

# **Metodstudie för inmätning av skogsbilvägar**

Examensarbete av  
Christina Kempe

Gävle 2000





## Förord

Lantmäteriets geodatabank för Grundläggande Geografiska Data innehåller grunddata, som bland annat används för produktion av allmänna kartor, d v s både topografiska data och fastighetsdata. Hittills har ingen kontinuerlig ajourhållning utförts av den topografiska informationen. För att komma i gång med kontinuerlig ajourhållning av den topografiska informationen startades *Pilotprojekt Topografisk ajourhållning*.

Examensarbetet har utförts vid Metria Geodata i Gävle under våren 2000 som en del i Pilotprojekt Topografisk ajourhållning.

Syftet med detta examensarbete är att undersöka om metoderna inmätning med DGPS och mätning i satellitbild i framtiden kan användas för att ajourföra skogsbilvägar. I första hand behandlas metodernas geometriska noggrannhet, men i en diskussion tas även metodernas fullständighet, kostnad och tidsåtgång upp.

Jag vill tacka alla som ställt upp och hjälpt mig; först och främst min handledare på Metria Ulrika Johansson, men också Jerker Boman, Daniel Johansson och Anders Rydén, som alla varit till stor hjälp. Dessutom vill jag tacka projektledaren för Pilotprojekt Topografisk ajourhållning Ulf Eriksson och alla andra som så villigt svarat på mina många frågor.

Examinator för examensarbetet är Stig-Göran Mårtensson, Högskolan i Gävle.

Gävle, juni 2000.

Christina Kempe

De bilagor som visar kartbilder trycktes ursprungligen i färg, varför de inte är anpassade till det svart-vita trycket i denna upplaga. De finns dock i digital form hos undertecknad, om intresse finns att studera dem ytterligare.

Gävle, mars 2001.

Christina Kempe

### **Christina Kempe**

Lantmäteriverket LF-Geodesi Lantmäterigatan 2 801 82 Gävle

Besök: Lantmäterigatan 2 Tel.: 026-63 30 00 (vxl)

E-post: christina.kempe@lm.se



## Abstract

The purpose of this diploma work was mainly to investigate the geometric accuracy of two surveying methods – namely DGPS measurements and the use of satellite data for digital mapping – for updating of forest roads.

The positional accuracy of the two methods was evaluated against roads that were photogrammetrically mapped, together with a few roads that were surveyed using RTK, at which the Ciceron service was used.

The test area is situated in Åbyggeby, about 10 km north of Gävle.

The RTK as well as the DGPS measurements were done by car. During the DGPS survey the GPS and radio antennas were placed on the roof of the car and a simple GPS receiver was used during the survey, at which the Epos Premium service was used to increase the positional accuracy.

For screen digitising of the satellite scene an orthorectified IRS-1C/1D panchromatic image with a spatial resolution of 5.8 m was used.

Data from the surveys were analysed using Arc/Info and MS Excel. Thereafter it could be seen that the DGPS survey gave a higher positional accuracy in relation to the photogrammetrically mapped reference material, compared to the use of satellite data for digital mapping.

	Mean value [m]	Standard deviation [m]	Max deviation [m]
DGPS survey	2.0-3.3	2.8-4.6	15.4-16.9
Sat. data for digital mapping	4.1-4.3	5.4-5.6	19.4-20.0

*Table: Summary of the positional accuracy of the tested methods.*

Mean value refers to the mean deviation from the photogrammetrically mapped roads, standard deviation states the spread of the measurements around the “true” value, and maximum deviation is largest deviation of the measurements from the photogrammetrically mapped roads.

Some factors that can affect the DGPS survey are e.g. poor radio receiving conditions and shielding of the satellite signals. The digital mapping is affected by e.g. the quality of the satellite image.

The completeness of the DGPS survey is good, as long as no obstacles are in the way of the vehicle. Descriptive data about the road net can also be collected during the survey. The satellite scene offers a possibility of mapping at least the wider forest roads while the narrower roads are harder to discover in the image. Clouds, and shadows from them, in the image can also decrease the completeness of the survey.

The way the DGPS equipment looks today, the performance of the survey is easier if two persons collaborate, but when an adaptation of the equipment has been done, one person alone could do the measuring. Digital mapping is less time-consuming than DGPS measurements.

The processing of the data that has to be done today could be reduced through a certain adjustment of the software used.

The DGPS equipment used for this test is relatively cheap. If the method is to be used in the production of geographic data an adaptation of the equipment and the software ought to be done, which also involves a cost. The cost of a satellite scene is heavy if one is interested of updating only a small area of the covering of the satellite scene, which often is the case.

DGPS surveying should be used if a higher positional accuracy is demanded and if the area to be updated is limited, because of the method being time-consuming. Screen digitising from a satellite image is suitable if one wishes to update a larger area, since purchase of a satellite scene is otherwise not profitable.

## Sammanfattning

Syftet med examensarbetet var huvudsakligen att undersöka den geometriska noggrannheten för metoderna inmätning med DGPS och mätning i satellitbild för ajourföring av skogsbilvägar.

Lägesnoggrannheten för de båda metoderna utvärderades mot fotogrammetriskt karterade vägar, tillsammans med ett antal vägar som mättes in med RTK-mätning där man utnyttjade Ciceron-tjänsten.

Testområdet ligger i Åbyggeby, ca 1 mil norr om Gävle.

Såväl RTK-mätningen som DGPS-mätningen utfördes per bil. Vid DGPS-mätningen placerades GPS- och radioantennerna på biltaket och en enkel GPS-mottagare användes varvid Epos premiumtjänst utnyttjades för att öka lägesnoggrannheten.

För skärmdigitalisering av satellitbild användes en ortokorrigerad IRS-1C/1D pankromatisk bild med rumslig upplösning på 5,8 m.

Mätdata analyserades i Arc/Info och MS Excel. Därefter kunde man se att DGPS-mätning gav bättre lägesnoggrannhet i förhållande till det stereokarterade referensmaterialet än satellitbildsmätning.

	Medelvärde [m]	Standardavvikelse [m]	Max avvikelse [m]
DGPS-mätning	2,0-3,3	2,8-4,6	15,4-16,9
Satellitbildsmätning	4,1-4,3	5,4-5,6	19,4-20,0

*Tabell: Sammanställning av de testade metodernas geometriska noggrannhet.*

Medelvärde avser medelavvikelse från de stereokarterade vägarna, standardavvikelse anger mätningarnas spridning kring det "sanna" värdet, och max avvikelse är mätningens största avvikelse från de stereokarterade vägarna.

Faktorer som kan påverka DGPS-mätning är bland annat dålig radiomottagning och avskärmning av satellitsignalerna. Satellitbildskarteringen påverkas bland annat av bildens kvalitet.

Fullständigheten för DGPS-mätning är god, så länge inga hinder för fordonet finns längs vägen. Beskrivande data om vägnätet kan också samlas in under inmätning. Satellitbilden ger möjlighet att kartera åtminstone de större skogsbilvägarna medan de mindre vägarna är svårare att upptäcka i bilden. Moln samt molnskuggor i bilden kan också minska fullständigheten.

Som DGPS-utrustningen ser ut idag underlättar det att vara två personer vid inmätning, men med en anpassning av utrustningen skulle en person ensam kunna utföra mätningarna. Satellitbildskarteringen är mindre tidskrävande än DGPS-mätning.

Den efterbearbetning som idag måste göras av mätdata skulle kunna minskas genom viss anpassning av programvara.

DGPS-utrustningen som användes i detta försök är relativt billig. Om metoden ska användas i produktion av GGD bör en anpassning av utrustning och programvara göras, vilket också medför en kostnad. Kostnaden för en satellitscen är stor om man endast är intresserad av att ajourföra en mindre del av satellitscenens täckningsområde, vilket ofta är fallet.

DGPS-mätning bör användas om högre lägesnoggrannhet krävs och om området som ska ajourföras är begränsat, på grund av att metoden är tidskrävande. Skärmdigitalisering från satellitbild är lämpligt om man önskar ajourföra ett större område, eftersom inköp av satellitscen annars inte lönar sig.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE	2
1.3	AVGRÄNSNING	2
1.4	METOD	2
<b>2</b>	<b>TEORI</b>	<b>3</b>
2.1	GPS – GLOBAL POSITIONING SYSTEM	3
2.1.1	Positionsbestämning med GPS	3
2.1.1.1	Kodmätning	3
2.1.1.2	Bärvågsmätning	4
2.1.2	SWEPOS	4
2.1.3	Differentiell GPS	5
2.1.3.1	Epos	5
2.1.4	RTK-mätning	6
2.1.4.1	Ciceron	6
2.2	FJÄRRANALYS	7
2.2.1	Optiska fjärranalyssatelliter	7
2.3	STEREOKARTERING	8
<b>3</b>	<b>TIDIGARE STUDIER</b>	<b>9</b>
3.1	INMÄTNING MED DPGS	9
3.2	INMÄTNING AV VÄGAR I SATELLITBILD	11
<b>4</b>	<b>VAL AV METOD</b>	<b>13</b>
4.1	TESTOMRÅDE	13
4.2	REFERENSMATERIAL	13
4.2.1	Stereokarterade vägar	13
4.2.2	RTK-mätta vägar	14
4.3	DGPS-MÄTNING	14
4.4	MÄTNING I SATELLITBILD	15
4.4.1	IRS-1C/1D	15
4.4.1.1	Pankromatisk sensor	15
4.4.1.2	Multispektral sensor	16
4.4.1.3	'Wide Field Sensor'	16

<b>5 GENOMFÖRANDE</b> .....	<b>17</b>
5.1 RTK-mätning.....	17
5.1.1 <i>Mätning</i> .....	17
5.1.2 Bearbetning av mätdata.....	17
5.1.3 <i>Resultat</i> .....	19
5.2 DGPS-mätning.....	20
5.2.1 <i>Mätning</i> .....	20
5.2.2 Bearbetning av mätdata.....	20
5.2.3 <i>Resultat</i> .....	21
5.3 Satellitbildsmätning.....	24
5.3.1 <i>Mätning</i> .....	24
5.3.2 Bearbetning av mätdata.....	24
5.3.3 <i>Resultat</i> .....	25
<b>6 DISKUSSION</b> .....	<b>27</b>
6.1 Lägesnoggrannhet.....	27
6.1.1 RTK-mätning vs stereokarterat material.....	27
6.1.1.1 Kommentarer till resultaten.....	27
6.1.1.2 Utvärdering av noggrannheten.....	27
6.1.2 DGPS-mätning.....	29
6.1.2.1 Kommentarer till resultaten.....	29
6.1.2.2 Utvärdering av noggrannheten.....	30
6.1.3 Satellitbildsmätning.....	32
6.1.3.1 Kommentarer till resultaten.....	32
6.1.3.2 Utvärdering av noggrannheten.....	33
6.2 Metodernas fullständighet, tidsåtgång och kostnad.....	34
6.2.1 Fullständighet.....	34
6.2.2 <i>Tidsåtgång</i> .....	35
6.2.3 <i>Kostnad</i> .....	36
<b>7 SLUTSATSER</b> .....	<b>39</b>
<b>8 FÖRKORTNINGAR</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>42</b>

## Bilagor

BILAGA 1: ÖVERSIKT ÖVER TESTOMRÅDET

BILAGA 2: ÖVERSIKT ÖVER RTK-MÄTNING

BILAGA 3: ARC/INFO-KOMMANDON

BILAGA 4: REDOVISNING AV DGPS-MÄTNING

BILAGA 5: REDOVISNING AV SATELLITBILDSMÄTNING

BILAGA 6: REDOVISNING AV STORA AVVIKELSER VID DGPS-MÄTNING

BILAGA 7: AVVIKELSER VID DGPS-MÄTNING

BILAGA 8: AVVIKELSER VID SATELLITBILDSMÄTNING

# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Lantmäteriets geodatabank för Grundläggande Geografiska Data (GGD) innehåller grunddata, som bland annat används för produktion av allmänna kartor, det vill säga både topografiska data och fastighetsdata. GGD produceras med fotogrammetrisk kartering, där även digitala ortofoton tas fram som underlag för informationsinsamling, liksom med omfattande fältarbete för kontroll och klassificering av objekten. Dessutom inhämtas information från andra myndigheter och organisationer.

