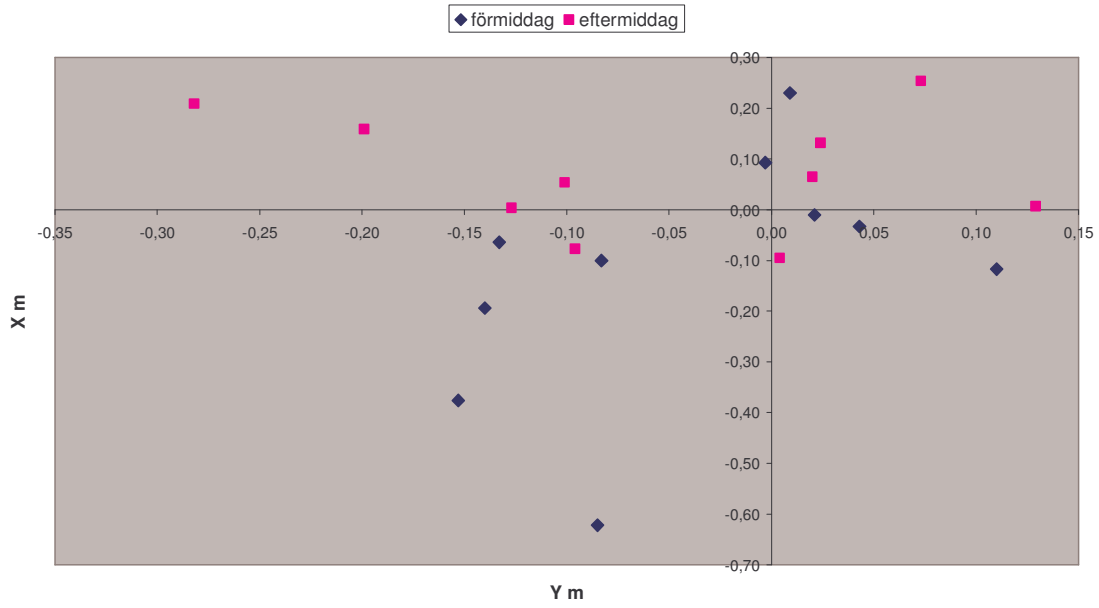
### Inmätning av skydd punkt utan extern antenn



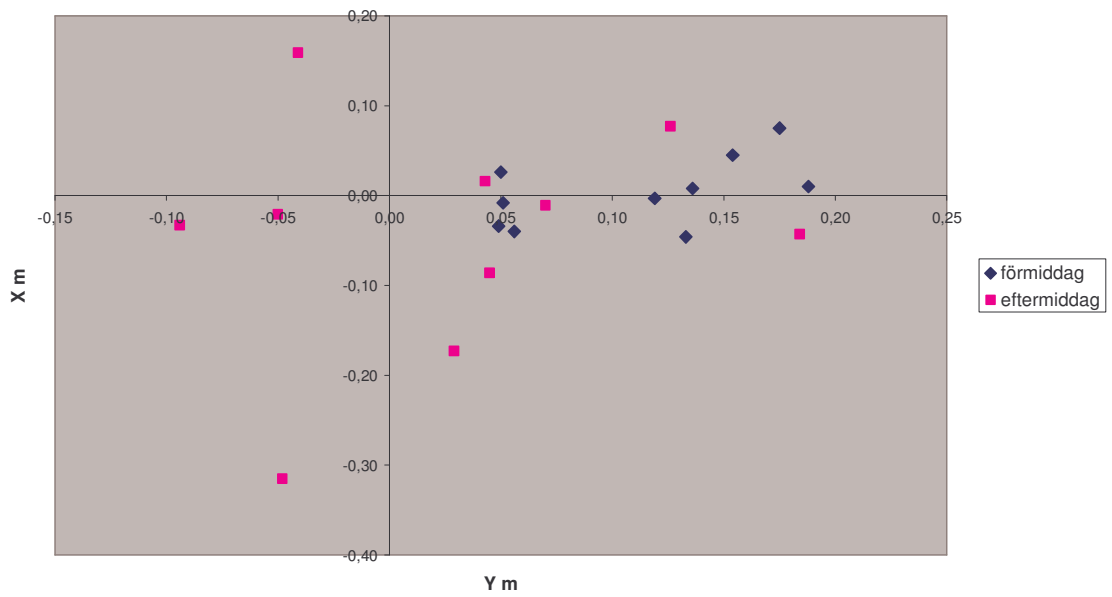
### Inmätning av skydd punkt med extern antenn



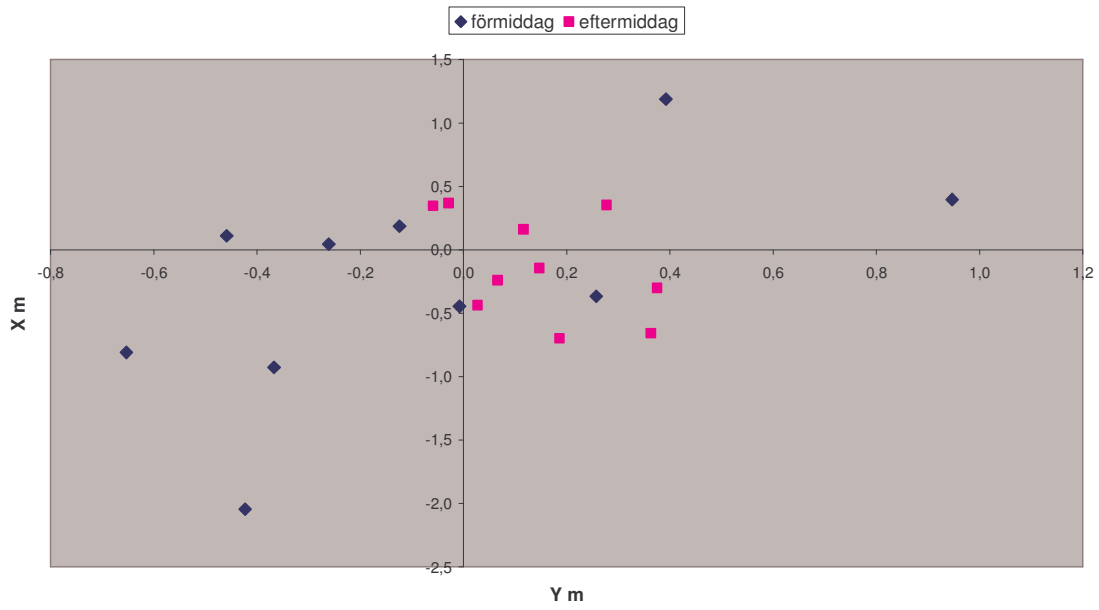
### Utsättning av öppen punkt utan extern antenn



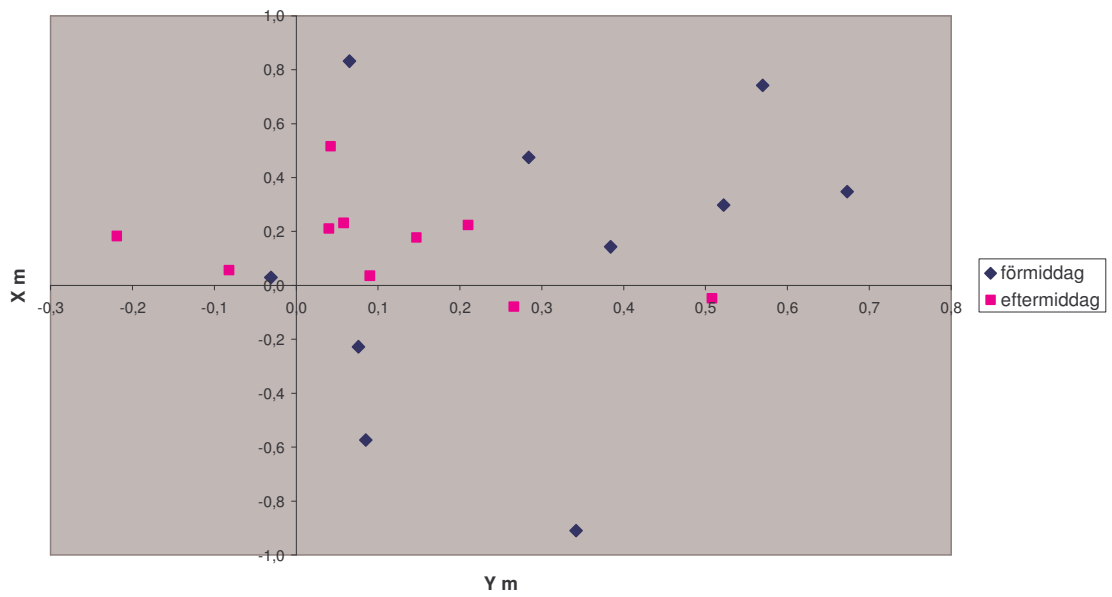
### Utsättning av öppen punkt med extern antenn