Uppbyggnaden av GGD beräknas pågå till och med år 2003, då databasen ska vara rikstäckande (Eriksson U. (1998)).

Fastighetsindelningen i GGD har uppdaterats kontinuerligt, men för den topografiska informationen har ingen kontinuerlig ajourhållning utförts under uppbyggnadsperioden. För att komma i gång med kontinuerlig ajourhållning av den topografiska informationen startades *Pilotprojekt Topografisk ajourhållning*.

Projektet har till syfte att säkerställa processen för det framtida topografiska ajourhållningsarbetet, genom försök och tester, samt viss utveckling av metoder för ajouföring av den topografiska informationen – i första hand vägar, järnvägar, kraftledningar och byggnader, där behovet av kontinuerlig ajourhållning är som störst (Eriksson U. (2000b)).

Pilotprojekt Topografisk ajourhållning är indelat i ett huvudprojekt, *Ajourhållning*, och två underprojekt. I huvudprojektet ingår detta examensarbete som del i en aktivitet som rör metodstudie för inmätning av nytillkomna skogsbilvägar.

## **1.2 Syfte**

Syftet med examensarbetet är att undersöka om metoderna inmätning med DGPS (Differentiell GPS) och mätning i satellitbild i framtiden kan användas för att ajourföra skogsbilvägar.

De resultat som efterfrågas är:

- Med vilken geometrisk noggrannhet kan skogsbilvägar mätas in med DGPS?
- Med vilken geometrisk noggrannhet kan inmätning av skogsbilvägar ske genom skärmdigitalisering av satellitdata?

Därutöver kan även fullständighet, tidsåtgång och kostnad för de olika metoderna komma att diskuteras.

## **1.3 Avgränsning**

De två metoder som ska testas är alltså inmätning med DGPS och mätning i satellitbild, och mätningarna kommer att begränsas till ett eller ett par tillfällen.

Testområdet för metodstudien är beläget i Åbyggeby norr om Gävle, inom Fastighetskartans kartblad (ekorutan) 13H7d. Studien kommer att beröra ett system av skogsbilvägar som finns på södra halvan av kartbladet.

## **1.4 Metod**

Testområdet är stereokarterat under hösten 1999 inför kommande fältarbete. Denna stereokartering av skogsbilvägarna kommer att användas som ett slags "facit" vid utvärderingen av de nya metoderna, tillsammans med ett antal vägar som kommer att mätas in med RTK-mätning (Real Time Kinematic) där man utnyttjar Ciceron-tjänsten för att få centimeternoggrannhet (Eriksson U. (2000c)).

## **2 Teori**

### **2.1 GPS – Global Positioning System**

GPS-satelliterna sänder ut signaler på två frekvenser, L1 och L2. Dessa signaler överlagras med två typer av kod – L1 kodas med både så kallad P-kod (precise) och C/A-kod (coarse/acquisition) medan L2 endast kodas med C/A-kod. Dessutom sänds ett satellitmeddelande som innehåller information för beräkning av satellitens position och satellitklockans korrektion (HMK-Ge:GPS (1996)).

#### **2.1.1 Positionsbestämning med GPS**

Positionsbestämning med GPS bygger på att GPS-mottagaren mäter tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren. Då man vet att signalen breder ut sig med ljusets hastighet kan avståndet mellan satelliten och GPS-mottagaren beräknas.

Genom att mäta avståndet från mottagaren till tre satelliter kan man bestämma den tredimensionella positionen för en punkt. I realiteten krävs dock mätning mot minst fyra satelliter på grund av att mottagarens och satelliternas klockor inte är synkroniserade. Mätning av dessa avstånd kan ske på två sätt, med kodmätning eller bärvågsmätning (HMK-Ge:GPS (1996)).

##### **2.1.1.1 Kodmätning**

GPS-mottagaren skapar en kopia av koden som satelliten sänder. Koden som tas emot från satelliten jämförs med den i mottagaren skapade koden och tidsskillnaden dem emellan mäts med hjälp av kodens tidsmärkning.

Den uppmätta fördröjningen motsvarar den tid det tar för den utsända satellitsignalen att nå mottagaren. Ur denna tid kan sedan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas, då signalens utbredningshastighet är känd. Detta avstånd kallas pseudoavstånd, eftersom det i allmänhet innehåller fel på grund av att mottagarklockan inte är helt synkroniserad med satellitklockan (HMK-Ge:GPS (1996)).

### **2.1.1.2 Bärvägsmätning**

Bärvägen är inte tidsmärkt och därför kan inte signalens fördröjning mätas direkt, som vid kodmätning. I GPS-mottagaren skapas i stället en signal som har samma frekvens som GPS-systemets bärväg.

Avståndet mellan satelliten och mottagaren kan beskrivas som ett antal hela bärvägsperioder samt en del av en period. Den mottagna satellitsignalen, vars frekvens är dopplarförskjuten, kombineras med den i mottagaren skapade signalen. Bestämning av delen av perioden kan ske mycket noggrant genom fasmätning. Antalet hela bärvägsperioder vid mätningens början, så kallade periodobekanta, bestäms vid efterbearbetning av observationsdata. Vid RTK-mätning kan även periodobekanta bestämmas i realtid (Lejonhufvud, Wiklund (1996)). För lösning av dessa periodobekanta kan antingen flytlösning, det vill säga att periodobekanta löses till flyttal, eller fixlösning – periodobekanta fixeras till ett heltal – erhållas (HMK-Ge:GPS (1996)).

Fördelen med bärvägsmätning är att det ger noggrannare resultat än kodmätning. Nackdelar är att det kräver dyrare utrustning och längre observationstid. Bärvägsmätning är dessutom mer känslig för signalavbrott än kodmätning (Ottoson (1999)).

### **2.1.2 SWEPOS**

SWEPOS är ett nät av 25 fasta referensstationer utspridda över hela Sverige (SWEPOS hemsida (000405)). En fast referensstation är en GPS-mottagare med känd position, där GPS-data registreras kontinuerligt för att kunna distribueras i realtid eller i efterhand.

Data för realtidstillämpningar finns tillgängliga i standardformatet RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) SC-104 och data för efterbearbetning levereras i formatet RINEX (Receiver INdependent EXchange format) (Bergman, Frisk (1995)).

### **2.1.3 Differentiell GPS**

Differentiell GPS (DGPS) är en teknik för att genom kodmätning bestämma positionen för en mobil mottagare relativt en referensmottagare som är placerad på en känd punkt. Som referens kan även någon av de fasta referensstationerna i SWEPOS-nätet användas.

Referensmottagarens kända position används för att beräkna korrektioner till den GPS-mätta positionen, genom att referensmottagaren använder samma satelliter – minst fyra stycken – som den mobila mottagaren för att beräkna sin position.

Positionen för den mobila mottagaren korrigeras med differensen mellan de kända och de beräknade koordinaterna för referensmottagaren, via till exempel radiolänk eller telefonlinje (Norén (1997), Bergman, Frisk (1995)).

Om någon SWEPOS-station används som referensstation kan Epos-tjänsten (se kapitel 2.1.3.1) utnyttjas.

Korrektionerna kompenserar för fel gemensamma för de två mottagarna – mottagaroberoende fel – men inte för mottagarberoende fel. Mottagarberoende fel är bland annat så kallad 'selective availability' (SA) och fördröjningar av signalen i troposfären och jonosfären (Bergman, Frisk (1995)).

#### **2.1.3.1 Epos**

För realtidstillämpningar sänds differentiella korrektioner från SWEPOS-nätet över Sveriges rikstäckande FM-nät. Epos-tjänsten tillhandahålls av Teracom AB.

Det finns två olika Epos-abonnemang, som ger en noggrannhet på  $\pm 2$  m (premium) resp  $\pm 10$  m (bas) i plan i 95% av fallen, om GPS-mottagaren som används är tillräckligt bra.

Epos använder tolv av SWEPOS-stationerna, vars differentiella korrektioner distribueras via FM-sändarna över landet. Korrektionsdata för Epos sänds via RDS-kanalen (Radio Data System) som sedan kan tas emot av en speciell RDS-mottagare som förmedlar informationen till GPS-mottagaren. Epos-mottagaren söker hela tiden efter den starkaste sändaren och där man kan lyssna på P3 eller P4 i stereo är korrektionerna tillgängliga (Teracoms hemsida (000405)). Korrektionerna sänds ut i standardformatet RTCM SC-104 version 2.0 (Bergman, Frisk (1995), Teracom teknikinfo).

#### **2.1.4 RTK-mätning**

RTK-mätning är en teknik för kinematisk bärvågsmätning. Som vid DGPS-mätning (se kapitel 2.1.3), bestäms positionen för en rörlig GPS-mottagare relativt en fast referensmottagare som placeras på en känd punkt.

Från referensmottagaren sänds de kända koordinaterna tillsammans med mätdata till den rörliga mottagaren, via till exempel radiolänk eller GSM-telefon.

Beräkningar sker i den mobila mottagaren för att bestämma dess position. Vid dessa beräkningar används även de på plats mottagna satellitsignalerna. Man minimerar på så sätt de mottagaroberoende felen (se avsnitt 2.1.3).

Beräkningen inleds med att periodobekanta för den rörliga mottagaren bestäms, det vill säga antalet hela bärvågsperioder mellan satellit och mottagare. Därefter kan mätning utföras med den rörliga mottagaren (Lejonhufvud, Wiklund (1996)).

##### **2.1.4.1 Ciceron**

I stället för att använda en egen referensmottagare vid RTK-mätning kan någon av SWEPOS-stationerna användas. Korrektionsdata från SWEPOS-nätet distribueras via Ciceron, som är en tjänst från Teracom AB. I dagsläget finns Ciceron på sju platser i Sverige, men är tänkt att så småningom bli rikstäckande.

Mätdata för Ciceron kommer från befintliga SWEPOS-stationer sänds på DARC-kanalen (DAta Radio Channel) via FM-nätet och ligger parallellt med ljudet. Användaren har en speciell DARC-mottagare som tar emot signalerna och skickar dem till GPS-mottagaren.



Ciceron ger positionsnoggrannhet på centimeternivå upp till 20 km från referensstationen. En tumregel att räkna med är en minskning av noggrannheten med ca 1-2 cm per mil (Teracom informationsbrev (1999), Teracoms hemsida (000406)).

RTK-data från Ciceron sänds i standardformatet RTCM version 2.2 (Teracoms hemsida (000406)).

## **2.2 Fjärranalys**

Fjärranalys är ett samlingsnamn för de tekniker där man på avstånd samlar information om mark, vatten och atmosfär, och har också kommit att innefatta bearbetning, analys och presentation av sådana data. Den information som behandlas genom fjärranalys förmedlas via elektromagnetisk strålning som i olika våglängder avges eller reflekteras från jordytan. Fjärranalys utnyttjar huvudsakligen flygplan och satelliter som instrumentplattformar.

De flesta fjärranalyssatelliterna cirkulerar kring jorden i en nära polär bana på en höjd mellan 150 och 1400 km. Genom jordens rotation registreras hela jordytan successivt, utom området närmast polerna (Flygbildsteknik och fjärranalys (1993)).

### **2.2.1 Optiska fjärranalyssatelliter**

Optiska fjärranalyssatelliter verkar i ett våglängdsområde som sträcker sig ungefär från 300 till 1400 nm. Till dessa satelliter hör till exempel NASA:s Landsat-program med idag tre fungerande satelliter, de franska SPOT-satelliterna – idag tre stycken – de två indiska IRS-satelliterna och de meteorologiska NOAA-satelliterna.

Alla dessa satelliter har nära polära banor på 700-830 km höjd och återkommer i samma banspår med 16-26 dagars intervall (Lillesand, Kiefer (1994), Spot Images hemsida (000426)).

	Banhöjd	Åter- komst	Pankromatisk sensor		Multispektral sensor		
			Stråkbredd	Upplösning	Stråkbredd	Antal band	Upplösning
IRS-1C/1D	817 km	24 dygn	70 km	5,8 m	141 km*	4	23,5 m**
SPOT-1, - 2, -4	822 km	26 dygn	60 km	10 m	60 km	3 / 4***	20 m
Landsat-7	705 km	16 dygn	185 km	15 m	185 km	7	30 m****

\* 141 km för banden i synliga och nära infraröda delarna av spektrum, 148 km för kortvågigt infrarött band.

\*\* 23,5 m för banden i synliga och nära infraröda delarna av spektrum, 70,5 m för kortvågigt infrarött band.

\*\*\* SPOT-1 och -2 har 3 band. SPOT-4 har 4 band.

\*\*\*\* Band 6 har 60 m upplösning

*Tabell 2.1: översikt över högupplösande optiska fjärranalyssatelliter (IRS handbook (1995), Spot Images hemsida (000426), NASA:s hemsida (000427)).*

### **2.3 Stereokartering**

Ett vanligt sätt att utnyttja flygbilder är kartframställning genom mätning och kartering i stereomodeller. Inom Lantmäteriverket baseras denna stereokartering på flygbilder fotograferade från 4600 m eller 9200 m höjd. Då kamerakonstanten är ca 152 mm motsvarar det bildskalan 1:30000 resp 1:60000 (Flygbildsteknik och fjärranalys (1993), Anbudsunderlag för stereokartering (1999)).

I analytiska stereoinstrument kan alla fel som kan uttryckas i matematisk form korrigeras med hög noggrannhet. Tack vare datorstödet kan också relativ och absolut orientering utföras med högre noggrannhet än i ett analogt instrument, och medelfelet 0,03-0,04‰ av flyghöjden (knapp 0,2 m vid flyghöjden 4600 m) har angivits som normalt vid mätning på signalerade punkter i högklassiga analytiska instrument (Flygbildsteknik och fjärranalys (1993)).

### 3 Tidigare studier

#### 3.1 Inmätning med DPGS

1997 gjordes en studie av insamling av vägdata för Nationell vägdatabas (NVDB) med DGPS i bil av Bergström och Eriksson (1997). Studien skulle belysa metoder för insamling av både geometriska och beskrivande data för det enskilda vägnätet.

En liknande studie utfördes samma år av Norén (1997) vid Vägverket i Borlänge. Målet var då bland annat att testa om korrektioner i realtid eller efterhandsberäknade korrektioner ger bäst geometriskt resultat vid inmätning av vägar med DGPS.

Vid Lantmäteriet studerade man 1995 vilken noggrannhet som kan förväntas vid kinematisk DGPS med Epos-tjänsten (Bergman, Frisk (1995)). Håller den specificerade noggrannheten på  $\pm 2$  m i 95% av fallen?

Två av försöken (Bergström och Eriksson, Norén) hade problem med signalavbrott från GPS-satelliterna, men i högre grad för enskilda vägar än för statliga vägar, som har bredare väggator. Norén konstaterar också att en högre antenn ger färre signalavbrott men att positionsnoggrannheten i stället minskar.

Gemensamt för alla tre studierna är också att mottagningen av Epos-data inte alltid fungerade. Troliga orsaker till detta kan vara dåliga mottagningsförhållanden för P3, på grund av att topografin eller skogen avskärmade på ett ogynnsamt sätt.

Bergman och Frisk fastslår att på längre avstånd från radiosändaren, ca 20 km, erhöles tidvis färre korrektioner, vilket medförde att positionsnoggrannheten sjönk.

Bergströms och Erikssons slutsatser var i huvudsak att utrustning anpassad för fältbruk bör användas. En ljudsignal till föraren från mätprogrammet, då till exempel alla villkor för mätning inte uppfylls, skulle underlätta betydligt – vilket även Bergman och Frisk påpekar – och programvaran måste vara helt anpassad till inmätning av vägar.

Nödvändigheten i att inhämta administrativa uppgifter från markägaren före inmätning, till exempel om låsta bommar och pågående vägarbeten, konstaterades.

Man hade också gott om tid för att samla in beskrivande data tack vare bilens låga hastighet.

Norén fastställer att SWEPOS-data för efterberäkning är mest lämpade för att korrigera data, med avseende på noggrannhet ( $\pm 0,9$  m i plan), tid och kostnad, i förhållande till en egen referensstation och korrektioner i realtid från Epos.

Bergström och Eriksson nådde inte samma höga noggrannhet som i Noréns försök, vilket de själva tror beror på att en sämre GPS-mottagare användes och att väggatorna var smalare i deras fall.

Bergman och Frisk studie fann att löftet om  $\pm 2$  m noggrannhet i 95% av fallen hålls, om radiomottagningen fungerar bra och förhållanden för GPS-mätning är relativt goda. I hög och tät stadsmiljö kan själva GPS-mätningen utgöra en begränsning.

En annan studie som inte rör just inmätning av vägar, men som ändå kan vara intressant i detta sammanhang är Gunnarssons och Norins (1995) tester vid Lantmäteriverket. Försöket gjordes för att skaffa erfarenhet av GPS vid fältarbete till fots och prova ny teknik.

Även här konstaterades att vissa problem med mottagning av GPS-signaler kan uppstå vid inmätning i skogsmiljö och att radiomottagningen måste förbättras för att datainsamlingen ska bli rationell. Det skulle inte heller vara praktiskt möjligt att efter dagens fältarbete komma in på kontoret med en ”punktsvärm”, utan man borde kunna koppla GPS-mätta detaljer till befintliga data från databanken direkt i fältdatorn.

### **3.2 Inmätning av vägar i satellitbild**

Under 1999 testade Telia Infomedia (Larsson (2000)) att uppdatera en databas med hjälp av IRS-satellitbilder som ett alternativ till ortobilder från flygfoton. Satellitortofoton genererade från IRS-1C/1D PAN- och IRS-1C/1D LISS-bilder (se avsnitt 4.4.1.1 och 4.4.1.2), omsamlade till 2,5 m upplösning, användes.

En studie av insamling av vägdata för enskilda vägar genom skärmdigitalisering av satellitbild (Bergström, Eriksson (1997)) gjordes vid Skogsvårdsstyrelsen i Norrbotten 1997. Försöket använde SPOT XS multispektrala bilder, omsamlade till 10 m upplösning.

De båda studierna använde olika bildtyper, men i båda fallen konstateras att nya vägar är relativt lätta att identifiera i bilderna tack vare sin höga reflektans.

Man har god hjälp i identifieringen av sidomaterial, som till exempel flygbilder och kartor.

Lantmäteriverket gjorde 1991, tillsammans med Rymdbolaget, en studie (Aurell, Malmström, Engberg (1991)) i syfte att jämföra användbarheten av flygbilder från 9200 m höjd, SPOT pankromatiska bilder med 10 m upplösning och SPOT XS multispektrala bilder med 20 m upplösning för revidering av bland annat topografiska kartans vägar.

Studien fann inga signifikanta skillnader i tolkningsresultat vad gäller vägarnas – trots skillnaden i upplösning mellan de olika bilderna – fullständighet och geometriska form.

Precis som Bergström och Eriksson samt Aurell, Malmström och Engberg påvisar, konstaterar även Lantmäteriverkets studie (Talts (1997)) av IRS-1C pankromatiska bilder för kartering, att inte alltför smala vägar som regel syns i bilderna, men att man inte alltid kan se vägarna då de går genom öppen mark och över hyggen på grund av att dessa ytor har liknande spektral signatur som vägarna.

IRS-datas noggrannhet är under ideala förhållanden 2-3 m, men i realiteten sjunker noggrannheten i inmätningen snarare till 5-6 m på grund av bristande markstöd. I Telias försök uppskattas noggrannheten i inmätningen till knappa pixelstorleken, det vill säga ca 4-5 m. Uppdatering av nya objekt inom befintliga data-

baser och komplettering med nykartering kan göras med hög tillförlitlighet, enligt Telias studie.

I Skogsvårdsstyrelsens studie jämfördes mätningarna med en ”facit-mätning” som gjorts med en bärvågsunderstödd kodmätning med GPS, vilket gav skärmdigitalisering av satellitbild ett fel på halva pixelstorleken, det vill säga ca 10 m.

Bergström och Eriksson anser att pankromatiska SPOT-bilder med 10 m upplösning eller IRS-bilder skulle kunna underlätta tolkningen väsentligt. Olika bildbehandlingsmetoder ökar också säkerheten i bildtolkningen.

De konstaterar också att jämfört med DGPS är satellitbildsdigitalisering lämplig om många års nytillkomna vägar ska digitaliseras och om beskrivande data om vägnätet inte behöver samlas in.

Rymdbolaget gjorde 1998 ett försök (Gustafsson, Willén, Rost (1998)) för att studera möjligheten att kartlägga enskilda vägar med hjälp av satellitdata. I studien användes Landsat TM-bilder med 30 m upplösning. Man provade flera metoder för att upptäcka nya vägar och fann att bäst var om tolkaren hade tillgång till två bilder från olika tidpunkter samt använde det gamla vägnätet som stöd.

Liksom i andra studier hade man problem att finna vägar i öppen mark och även i städer. I skogen var det relativt enkelt att hitta de nya vägarna, eftersom vägarna har högre kontrast gentemot skogen än mot öppen mark.

Lägesnoggrannheten utvärderades mot topografiska kartans uppdaterade vägnät, kring vilket det skapades buffertzoner. 70% av de digitaliserade vägarna hamnade inom buffertzonen på 10 m, vilket får anses vara bra med tanke på bildernas geometriska upplösning, men man ansåg att noggrannheten var för låg för att användas till uppdatering av topografiska kartan. Bilder med upplösning i storleksordningen 30 m kan i stället användas i ett signalsystem för att hitta nya vägar i skogsmark eller där mer frekventa uppdateringar behövs, men med lägre krav på noggrannhet.