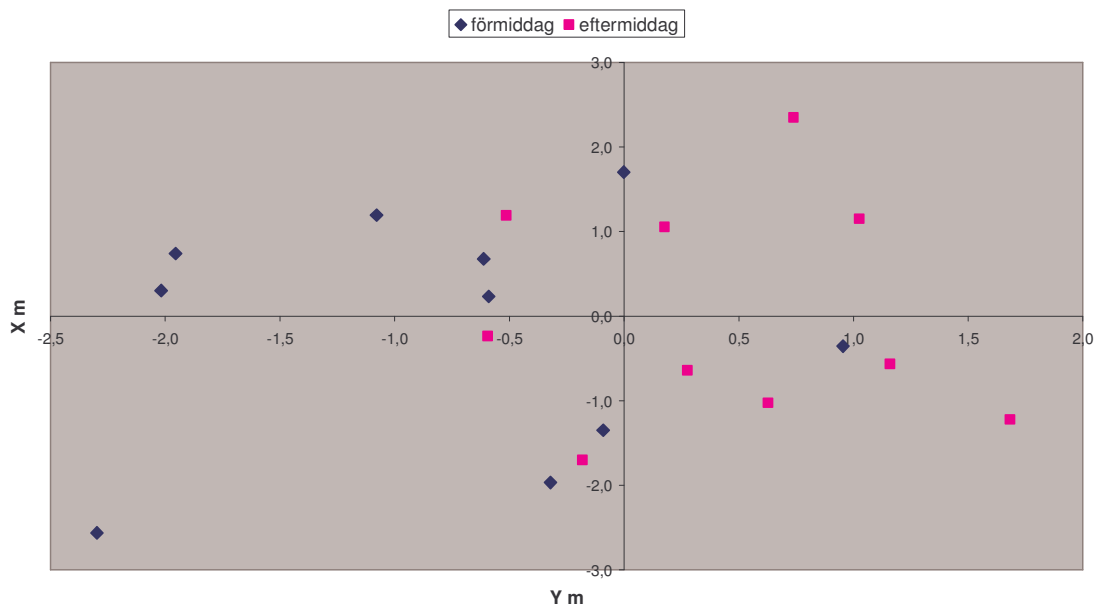
### Utsättning av halvskymd punkt utan extern antenn



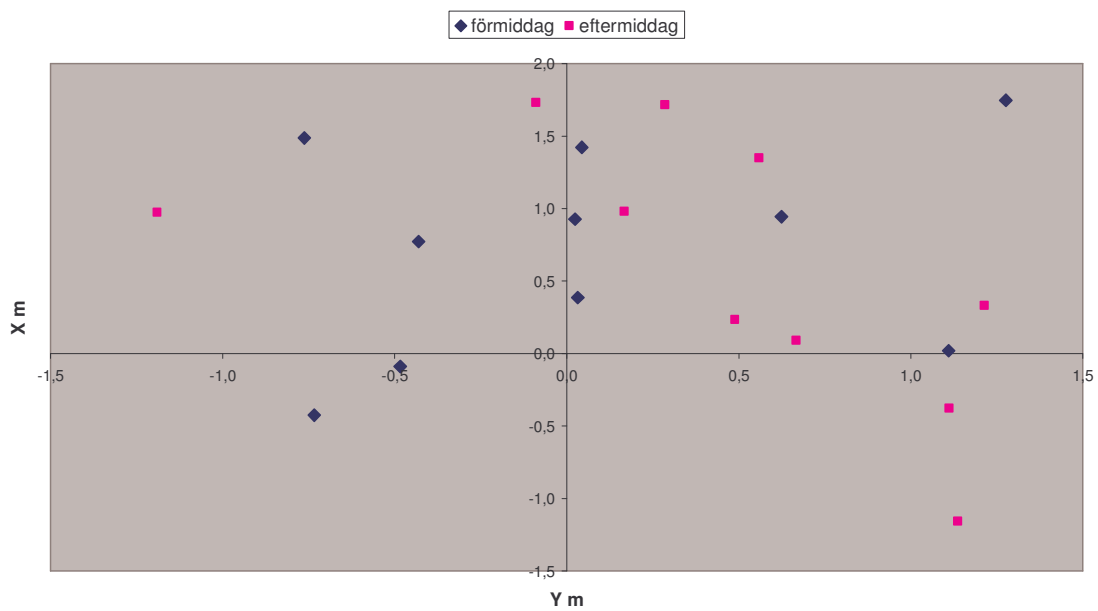
### Utsättning av halvskymd punkt med extern antenn



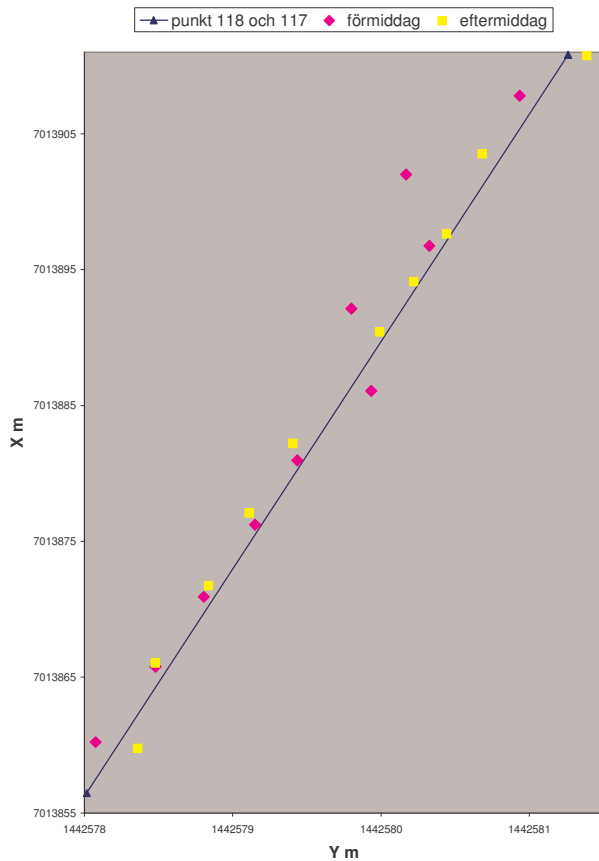
### Utsättning av skyld punkt utan extern antenn



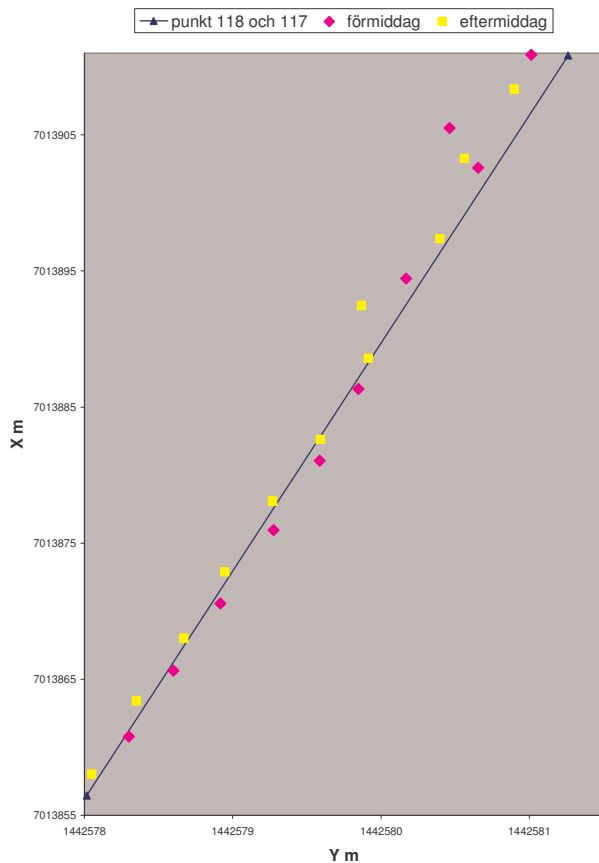
### Utsättning av skyld punkt med extern antenn