## **4 Val av metod**

### **4.1 Testområde**

Området för studien ligger i Åbyggeby, ca 1 mil norr om Gävle. Karta över området kan ses i bilaga 1, där även vägsystemets delsträckor finns numrerade.

Av en händelse upptäcktes att vägbilden på Lantmäteriets Fastighetskarta 13H7d stämde dåligt överens med det nya digitala ortofotot över området. Det var en av anledningarna till att just området i Åbyggeby valdes. Andra anledningar var områdets närhet till Gävle och att det under hösten 1999 stereokarterades inför kommande fältarbete.

Området är till största delen skogbeklätt, med ett antal myrar och hyggen. Kupeeringen är måttlig, vilket är gynnsamt för mottagning av differentiella korrektioner via radio för GPS-mätning.

### **4.2 Referensmaterial**

#### **4.2.1 Stereokarterade vägar**

Det huvudsakliga referensmaterialet i studien är vägar som karterats fotogrammetriskt.

Stereokarteringen för GGD görs huvudsakligen i bilder tagna från flyghöjd 4600 m. De instrument som används är analytiska stereoplottrar Zeiss Planicomp P3 och det medelfel i karteringen som kan förväntas är 600 mm i plan och 1000 mm i höjd.

Karteringen av testområdet gjordes under hösten 1999 och flygbilderna är tagna från 4600 m höjd under 1997.

### **4.2.2 RTK-mätta vägar**

RTK-mätningen kommer att användas som kontroll av stereokarteringen, för att få en bekräftelse på att stereokarteringen är av bra geometrisk kvalitet.

Den bilburna mätningen utfördes i början av maj 2000. Utrustningen som användes för RTK-mätning var GPS-mottagaren Ashtech Z-Surveyor med en Ashtech Geodetic antenn. För mottagning av korrektioner från Ciceron användes en Lucas DARC-radio från Sectra AB och en rundstrålande dipolantenn, internt kallad ”älghornet”.

Just denna utrustning valdes därför att den förväntas ge positioner med centimeternoggrannhet.

### **4.3 DGPS-mätning**

Trots att tidigare studier påvisat svårigheter med DGPS-mätning i skogsmiljö genomfördes försöket. Tidigare har man också haft problem med mottagning av Epos-korrektioner på grund av till exempel avskärmning av radiosignalerna och att radiomottagare och antenner haft för låg prestanda.

För de bilburna mätningarna, som ägde rum i mitten av april 2000, användes en Garmin GPS 12 XL GPS-mottagare och tillhörande extern antenn GA 27C med magnetfäste. Garmin-mottagaren är inte särskilt känslig för avbrott i mottagningen av korrektioner, på gott och ont. Å ena sidan kan den registrera positioner även i skogsmiljö, men å andra sidan registreras positioner trots att korrektionerna som tas emot är gamla och noggrannheten blir således sämre. Det är dessutom en relativt billig mottagare.

Signalerna från Epos (premiumtjänsten) togs emot med en RDS-radio av typ RX MAR1 och antennen som användes är en rundstrålande dipolantenn, av samma typ som användes vid RTK-mätningen. En sådan antenn fungerar bättre för mottagning av Epos-korrektioner än en sprötantenn, på grund av att Epos-signalen är horisontalpolariserad (Johansson (2000)).



#### **4.4 Mätning i satellitbild**

För högupplösande satellitbilder finns två alternativ, nämligen IRS-1C/1D och SPOT pankromatiska bilder. Valet av bild föll på en IRS-1C/1D pankromatisk bild på grund av att den fanns tillgänglig över Åbyggeby-området och var relativt nyregistrerad – den registrerades i slutet av juli 1999.

IRS-bilden har 5,8 m geometrisk upplösning, men levererades omsamplad till 5 m upplösning. Ortokorrigerad av bilden har gjorts med hjälp av Lantmäteriets höjddatabas och med stödpunkter ur Lantmäteriets digitala ortofoton med 1 m upplösning. Dessutom har en kontraststräckning av bilden gjorts.

IRS pankromatiska bilder har bara sex bitars data – till skillnad från SPOT pankromatiska bilder som har åtta bitars data – men man har bedömt det som tillräckligt för ändamålet.

För skärmdigitalisering av satellitbild användes programvaran AutoKa-PC 2.30 b2. Det beror dels på att programmet redan används i produktionen och dels på att tolkaren tidigare använt programmet i andra sammanhang.

##### **4.4.1 IRS-1C/1D**

De två satelliterna IRS-1C och IRS-1D är identiska och kretsar i polära, solsynkrona banor 817 km över jordytan. Satelliterna återkommer i samma banspår efter 341 varv, eller 24 dygn, men eftersom de två satelliterna är förskjutna i förhållande till varandra halveras den tiden.

De tre sensorerna ombord på satelliterna är en pankromatisk sensor, en multispektral sensor och en 'Wide Field Sensor' (Satellus hemsida (000406), OM&M:s hemsida (000406)).

##### **4.4.1.1 Pankromatisk sensor**

Den pankromatiska sensorn PAN har en rumslig upplösning på 5,8 m i nadir och stråkets bredd är 70 km. Det spektrala bandet sträcker sig från 500 till 750 nm och den radiometriska upplösningen är 6 bitar (64 nivåer).

Då sensorn kan riktas  $\pm 26^\circ$  från nadir, kan samma stråk registreras med endast fem dagars mellanrum (IRS handbook (1995)).

#### ***4.4.1.2 Multispektral sensor***

Sensorn LISS-III (Linear Imaging and Self Scanning Sensor) samlar data i fyra band inom den synliga (två band), nära infraröda och kortvågigt infraröda delen av spektrum.

Den rumsliga upplösningen är 23,5 m för de synliga banden och för det nära infraröda bandet. För det kortvågigt infraröda bandet är upplösningen 70,5 m. Den radiometriska upplösningen för LISS-III är 7 bitar (128 nivåer) och stråkbredden är 141 km för de synliga banden samt för det nära infraröda bandet och 148 km för det kortvågigt infraröda bandet (IRS handbook (1995)).

#### ***4.4.1.3 'Wide Field Sensor'***

'Wide Field Sensor' (WiFS) samlar data i två spektrala band med en rumslig upplösning på 188 m. De två banden är rött och nära infrarött. Stråkbredden för WiFS är 810 km och den radiometriska upplösningen är 7 bitar (128 nivåer) (IRS handbook (1995)).

## **5 Genomförande**

### **5.1 RTK-mätning**

#### **5.1.1 Mätning**

I avsnitt 4.2.2 redovisas den utrustning som användes. De GPS-mätta positionerna loggades i programvaran Ashtech Evaluate 5.0 i en bärbar PC.

GPS-mottagaren ställdes in för att ta emot RTCM-korrekationer. Att mätningen var rörlig angavs, liksom dynamiken i denna (gång) och förväntat flervägsfel (hög). Alternativen ”bil” för dynamiken och ”svår” för förväntat flervägsfel provades, men fixlösning (se avsnitt 2.1.1.2) erhöles inte.

En del av testområdets vägar mättes in med RTK-mätning varvid positioner loggades varje sekund. Fordonets hastighet var uppskattningsvis inte högre än 10 km/h, då hastighetsmätarens inte gav något utslag. Bilens position loggades alltså ungefär var 3:e meter, om hastigheten var 10 km/h.

GPS-antennen monterades ca 5,20 m över marken på en mast mitt på en släpvagn, då tidigare tester visat svårigheter att få fixlösning med lägre anten nhöjd. På samma mast fästes radioantennen ca 2,50 m över marken.

De delsträckor som mättes var inte fullt hela delsträcka 1 och nästan hela delsträcka 5 (se bilaga 2).

#### **5.1.2 Bearbetning av mätdata**

Programvaran Ashtech Evaluate, som användes för att logga data från inmätningen, gav en logfil, som efter mätningens slut rensades så att den endast kom att innehålla de mätpunkter där fixlösning (se avsnitt 2.1.1.2) erhöles. Dessa koordinater transformerades sedan med en 7-parameters Helmerttransformation i programvaran Gtrans till koordinatsystemet RT 90.

Filen med koordinater editerades sedan i programvaran Programmer's File Editor för att ett makro i APC, som binder samman mätpunkter i en koordinatfil till en linje, skulle kunna användas. Makrot hoppar dessutom över mätpunkter med samma plankoordinater som föregående mätpunkt, så att dessa ”filtreras bort”.

Programmer's File Editor användes också till att dela koordinatfilen så att varje ny koordinatfil endast innehöll en vägsträcka.

Flyttfiler från APC konverterades till shape-format för ArcView GIS 3.1, som användes för att göra kartpresentationer av mätningarna. Shape-filerna transformerades vidare till Arc/Info-format för analys av mätdata i Arc/Info 7.2.1 (A/I).

I A/I jämfördes de RTK-mätta punkterna mot de stereokarterade linjerna med kommandot NEAR, som beräknar avståndet från varje punkt i ett skikt till närmaste linje i ett annat skikt. Dessutom kan koordinater för punkten på referenslinjen lagras.

'Double precision', det vill säga dubbel precision för beräkning, användes i A/I på grund av att tillräcklig noggrannhet annars inte uppnås. 'Single precision' lagrar koordinatvärden med upp till sju signifikanta siffror, vilket betyder ungefär meternivå i RT 90, medan 'double precision' använder upp till femton signifikanta siffror (Arc/Info on-line help). De A/I-kommandon som användes kan ses i bilaga 3.

Data från A/I exporterades och togs sedan in i MS Excel 97 via dif-format för beräkning av bland annat medelvärden och standardavvikelser. För att kunna göra dessa beräkningar med programmets svenska inställningar måste alla decimalpunkter i dif-filerna ändras till decimalkomma, vilket kan göras i Excel.

### 5.1.3 Resultat

De delsträckor som mättes med RTK var inte fullt hela delsträcka 1 och nästan hela delsträcka 5 (se bilaga 2).

Medelvärde avser medelavvikelsen från de stereokarterade referensvägarna, standardavvikelse anger avvikelsernas spridning kring det "sanna" värdet, det vill säga de fotogrammetriskt karterade vägarna, och max resp min avvikelse är den största och den minsta avvikelsen från referensmaterialet.

Alla vägsträckor	
Medelvärde [m]	0,4
Standardavvikelse [m]	0,5
Största avvikelse [m]	3,1
Minsta avvikelse [m]	0,0
Vägsträckans längd [km]	8,0
Antal mätpunkter	3433
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	2,3

Tabell 5.1: Resultat från RTK-mätning av skogsbilvägar.

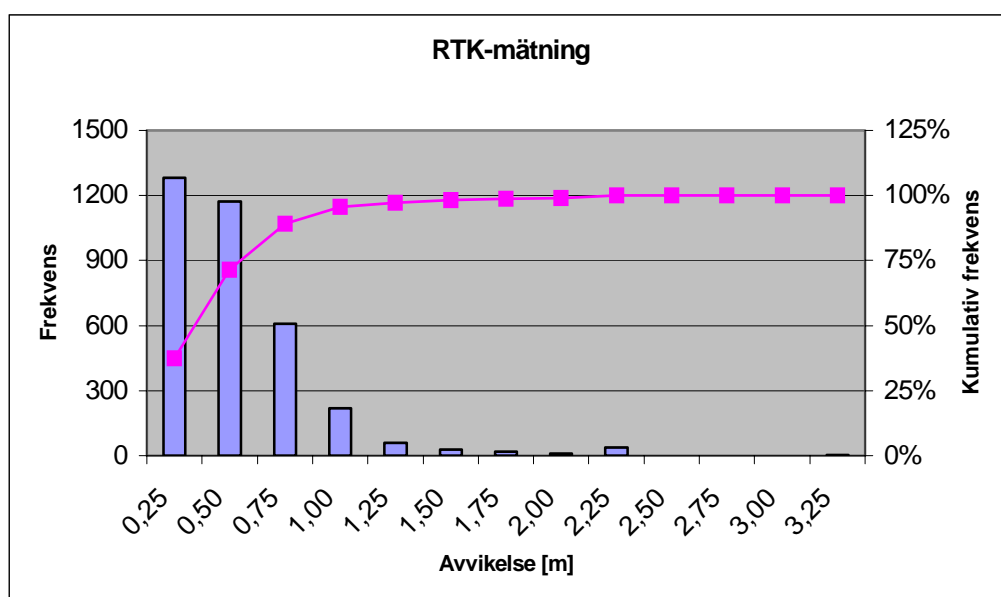


Fig 5.1: Fördelning av RTK-mätningens avvikelser från stereokarterade vägar.

## **5.2 DGPS-mätning**

### **5.2.1 Mätning**

Använd utrustning redovisas i avsnitt 4.3. För att logga positionerna som fås från GPS-mottagaren användes programvaran Kartex 3.05 i en bärbar PC. Kartex transformerar också GPS-data till koordinatsystemet RT 90 med en 7-parameters Helmerttransformation.

Koordinater ges dock endast i hela meter och man får inga höjdvärden från mätningen när Kartex används för att logga data.

GPS-mottagaren ställdes in på att ta emot RTCM-korrekationer och skicka ut NMEA-data (National Marine Electronics Association) till Kartex.

GPS-antennen placerades på bilens skåptak, ca 1,75 m över marken, ovanför förarens huvud för att antennen lätt skulle följa vägens mitt. Radioantennen monterades på ett takräcke på bilens hytt, ca 2,50 m över marken.

Vägarna inom testområdet mättes in fyra gånger, två gånger var dag under två på varandra följande dagar, vid ungefär samma tid på dagen. Ena dagen loggades positioner varje sekund och andra dagen loggades positioner varannan sekund. Bilens hastighet var ca 30 km/h, där inte gropar gjorde att hastigheten måste minskas. Det betyder att bilens position registrerades ungefär var 8:e meter resp var 16:e meter.

Ett hinder över vägen gjorde att alla delsträckor i vägsystemet inte kunde mätas in under första mätdagen. Inmätning av delsträcka 7 kunde inte genomföras och dessutom mättes delsträcka 3 bara en gång, eftersom det var nödvändigt att backa därifrån.

### **5.2.2 Bearbetning av mätdata**

De loggade koordinaterna från DGPS-mätningen erhöles som textfiler via Kartex. Dessa textfiler togs sedan in i APC med hjälp av ett makro, som binder samman mätpunkterna i en koordinatfil till en linje (se avsnitt 5.1.2). Under första mätdagen var inte alla alternativ för DGPS-mätningen korrekt inställda i Kartex, varför dessa koordinatfiler editerades i Programmer's File Editor innan inläsning i APC.

Data från mätningarna delades in i fyra arbetsdatabaser i APC – två baser från första mätdagen och två baser från andra dagen, med vardera en inmätning av varje vägsträcka. Senare delades dessa databaser ytterligare för att kunna redovisa mätningarna vägsträcka för vägsträcka.

Flyttfiler från APC konverterades till shape-format för ArcView GIS 3.1, och dessa filer transformerades vidare till Arc/Info-format för analys av mätdata i A/I.

Dessa mätdata analyserades på samma sätt som RTK-data i A/I (se avsnitt 5.1.2). Se även bilaga 3, där de A/I-kommandon som användes finns redovisade.

Efter genomförd analys exporterades data till MS Excel 97, för beräkning av bland annat medelvärde. För att kunna göra dessa beräkningar med programmets svenska inställningar måste alla decimalpunkter i filerna ändras till decimalkomma, vilket kan göras i Excel.

MS Excel användes även för att plocka bort ett fåtal mätpunkter som låg utanför kartbladet 13H7d, och där det alltså inte fanns stereokarterat referensmaterial att tillgå, liksom längs den väg där det gick att köra längre än vägen stereokarterats.

### **5.2.3 Resultat**

Mätningarna från första mätdagen innehåller färre vägsträckor än andra dagen, vilket beror på att ett träd låg över vägen (delsträcka 3), och mätning inte kunde genomföras av delsträcka 7. Dessutom mättes delsträcka 3 bara en gång under första dagen, eftersom det var nödvändigt att backa därifrån.

För mätning 1 och 2, som gjordes under första mätdagen, loggades bilens position varje sekund. För mätning 3 och 4, som gjordes under andra mätdagen, loggades positioner varannan sekund.

Medelvärde avser medelavvikelsen från stereokarterade referensvägar, standardavvikelse anger avvikelsernas spridning kring det ”sanna” värdet, det vill säga de stereokarterade vägarna, och max avvikelse är den största avvikelsen från referensmaterialet.

Resultat för de olika delsträckorna kan ses i bilaga 4.

Alla vägsträckor	Mätning 1*	Mätning 2**	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	2,5	2,0	2,8	3,3
Standardavvikelse [m]	3,7	2,8	3,8	4,6
Största avvikelse [m]	16,0	15,4	16,9	15,7
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	13,1	13,6	14,9	14,6
Antal mätpunkter	1486	1486	1005	980
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	8,8	9,1	14,8	14,9

\* I mätning 1 saknas delsträcka 3 som endast mättes en gång under första dagen. Sträcka 7 mättes inte heller under första dagen.

\*\* Delsträcka 7 mättes inte under första mätdagen.

Tabell 5.2: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar.

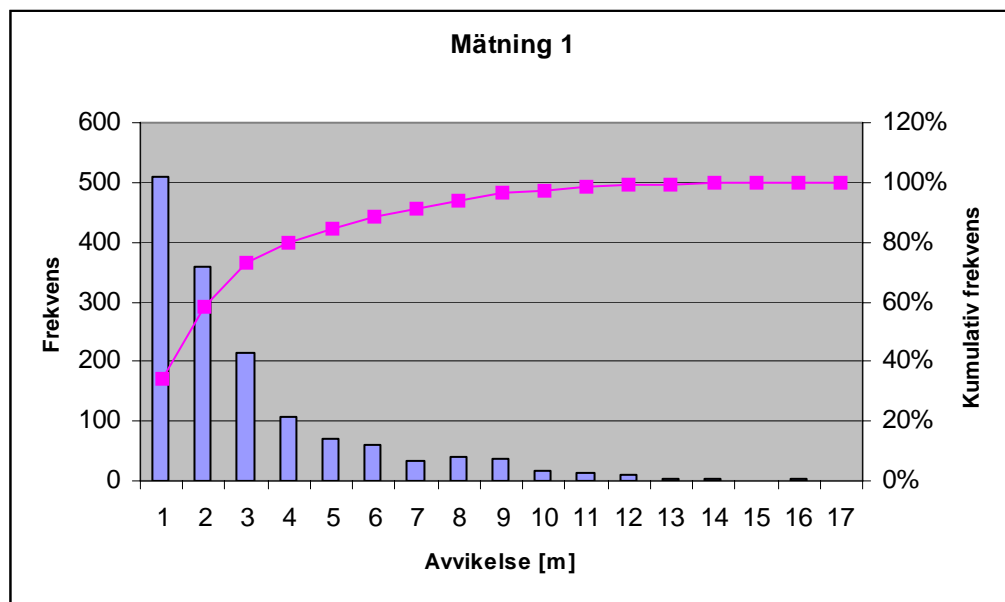


Fig 5.2: Fördelning av den första DGPS-mätningens avvikelser från stereokarterade vägar.



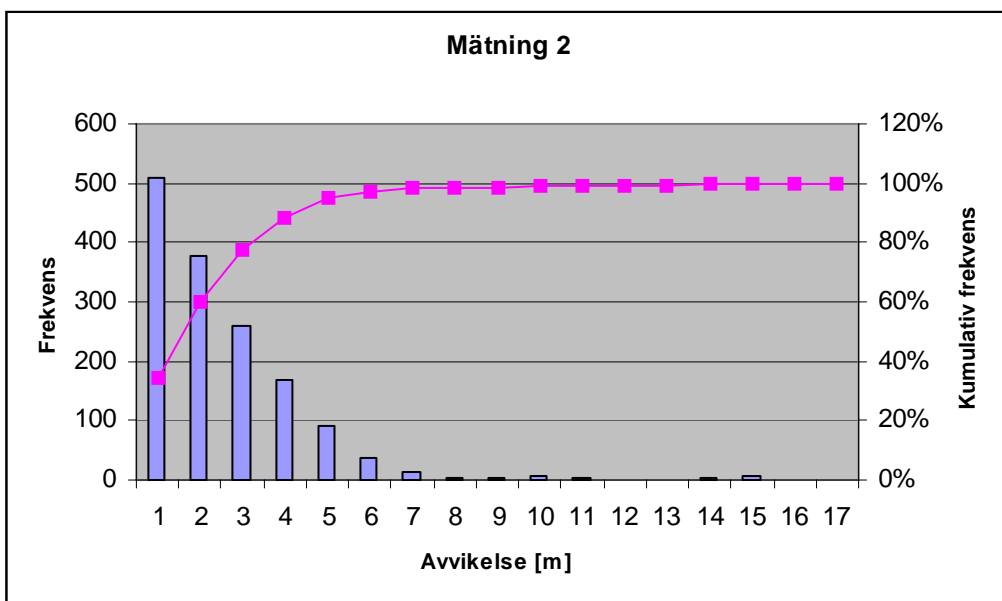


Fig 5.3: Fördelning av den andra DGPS-mätningens avvikelser från stereokarterade vägar.

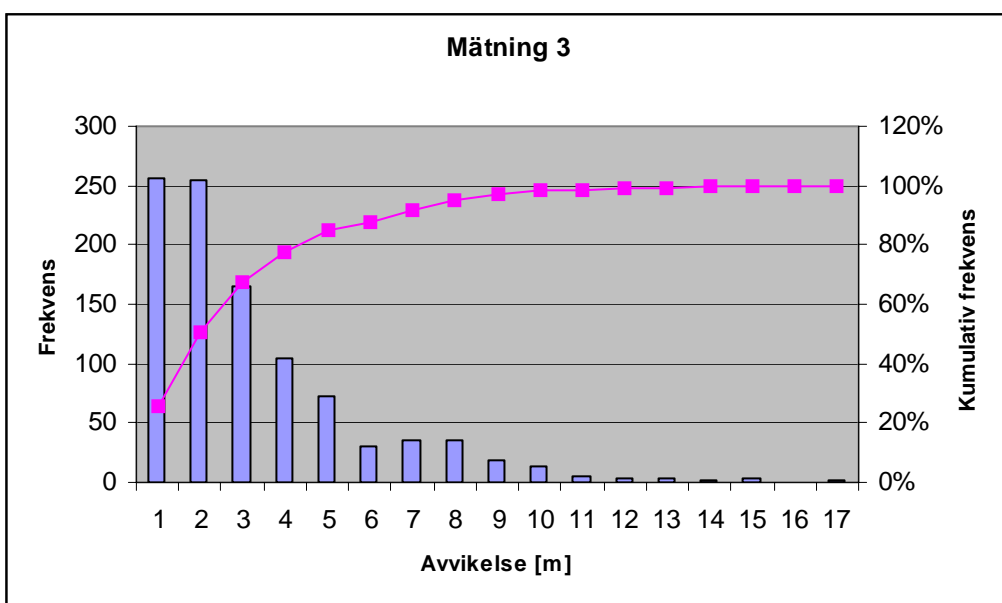


Fig 5.4: Fördelning av den tredje DGPS-mätningens avvikelser från stereokarterade vägar.