### Utsättning av öppen linje utan extern antenn

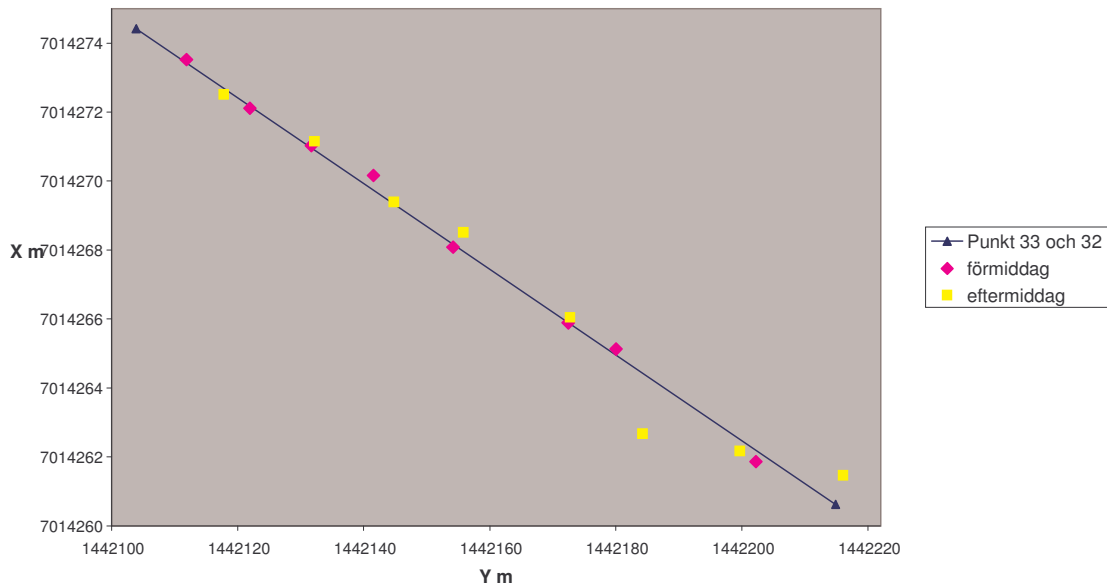


### Utsättning av öppen linje med extern antenn

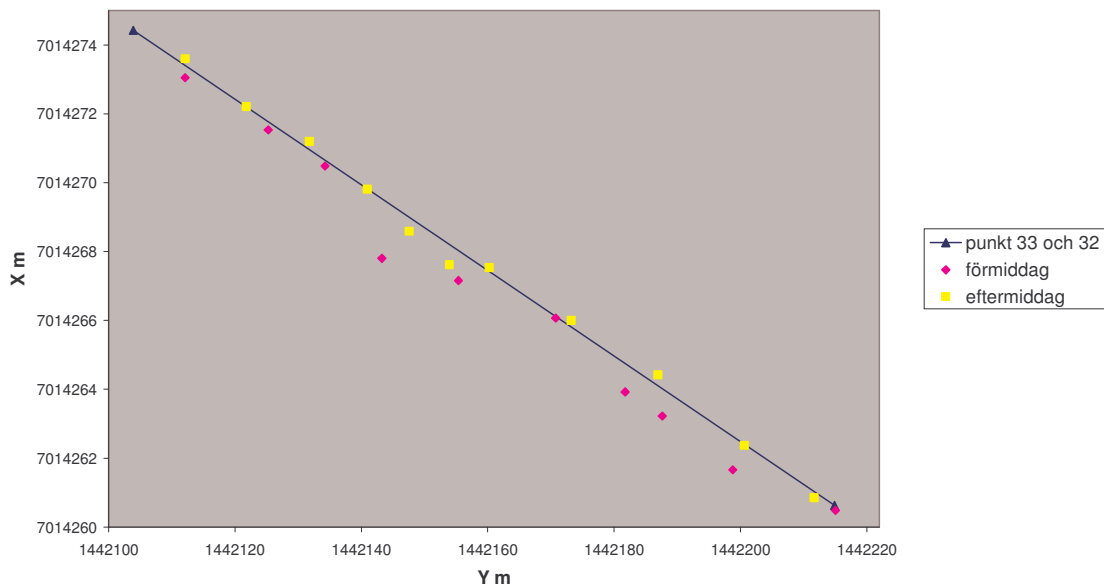




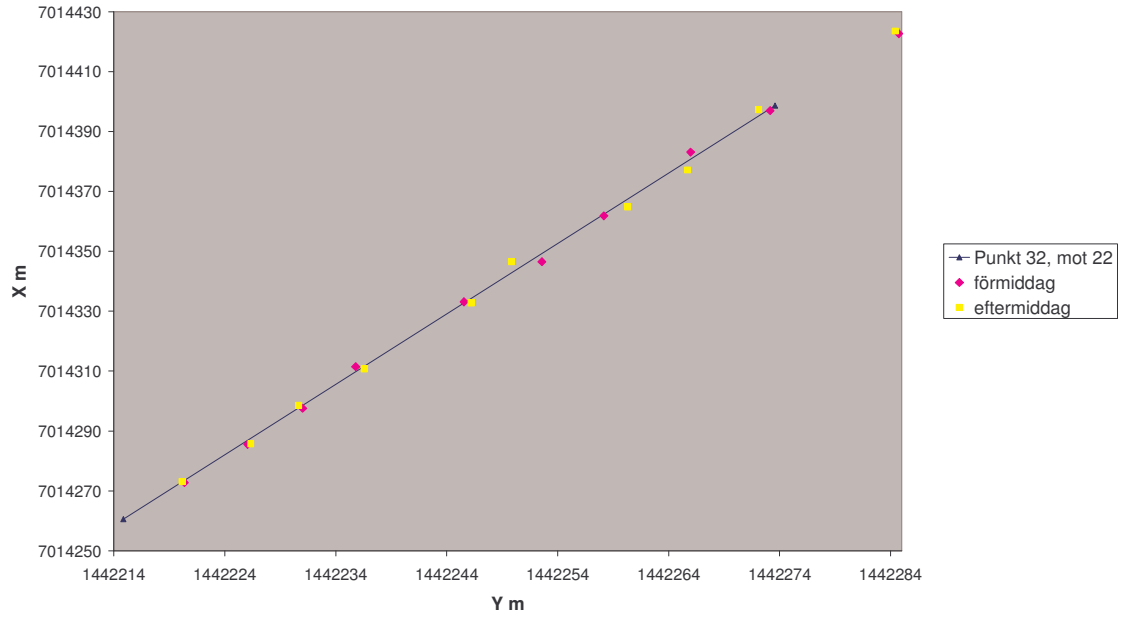
### Utsättning av halvskymd linje utan extern antenn



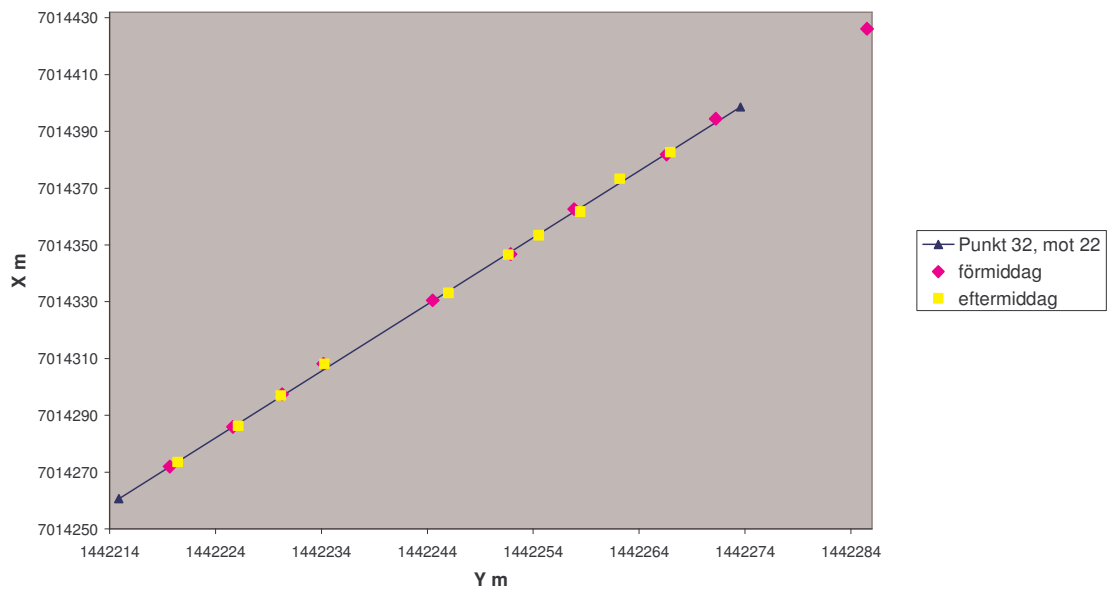
### Utsättning av halvskymd linje med extern antenn