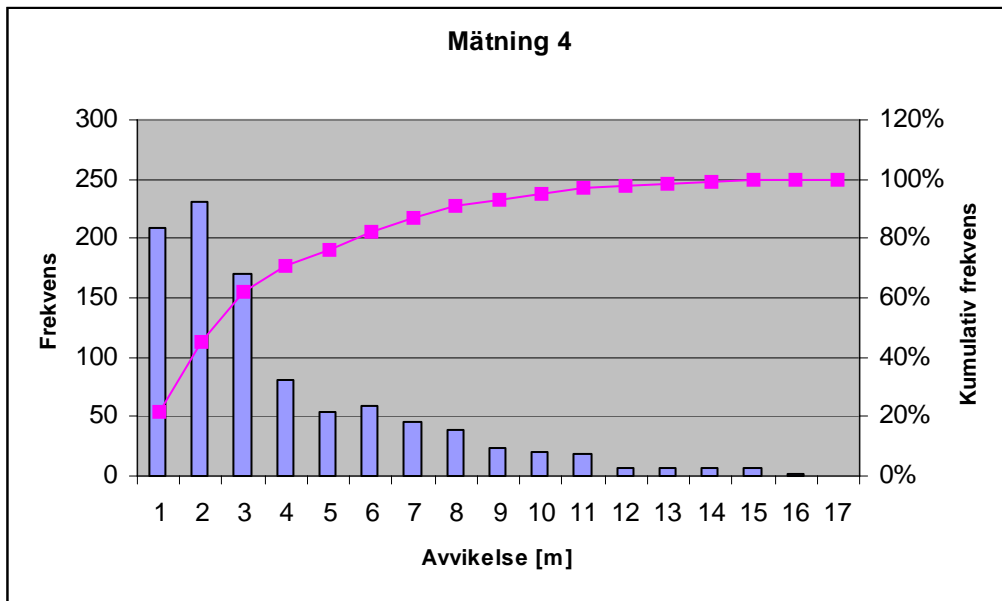


Fig 5.5: Fördelning av den fjärde DGPS-mätningens avvikelser från stereokarterade vägar.

### 5.3 Satellitbildsmätning

#### 5.3.1 Mätning

Den satellitbild som användes finns beskriven i avsnitt 4.4. För skärmdigitalisering av satellitbild användes programvaran AutoKa-PC 2.30 b2. Innan bilden kunde användas delades den upp i ekorutor och kontraststräcktes.

Den ortokorrigerade satellitbilden lästes in i APC, varpå skärmdigitalisering av skogsbilvägarna skedde. Digitaliseringen gjordes två gånger, oberoende av varandra. Den första gången gjordes digitaliseringen i skala 1:5000 och den andra gången var skalan 1:4000.

#### 5.3.2 Bearbetning av mätdata

Mätningarna resulterade i två arbetsdatabaser, en för varje mätning. Dessa delades senare ytterligare för att kunna redovisa resultaten för de olika delsträckorna.

Precis som data från de båda GPS-mätningarna togs de skärmdigitaliserade vägarna in i ArcView GIS 3.1 för presentation. Flyttfiler från APC, som användes för skärmdigitaliseringen, konverterades därför till shape-format. Innan analys av data kunde ske i A/I transformerades data ytterligare en gång, till A/I-format.

Data från skärmdigitaliseringen analyserades i A/I, med bland annat NEAR-kommandot, på samma sätt som data från GPS-mätningarna (se avsnitt 5.1.2) och de kommandon som användes kan ses i bilaga 2.

Därefter exporterades även dessa resultat till MS Excel 97, via dif-format, för beräkning av statistik.

### 5.3.3 Resultat

Medelvärde avser medelavvikelsen från stereokarterade referensvägar, standardavvikelse anger avvikelsernas spridning kring det ”sanna” värdet, det vill säga de stereokarterade vägarna och max resp min avvikelse är den största och den minsta avvikelsen från referensmaterialet.

Resultaten för de sju delsträckorna kan ses i bilaga 5.

Alla vägsträckor	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	4,1	4,3
Standardavvikelse [m]	5,4	5,6
Största avvikelse [m]	19,4	20,0
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	14,7	14,7
Antal mätpunkter	379	411
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	38,8	35,8

Tabell 5.3: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar.

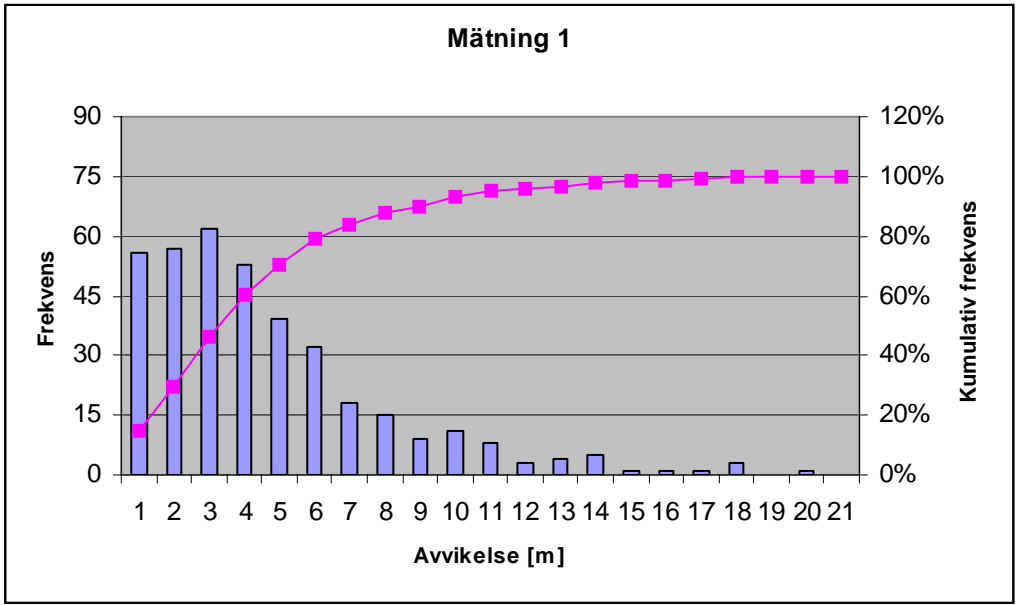


Fig 5.6: Fördelning av den första satellitbildmätningens avvikelser från stereokarterade vägar.

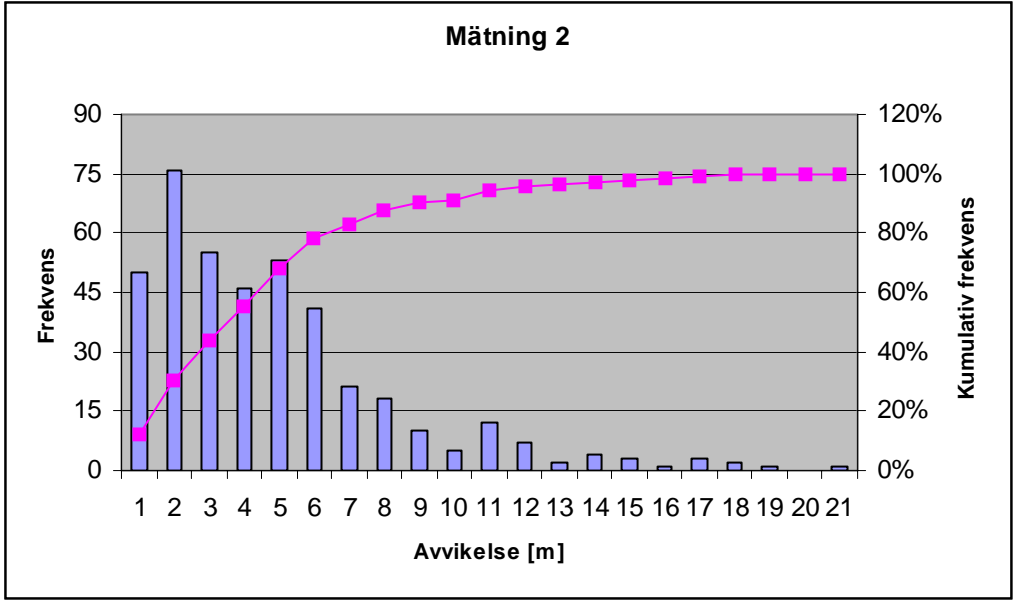


Fig 5.7: Fördelning av den andra satellitbildmätningens avvikelser från stereokarterade vägar.

## 6 Diskussion

### 6.1 Lägesnoggrannhet

#### 6.1.1 RTK-mätning vs stereokarterat material

##### 6.1.1.1 Kommentarer till resultaten

RTK-mätningarna stämmer väl överens med de stereokarterade vägarna, varför ingen anledning finns att säga att stereokarteringen inte är tillförlitlig.

Avvikelsen från det stereokarterade materialet är i medeltal 0,4 m med en standardavvikelse på 0,5 m. För 95% av de RTK-mätta vägpunkterna är avvikelsen mindre än 1 m.

Det finns dock ett fåtal GPS-mätta punkter som har relativt stor avvikelse – upp till drygt 3 m – som troligen kan förklaras med att hög och tät skog skärmar av satellitsignalerna eller att radiomottagningen är svag. Dessutom blir jonosfärs- och troposfärspåverkan större på längre avstånd från referensstationen – testområdet är beläget ca 1 mil från referensstationen på Lantmäteriverket – vilket kan orsaka enstaka avvikande positioner.

##### 6.1.1.2 Utvärdering av noggrannheten

Masten i vilken GPS-antennen fästes svajade en del, vilket ger en osäkerhet i positionsbestämningen. Avvikelsen från lodlinjen uppskattades till 0,2 m i extremlägena.

Precisionen i körningen längs vägens mittlinje skattades till 0,2 m, då hastigheten var mycket låg.

Då vägen både lutar och kröker samtidigt får man ett systematiskt fel i horisontell position beroende på att antennens verkliga position inte är lodrätt ovanför den sökta punkten. Så länge som vägen lutar men är rak hamnar antennen ändå i vägmitt och förskjutningen i plan har då ingen påverkan på mätningen. Om vägens lutning är känd kan felet elimineras. (Norén (1997)).

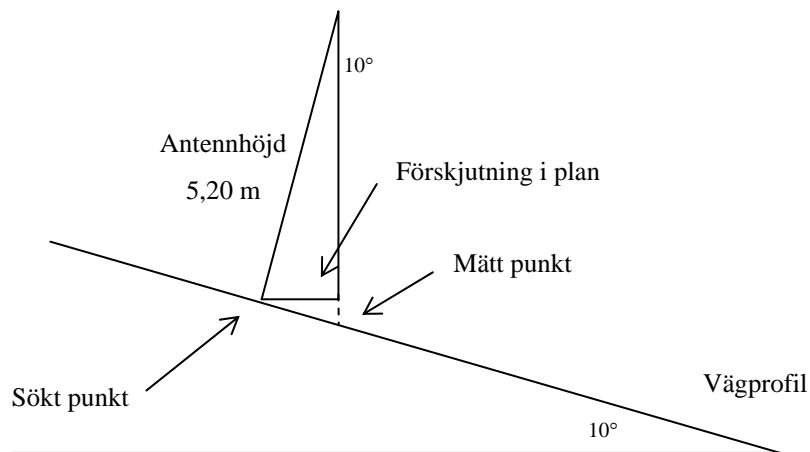


Fig 6.1: Väg lutningens påverkan på horisontell position (Norén (1997)).

Om vägen till exempel lutar  $10^\circ$  och antennhöjden är 5,20 m blir förskjutningen i plan ca 0,9 m. Eftersom antennen var så högt placerad, kan masthöjden orsaka ett relativt stort fel, och kan också vara en del av förklaringen till det fåtal stora avvikelser från det stereokarterade materialet.

I de fall då högre noggrannhet krävs kan en inklinometer installeras i mätfordonet, för registrering av vägens lutning och mätdata kan då i efterhand korrigeras.

Sammantaget ger dessa felkällor en osäkerhet i positionsbestämningen. Variansen för positioneringen kan skattas med  $(0,2 \text{ m})^2 + (0,2 \text{ m})^2 + (0,9 \text{ m})^2 = 0,89 \text{ m}^2$ , vilket ger att det skattade medelfelet är ca 0,9 m. Om väg lutningen skulle vara  $5^\circ$  ger det en förskjutning i plan på ca 0,5 m och medelfelet blir i stället ca 0,5 m.

Ingen hänsyn till satellitkonfigurationen togs vid mätningen. Om mätningen i stället hade utförts då satellitkonfigurationen varit optimal med hänsyn till eventuell avskärmning från topografi och skog hade avstegen från referensmaterialet kanske kunnat minskas något.

## 6.1.2 DGPS-mätning

### 6.1.2.1 Kommentarer till resultaten

De fyra mätningarna av hela vägnätet stämmer väl överens, med medelavvikelser från referensmaterialet – de stereokarterade vägarna – från 2 m till lite drygt 3 m och standardavvikelse för dessa varierande från knappt 3 m till strax över 4,5 m. De maximala avvikelserna för de fyra mätningarna ligger på 15,5-16,9 m.

För den första mätningen ligger 95% av mätvärdena inom 12 m från den stereokarterade vägen, medan motsvarande avvikelser för de andra mätningarna är 10, 12 resp knappt 14 m.

De variationer i noggrannhet – för de olika delsträckorna och för de olika mätningarna – som kan ses i mätresultaten kan antas bero på skillnader i satellitgeometrin, liksom variationer i radiomottagningen, på grund av bland annat atmosfärisk aktivitet.

Vid inbördes jämförelser av delsträckorna visade det sig att för delar av delsträckorna 1, 3, 4 och 5 sammanföll de stora avvikelserna från referensmaterialet ganska väl mellan de fyra mätningarna, vilket kan ses i bilaga 6. Längs delsträcka 3 är skogen relativt hög nära vägen och i södra delen av delsträcka 5 noterades att radiomottagningen inte var så bra.

De stora avvikelserna tyder alltså på att högvuxen skog hindrar satellitsignalerna att nå ner till GPS-antennen eller att radiomottagningen är dålig på dessa ställen.

I kartan över sträcka 3 kan en ”ögla” i mätning 3 ses. Den beror på att fordonet stannades för att ett vindfälle skulle kunna avlägsnas och mätningen inte genast stoppades. ”Ögla” har inte bedömts vara avgörande för studiens resultat, varför den inte har tagits bort ur mätningarna. Den är också ett exempel på hur mätdata behöver redigeras för att kunna lagras i Lantmäteriets databas.

I bilaga 7 kan avvikelserna ses, delsträcka för delsträcka. Att många av avvikelserna verkar ha systematisk karaktär tros bero på att de antalet satelliter, vars signaler togs emot, varierade under mätningen och att satellitgeometrin varierade på grund av skogens avskärmning.

Man kan också se i bilaga 7 att en del vändplaner och vägkorsningar tolkats lite annorlunda, jämfört med den fotogrammetriska karteringen. Det torde dock röra sig om relativt små fel som detta orsakar. Vändplanerna i slutet av vägarna är inte heller karterade i varje mätning, men det var av praktiska skäl som detta inte gjordes.

I efterhand kan man konstatera att även andra typer av data borde ha loggats vid mätningen, såsom vilka satelliters signaler som togs emot. Då hade man kunnat se om ändringar i antal satelliter och ändringar vad gäller vilka satelliter som används av mottagaren orsakar plötsliga ändringar i registrerad position.

### **6.1.2.2 Utvärdering av noggrannheten**

Vid mätningen placerades GPS-antennen på bilens tak, ca 1,75 m över marken, ovanför förarens huvud för att antennen lätt skulle följa vägens mitt. Precisionen i körningen uppskattades till ca 0,5 m för de vägar som ingick i testet, det vill säga grusvägar utan både mitt- och kantlinjer. Detta torde inte ha någon större betydelse för resultatet i sig, då det visade sig att avvikelserna från referensmaterialet är större än 0,5 m för flertalet av mätpunkterna.

Kartex ger endast koordinater på hela meter när. Det betyder att man får avrundningsfel på upp till 0,5 m för de inmätta vägpunkterna.

Då vägen både lutar och kröker samtidigt får man ett systematiskt fel i horisontell position beroende på att antennens verkliga position inte är lodrätt ovanför den sökta punkten (se avsnitt 6.1.1.2). Om vägen till exempel lutar  $10^\circ$  och antennhöjden i detta fall är 1,75 blir förskjutningen i plan ca 0,3 m.

Dessa tre felkällor ger således en osäkerhet i positionsbestämningen. Variansen för positioneringen kan skattas med  $(0,5 \text{ m})^2 + (0,5 \text{ m})^2 + (0,3 \text{ m})^2 = 0,59 \text{ m}^2$ , vilket ger det skattade medelfelet som är ca 0,8 m.



Satellitkonfigurationen bedömdes vara ganska likvärdig under hela dagen, varför ingen hänsyn till detta togs vid mätning. Om metoden ska kunna användas vid ajourföring av topografiska databaser bör det dessutom vara möjligt att mäta när behov finns, utan att behöva göra avbrott i arbetet på grund av att satellitkonfigurationen är svag.

Det är naturligtvis möjligt att svag satellitkonfiguration påverkat mätningarna negativt, och att lägesnoggrannheten skulle ha kunnat bli bättre om mätningen genomförts då satellitgeometrin varit optimal.

Några enstaka gånger registrerades ingen position i Kartex, så att intervallet mellan två registreringar blev två resp fyra sekunder. Vad det kan bero på är oklart, men en teori är att GPS-mottagaren inte hade kontakt med tillräckligt många satelliter i just det ögonblicket registrering skulle ha skett. Att avståndet mellan två registreringar blir längre har troligen ingen större inverkan på resultatet, eftersom det ändå inte rör sig om större avstånd än ca 20 resp 30 m.

Testområdet i Åbyggeby är ganska gynnsamt för DGPS-mätning, eftersom det är relativt svagt kuperat. I andra terrängtyper, med starkare kupering, blir lägesnoggrannheten troligtvis lägre, på grund av försämrade radiomottagning och ökad avskärmning av satellitsignaler.

Mätningen utfördes före lövsprickning, varför inget kan sägas om resultat för mätningar under växtsäsongen. Lövade träd kan medföra att satellitsignalerna får svårare att nå ner till GPS-mottagaren.

Inte heller förekommer några vägöverfarter i testområdet. Om man med mätfordonet skulle åka under en sådan skulle man troligen få sämre mätvärden eller inga mätvärden alls på grund av att satellitsignalerna inte når ner till mottagaren.

I försöket med DGPS-inmätning av skogsbilvägar har medelvärdesbildning inte tillämpats, utan varje mätning har utvärderats separat. Dels bedömdes noggrannheten från en enskild mätning vara tillräcklig utan medelvärdesbildning, dels är det mer tidskrävande att mäta varje vägsträcka flera gånger för att sedan medelvärdesbilda.

Om man önskar högre noggrannhet i inmätningen kan alltså en medelvärdesbildning av flera mätningar göras. Några metoder som använts i tidigare försök är skärmdigitalisering med endast de GPS-mätta väglinjerna som bakgrundsdata (Bergström, Eriksson (1997)), liksom en algoritm för medelvärdesbildning i Vägverkets egen programvara (Norén (1997)). I samband med Bell Canadas inmätning av vägnätet för räddningstjänsten (Hauschildt, Ball, Tinline (1999)) utvecklades en liknande algoritm för CAD-programvara.

### **6.1.3 Satellitbildsmätning**

#### ***6.1.3.1 Kommentarer till resultaten***

De två mätningarna som omfattar hela vägnätet har båda medelavvikelser på drygt 4 m, vilket är något mindre än bildpixlarnas storlek, och standardavvikelser på ca 5,5 m. De största avvikelserna från referensmaterialet – de stereokarterade vägarna – är omkring 20 m.

För mätning 1 ligger 95% av de mätta punkterna inom 11 m från referensvägarna. Motsvarande värde för den andra mätningen är knappt 12 m.

Medelavvikelserna för de olika delsträckorna varierade mellan 2,0 och 7,6 m vilket man får anse vara relativt bra, då IRS-bilden har en pixelstorlek på 5 m. I bilaga 8 kan alla delsträckor ses var för sig.

De två mätningarna stämmer väl överens, och där man kan se stora avvikelser kan man även se att dessa har systematisk karaktär. I bilaga 8 kan man också se att i flera fall ligger vägarna som är karterade från satellitbilden nord eller nordväst om referensvägarna, i synnerhet där skogen är hög nära vägen.

Det tros bero på den låga solvinkel som förekommer på Sveriges breddgrader och att skogens skugga då faller på vägen från sydost och att vägens södra sida således ”maskas av” och att man i stället mäter in dess norra sida eller vägren, som är solbelysta. Normal passertid över Sverige för fjärranalyssatelliter är ca 10:30-11:00 på förmiddagen, varför skuggorna faller mot nordväst (Eriksson J. (2000)).

För delar av vägnätet var det relativt svårt att se vägen tydligt i bilden. Det gäller bland annat södra delen av delsträcka 1, där en molnskugga gör bilden mycket mörk. Kring delsträcka 3, som är en ganska smal väg där gräs växer i mittsträngen, är skogen hög relativt nära vägen, vilket gör att vägen just där är oskarp i bilden. Även längs norra delen av sträcka 1 är vägens sträckning oklar, på grund av att bilden är mörk.

För kortare sträckor är man helt enkelt tvungen att gissa hur vägen går, eftersom det inte syns i bilden. Det gör naturligtvis att lägesnoggrannheten sjunker.

I vissa fall är det svårt att se vändplanerna i slutet av vägarna, varför dessa inte alltid har karterats.