### Utsättning av skynd linje utan extern antenn

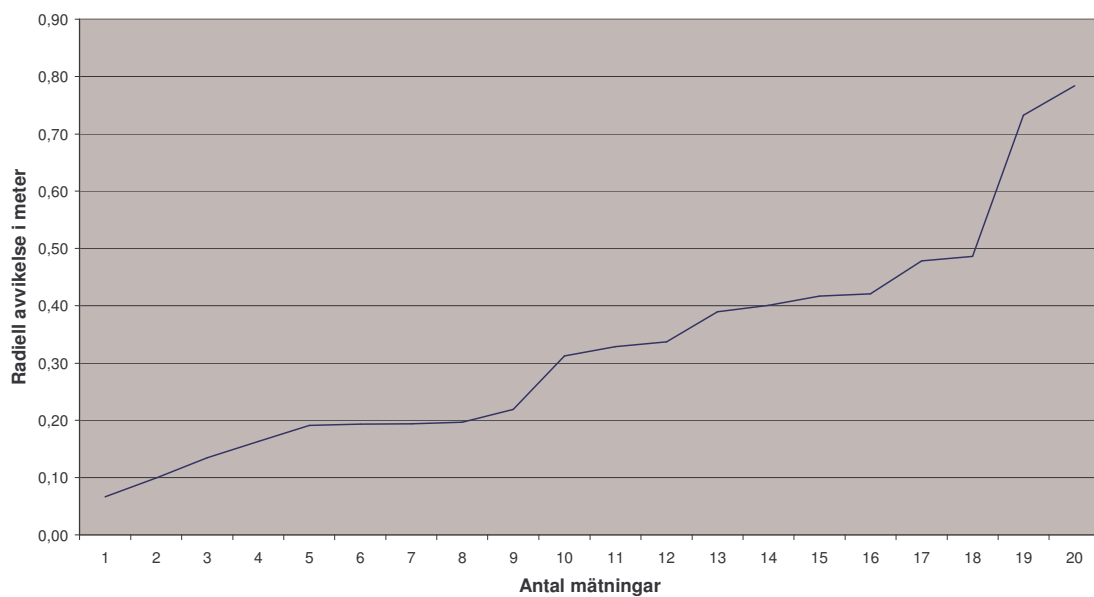


### Utsättning av skynd linje med extern antenn

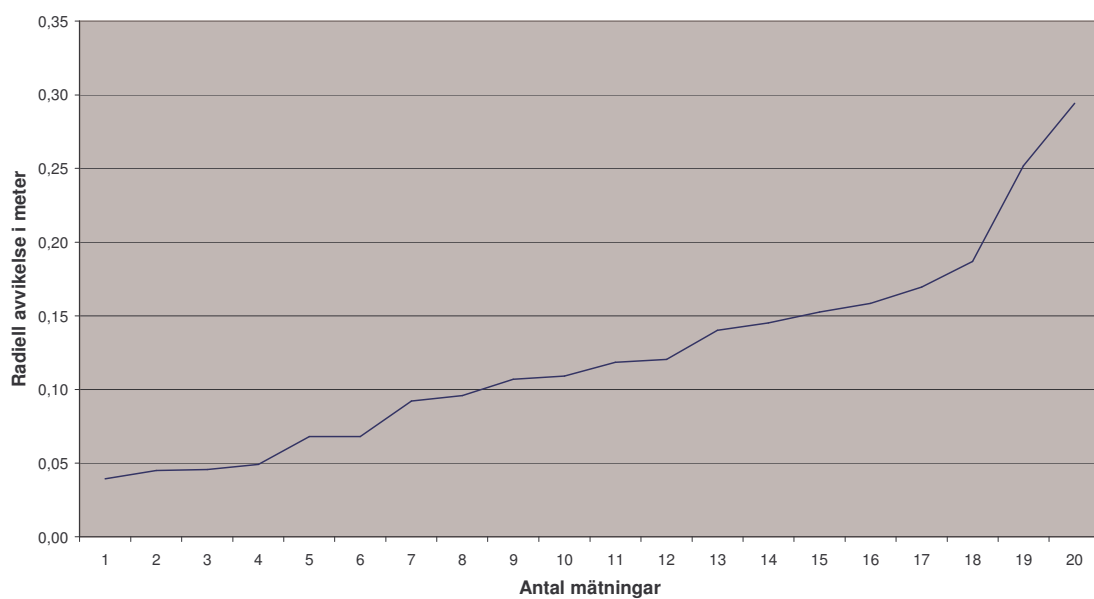


# C Sorterade avvikelser i plan

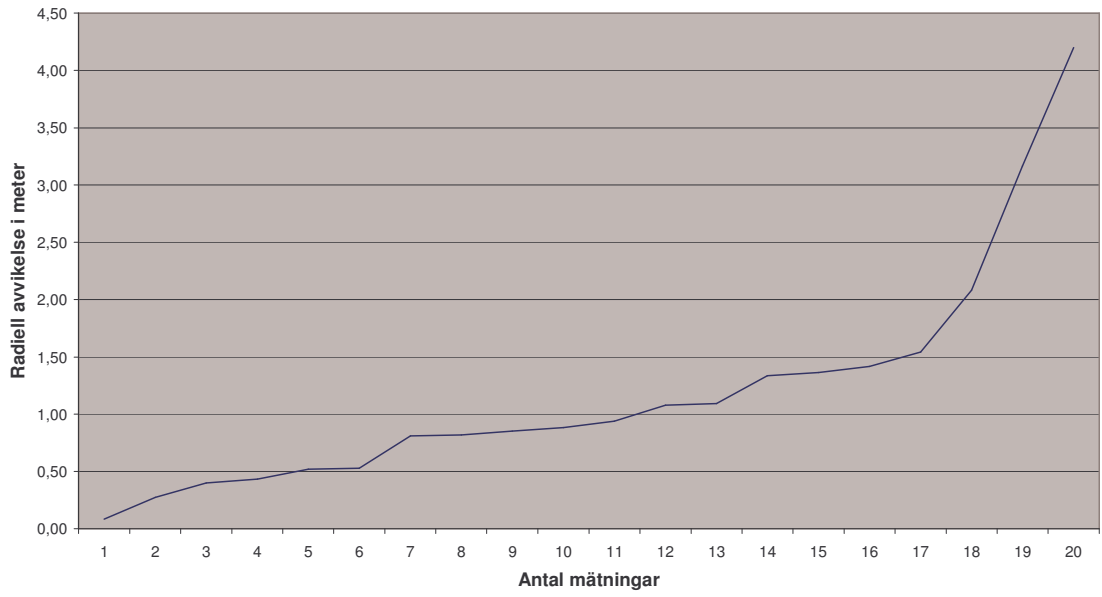
## Inmätning av öppen punkt utan extern antenn



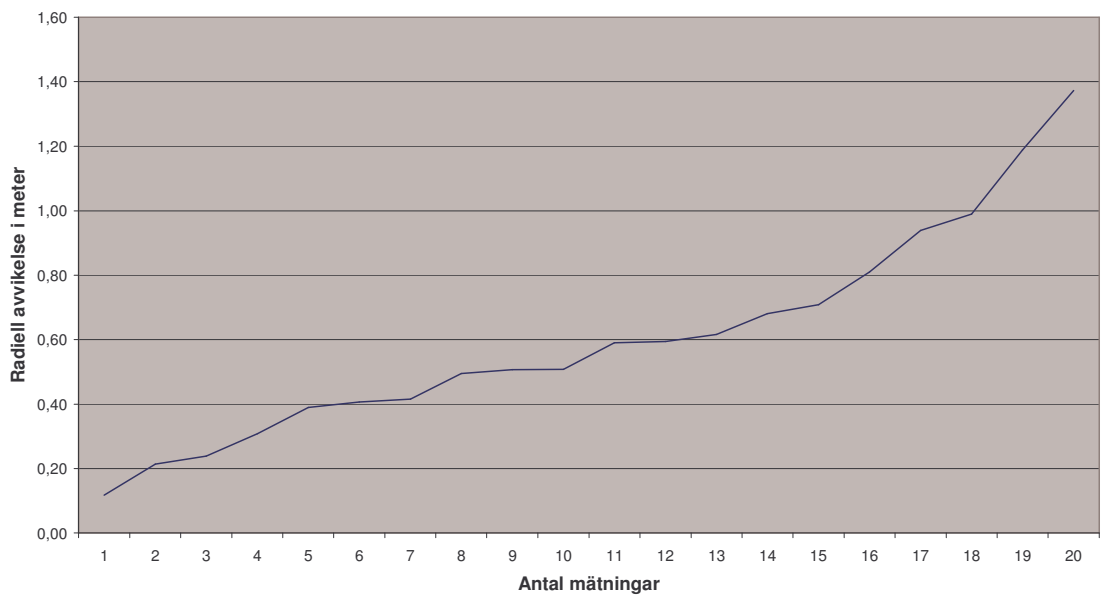
## Inmätning av öppen punkt med extern antenn



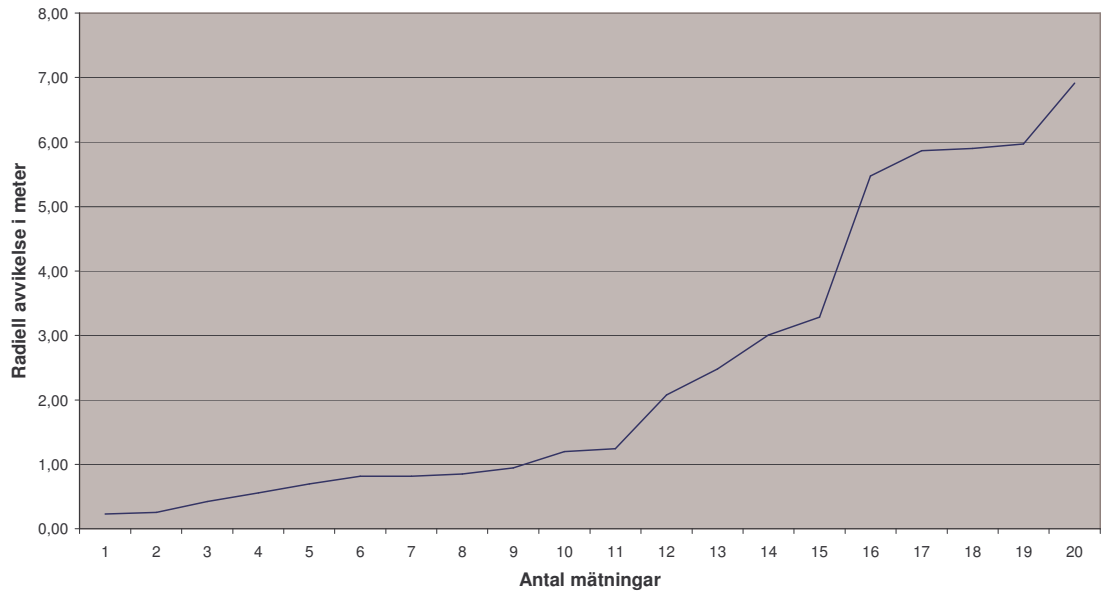
### Inmätning av halvskymd punkt utan extern antenn



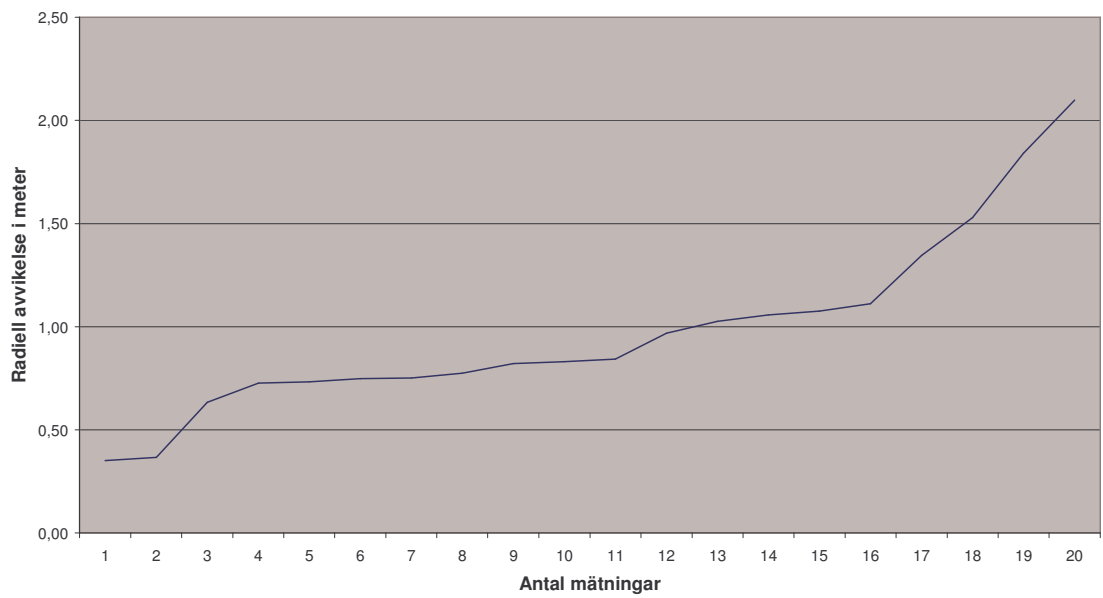
### Inmätning av halvskymd punkt med extern antenn



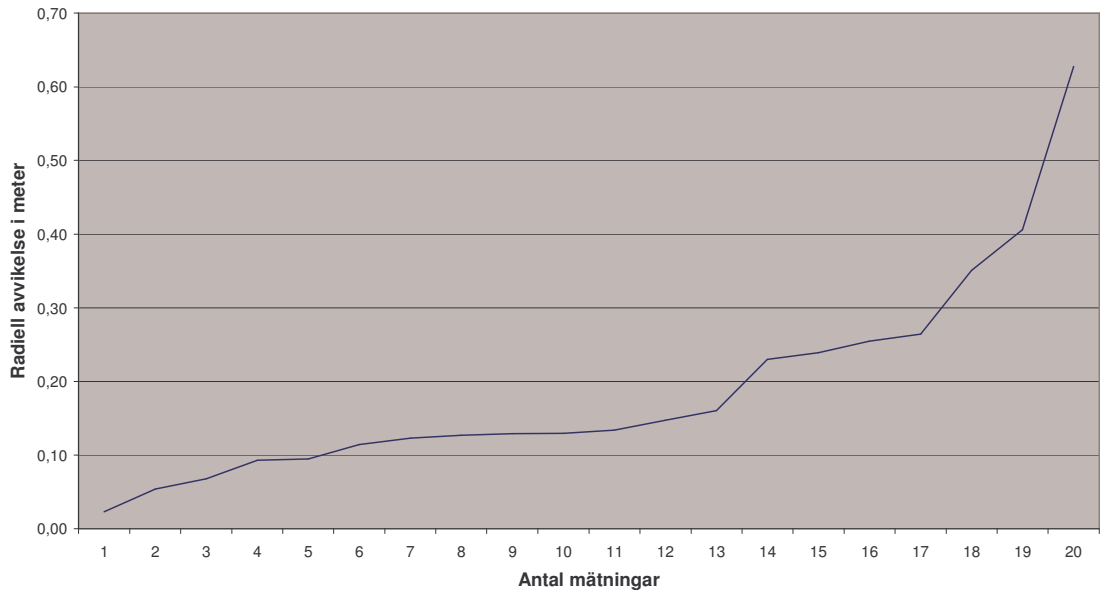
### Inmätning av skymd punkt utan extern antenn



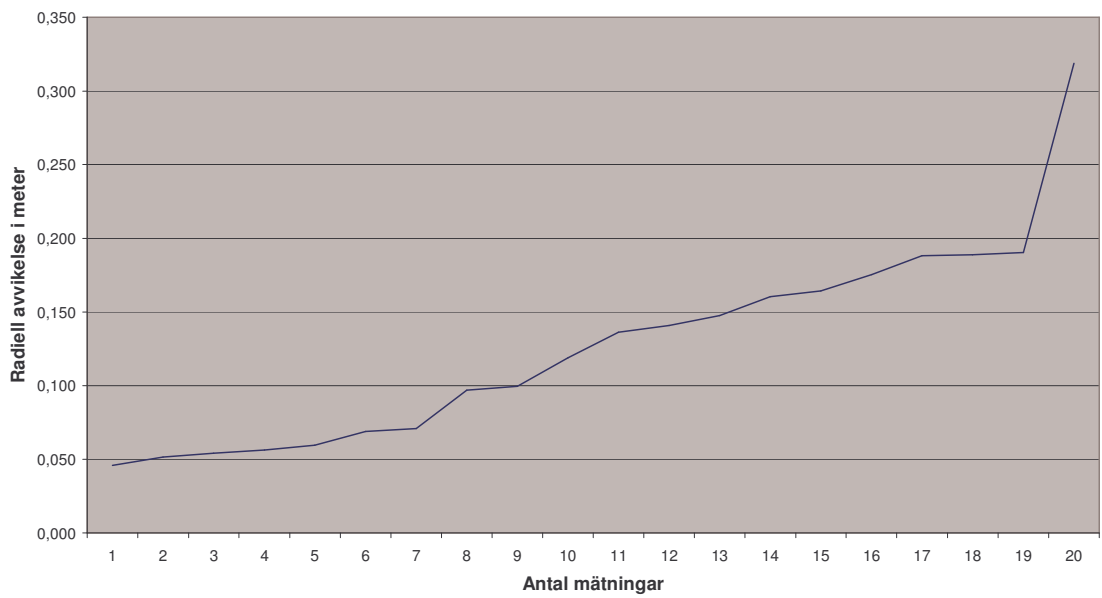
### Inmätning av skymd punkt med extern antenn



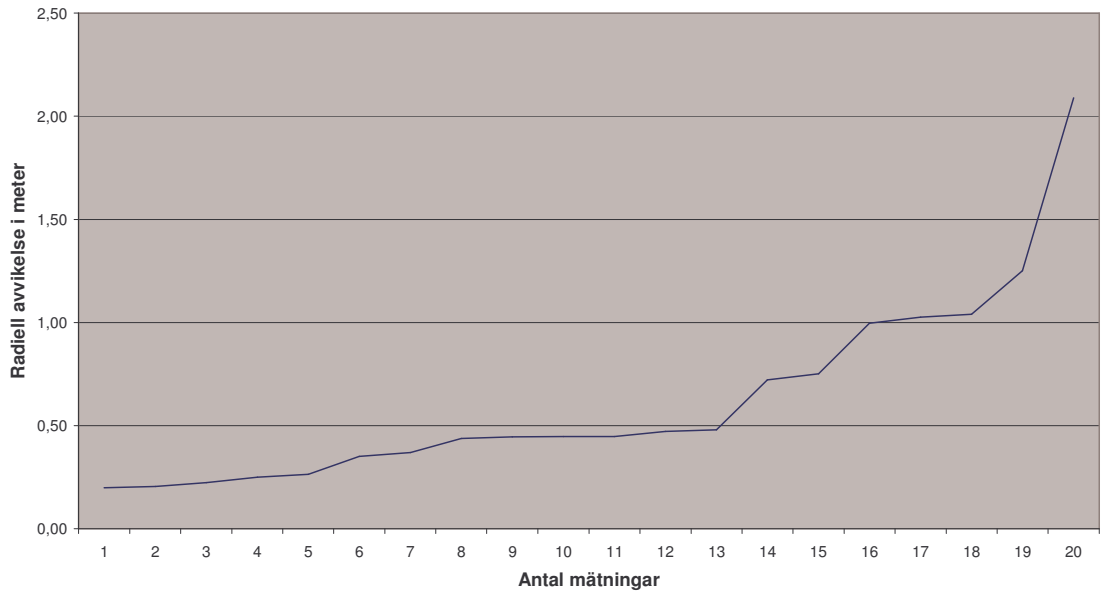
### Utsättning av öppen punkt utan extern antenn



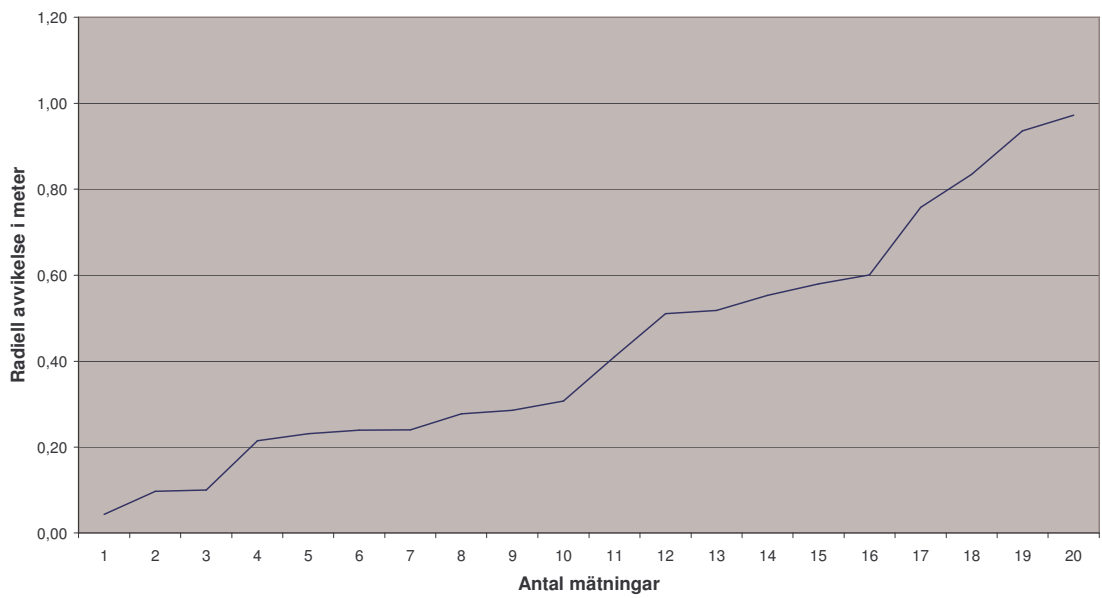
### Utsättning av öppen punkt med extern antenn



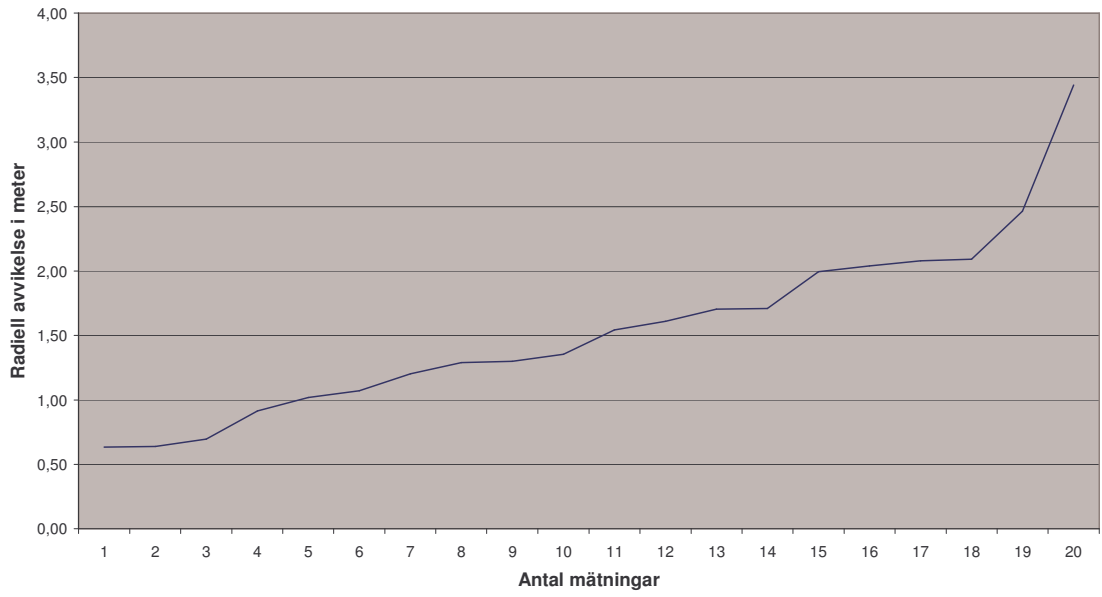
### Utsättning av halvskymd punkt utan extern antenn



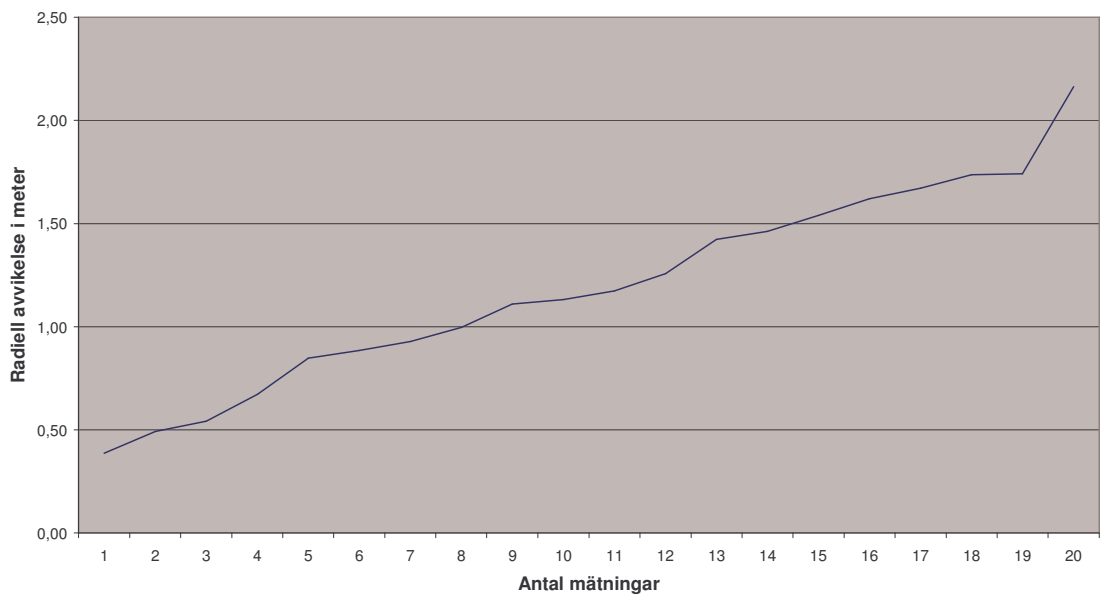
### Utsättning av halvskymd punkt med extern antenn



### Utsättning av skymd punkt utan extern antenn

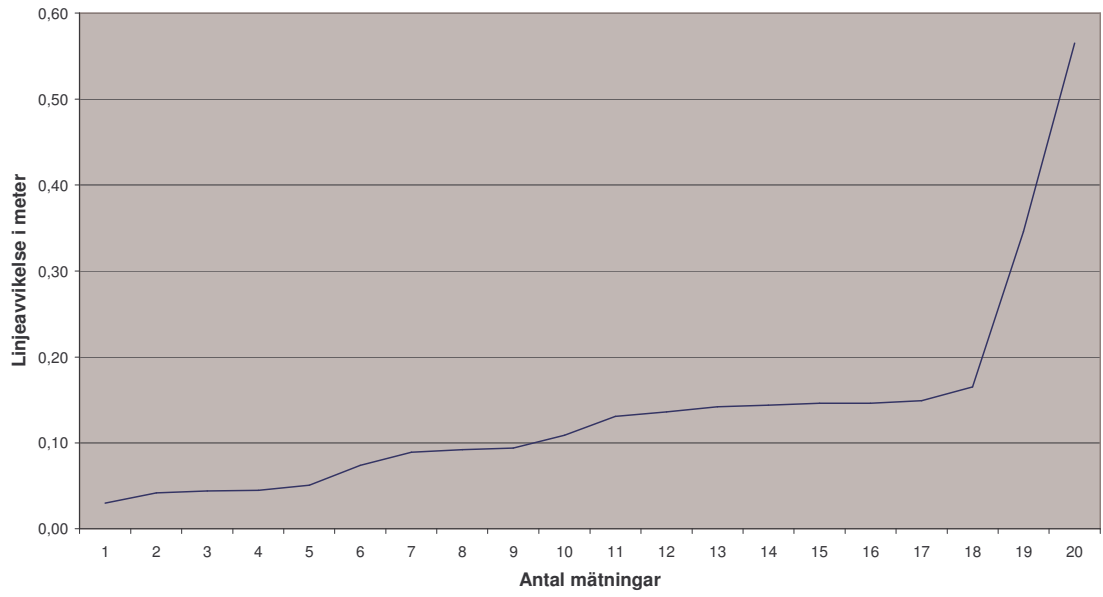


### Utsättning av skymd punkt med extern antenn

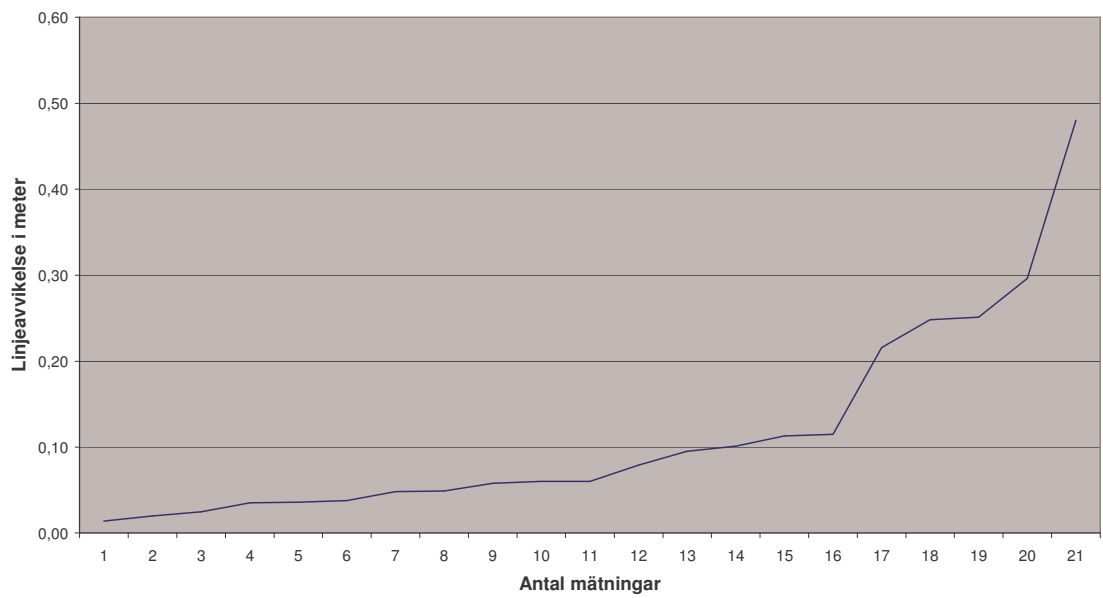




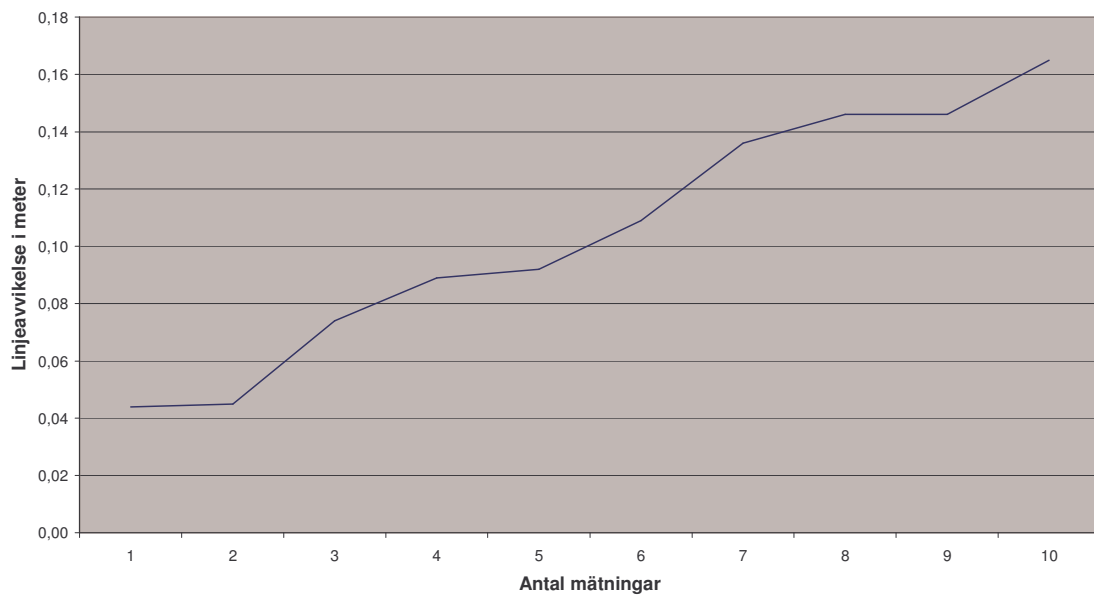
### Utsättning av öppen linje utan extern antenn



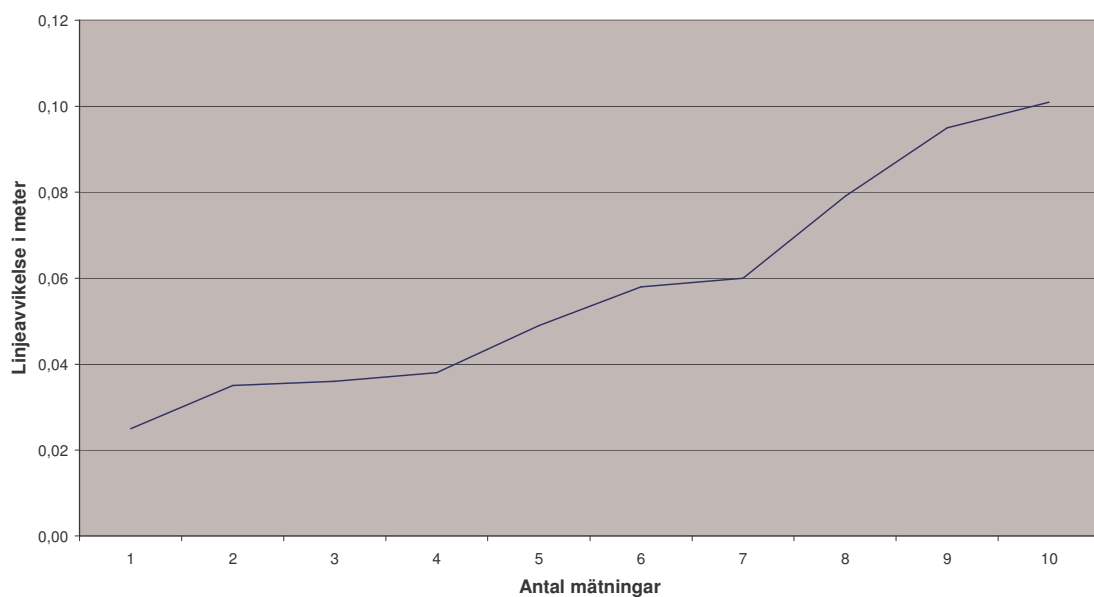
### Utsättning av öppen linje med extern antenn



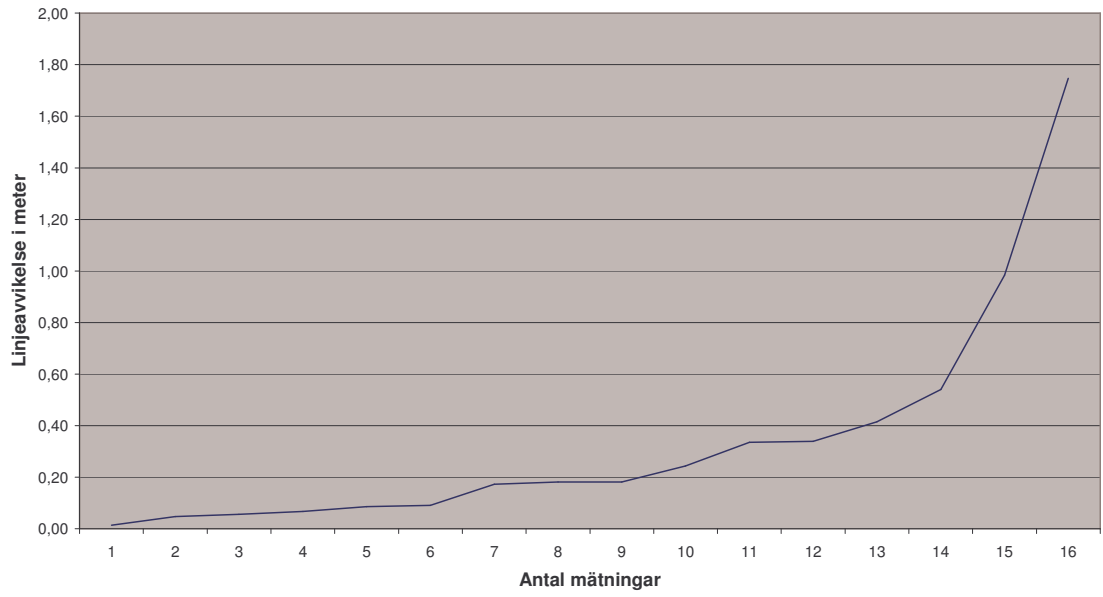
### Utsättning av öppen linje punkt 1-5 utan extern antenn



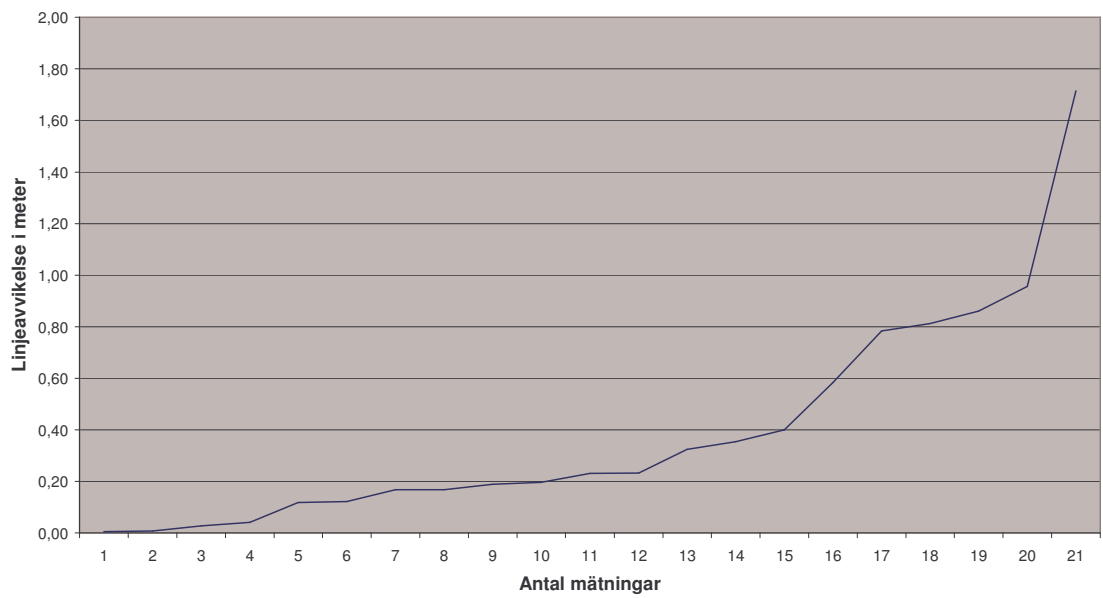
### Utsättning av öppen linje punkt 1-5 med extern antenn



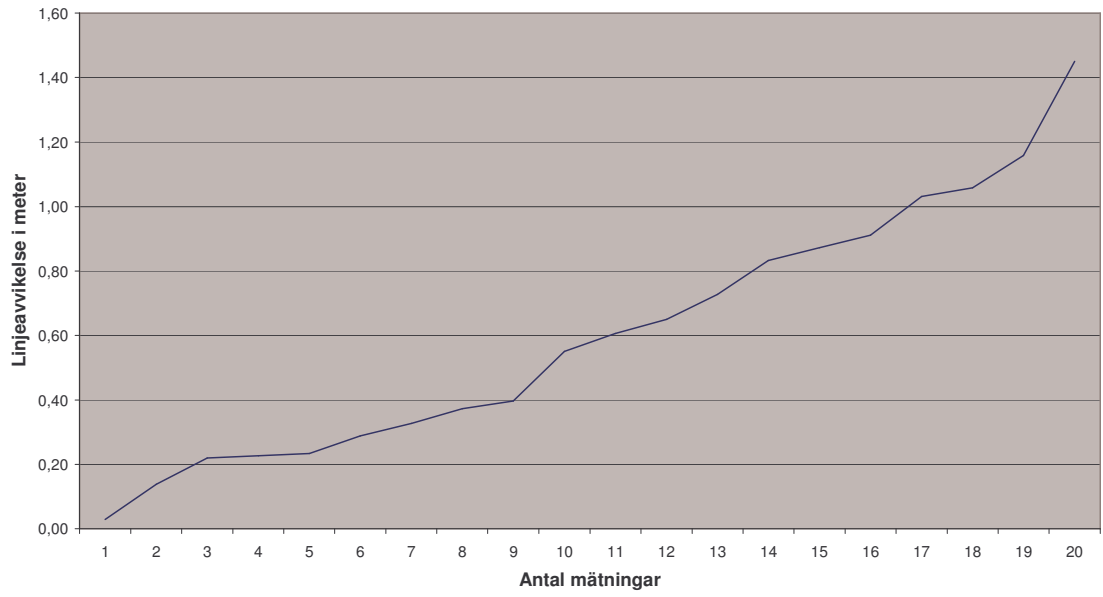
### Utsättning av halvskymd linje utan extern antenn



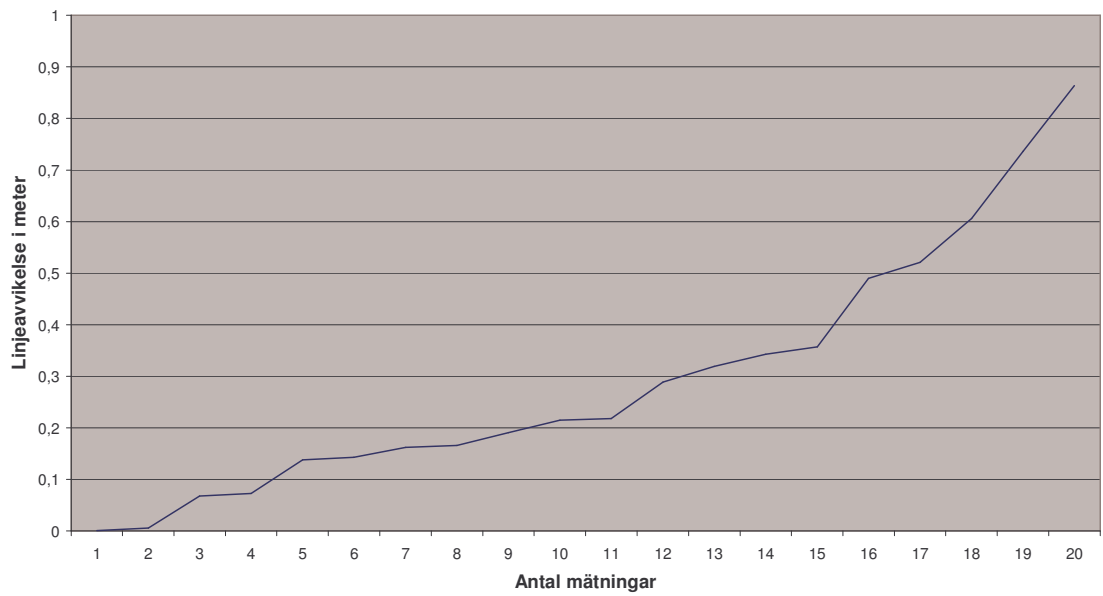
### Utsättning av halvskymd linje med extern antenn



### Utsättning av skymd linje utan extern antenn



### Utsättning av skymd linje med extern antenn





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)