### **6.1.3.2 Utvärdering av noggrannheten**

Tidigare försök (Talts (1997)) har visat att medelfelet i den ortokorrigerade IRS-bildens geometri är 3,5-4 m, vilket skulle kunna gälla även här.

Svårigheten i detta fall att hitta vägmitt – eller vägen över huvud taget – gör att lägesnoggrannheten sjunker ytterligare. Svårigheten i att finna vägmitt ger ett fel som ligger något under pixelnivå, uppskattningsvis ca 4 m. Sammantaget gör dessa felkällor att den skattade variansen i positionsbestämningen blir  $(4 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2 = 32 \text{ m}^2$ . Det skattade medelfelet blir då ca 5,7 m.

Mätningen utfördes endast två gånger, till skillnad från DGPS-mätningen som gjordes fyra gånger. Det berodde i första hand på tidsbrist, men det visade sig sedan att de två satellitbildsmätningarna stämde väl överens med varandra.

Generellt gäller att vägarna syns sämre då de går över områden som spektralt liknar vägarna, såsom nyligen avverkade hyggen och åkrar. Molnskuggor och dis påverkar också bildkvaliteten för väginmätning, liksom skuggor från träd – särskilt om höga träd står längs vägen intill vägkant. Skugglängden påverkas också av sned solbelysning, vilket ofta förekommer här på Sveriges höga breddgrader.

Antagligen skulle studien kunnat ge något bättre resultat om en mer van bildtolkare karterat vägarna.

Ett alternativt användningsområde för satellitbilder är avisering av nytillkomna skogsbilvägar, som sedan mäts in med någon mer noggrann metod.

## **6.2 Metodernas fullständighet, tidsåtgång och kostnad**

### **6.2.1 Fullständighet**

De vägar som är tillgängliga med personbil kan mätas in med DGPS, men man bör inte utföra mätningen då vägarna är särskilt sårbara, till exempel under tjällossning. De hinder som kan förekomma för DGPS-mätning per bil är bland annat vägbommar, vägarbete och virkestransporter. För att effektivt kunna göra de mätningar man önskar bör man se till att få tillgång till eventuella bomnycklar. Vad gäller de andra hindren kan man ta kontakt med markägaren om man önskar information.

Vid genomförandet av DGPS-mätningen för denna studie påträffades ett vindfälle över vägen. När detta var undanröjt kunde alla vägar som stereokarterats även mätas in med DGPS. Hinder som detta gör att fullständigheten ibland är sämre än fotogrammetrisk kartering.

En fördel med DGPS-mätning, jämfört med skärmdigitalisering från satellitbild, är att man lätt kan samla in beskrivande data om vägarna samtidigt som de mäts in.

I satellitbilden kan allt karteras som kan ses ovanifrån. Det är alltså ungefär samma som gäller vid kartering från flygbilder, förutom att upplösningen är lägre.

Dock kan mindre och äldre skogsbilvägar vara svåra att upptäcka i bilden, varför man inte kan vara säker på att få en fullständig kartering.

Nackdelen med satellitbilder är att dålig bildkvalitet hindrar kartering. Här i Sverige är det vanligt att åtminstone delar av satellitbilden är molntäckt, vilket är ett problem. Även molnskugga och skuggor från träd försvårar karteringen. Inte heller kan vägarna klassas lika enkelt som vid DGPS-mätning.

Ingen av de två metoderna i denna studie ger höjdvärden, vilket får ses som en nackdel gentemot traditionell stereokartering.

### 6.2.2 Tidsåtgång

Inför DGPS-mätning finns behov av en del förberedelser, såsom till exempel anskaffning av bomnycklar, befintliga kartor över området och eventuellt annan information, planering av mätning samt, som utrustningen ser ut idag, montering av utrustning. Inför ett mätprojekt som liknar detta kan man behöva någon dag till förberedelser.

Testområdets vägar mättes fyra gånger på knappt två dagar, men då förekom nästan inga transporter inom området. Ska man till exempel mäta in alla vägar i ett område ökar tiden för transporter mellan olika vägsystem.

Som utrustningen ser ut idag bör man vara två personer för att utföra mätningen på ett rationellt sätt. För att utrustningen ska bli fältmässig, och mätningen kunna utföras av en person, måste en anpassning ske. Man bör sammanfoga radio och GPS-mottagare i en enhet som kan fästas i bilen för att minska mängden kablar och för att underlätta mätningen. I stället för en bärbar PC skulle en fast monterad dator i bilen kunna användas. Strömförsörjningen skulle kunna tillgodoses av cigarettändaruttaget i bilen.

Idag måste mätfilerna från DGPS-mätningen bearbetas för att kunna tas in i databas. Koordinaterna måste bindas samman till en väglinje och nyinmätta vägar måste anslutas till befintligt vägnät. Knappt en dag gick åt till detta för de fyra mätningarna av testområdet i Åbyggeby. En anpassning av programvara för väginmätning skulle minska den tiden avsevärt, i och med att bildande av väglinjer och anslutning till befintliga vägar skulle kunna göras direkt vid inmätningen.

Satellitscenen levererades i det här fallet ortokorrigerad, efter att höjddata och data om stödpunkter skickats till leverantören, varför inte lång tid gick åt till ytterligare förberedelser. Scenen delades i ekorutor och kontraststräcktes. Sammantaget uppskattas tidsåtgången för förberedelser av satellitbildsmätningen ha tagit marginellt längre tid än förberedelser av DGPS-mätningen. Leveransen av bilden drog dock ut på tiden med ca en månad på grund av tekniska problem. Dessutom kan det vara svårt att få tag på molnfria bilder.

Skärmdigitaliseringen går snabbare att genomföra än DGPS-mätningen, även om den effektiva tiden för mätning inte skiljer så mycket mellan de två metoderna. Digitalisering två gånger av testområdets vägar tog ungefär en halv dag.

I det här fallet skulle en enklare efterbearbetning behöva ske för att göra anslutning till befintligt vägnät i databasen. Det borde dock vara möjligt att ta in satellitbilden och befintliga topografiska data som bakgrundsbild, för att därefter göra en skärmdigitalisering av skogsbilvägarna som direkt ansluts till det tidigare vägnätet.

En ekoruta som 13H7d, där testområdet ligger, tar ca 10-12 timmar att kartera i stereoinstrument, men den tiden omfattar alla topografiska detaljer inom bladet. Uppskattningsvis tar själva digitaliseringen av skogsbilvägar ungefär lika lång tid i stereomodell som i satellitortobild.

### **6.2.3 Kostnad**

Kostnaden för den DGPS-utrustning som användes i Åbyggeby (se avsnitt 4.3) är ca 8000-10000 kr. Då är programvaran Kartex inkluderad, men inte Epos-abonnemanget. Att abonnera på Epos premiumtjänst kostar mellan 4000 och 6000 kr per år, exkl moms, beroende på bindningstid.

Till detta kommer kostnad för en anpassning av utrustning (se avsnitt 6.2.2) för att göra den mer användarvänlig. En anpassning av programvara bör också ske (se avsnitt 6.2.2), vilket också medför en kostnad.

Satellitscenen som användes kostar 32500 kr för  $70 \times 70$  km. Det betyder att en scen som mest täcker 196 ekorutor à  $5 \times 5$  km, beroende på scenens placering och om den är molnfri. Kostnaden per ekoruta blir då inte särskilt stor, men oftast är man endast intresserad av att ajourföra mindre områden. Det gör att kostnaden för bilden blir mycket stor, men om man kan hitta flera tillämpningar för bilden minskar dock kostnaden som ska bäras av ajourhållningen.

För skärmdigitalisering behövs också någon programvara, till exempel AutoKa-PC som för enskild licens kostar ca 50000 kr exkl moms i grundutförande.

En grov uppskattning av kostnaden för ajouurföring av en toporuta (25 × 25 km) gjordes för både DGPS – under förutsättning att utrustningen ser ut som idag och att det underlättar betydligt att vara två personer under inmätningen – och satellitbildsmätning. Beräkningen bortser från annan utrustning än den som anges nedan.

	Antal väginmätningar*	Personalkostnad		Kostnad för bil		Kostnad för satellitbild		Summa [kr]
		Antal pd**	Kr / pd	Antal mil	Kr / mil	Antal bilder	Kr / bild	
DGPS-mätning	5	5,5 (1+4+0,5)	4000	15	15	–	–	22225
	10	10 (1+8+1)	4000	30	15	–	–	40450
	20	20 (2+16+2)	4000	60	15	–	–	80900
Satellitbildsmätning	5	3,5 (2+1,5+0)	4000	–	–	1	32500	46500
	10	4,5 (2+2,5+0)	4000	–	–	1	32500	50500
	20	7 (2+5+0)	4000	–	–	1	32500	60500

\* Med en inmätning avses ett vägsystem, liknande det i Åbyggeby.

\*\* Pd = persondagar. Antalen inom parentes anger antal persondagar för förberedelse, mätning resp efterbearbetning av data. Två personer krävs för mätningen med DGPS.

Tabell 6.1: Översikt över kostnaden för DGPS-mätning och satellitbildsmätning.

Skattningen påverkas i högsta grad av hur många och långa vägar som ska mätas in med DGPS och hur vägsystemet ser ut, samt i vilken grad man kan utnyttja satellitbilderna. DGPS-mätningen är idag mycket kostnadskrävande, eftersom den kräver två personer under mätning. Man kan se att kostnaden för DGPS-mätning ökar kraftigt med längden vägsträcka och antalet vägar som ska mätas in, medan kostnaden för satellitbildsmätning inte alls ökar lika mycket med mängden inmätning, utan snarare är beroende av hur många satellitbilder som krävs för att få täckning.

För DGPS-mätningen tillkommer också kostnader för resa till och från området där inmätning ska ske.

Dessa kostnader kan jämföras med kostnaden för stereokartering av en toporuta. Om flyghöjden är 4600 m behövs 25 stereomodeller. Tillsammans kostar de omkring 37500 kr och då är flygfotografering och blocktriangulering inräknat. Stereokarteringen kan antas kostar lika mycket som satellitbildsmätning.

För stereokartering krävs dessutom en analytisk plotter för vilken kostnaden är avsevärd.

Dock gäller för flera av de nämnda utrustningarna – Kartex, APC och stereoplottar – att de redan finns tillgängliga inom Lantmäteriet.



## 7 Slutsatser

Inmätning med DGPS visade sig ge bättre geometrisk noggrannhet än skärmdigitalisering med IRS-bild som bakgrund.

Nedanstående värden erhöles vid mätning i Åbyggeby. Medelvärde avser medelavvikelse från stereokarterade referensvägar, standardavvikelse anger mätvärdernas spridning kring det "sanna" värdet, det vill säga referensmaterialet, och maxavvikelse är den största avvikelsen från de stereokarterade vägar.

	Medelvärde [m]	Standardavvikelse [m]	Max avvikelse [m]
DGPS-mätning	2,0-3,3	2,8-4,6	15,4-16,9
Satellitbildsmätning	4,1-4,3	5,4-5,6	19,4-20,0

Fig 7.1: Sammanställning av geometrisk noggrannhet för de två testade mätmetoderna.

De värden som redovisas ovan påverkas av olika faktorer. För DGPS-mätningen är dessa bland annat dålig radiomottagning och avskärmning av satellitsignaler, liksom precisionen i körning av mätfordonet. Satellitbildskarteringen påverkas bland annat av bildens kvalitet, till exempel bildens geometri, moln och skuggor från träd.

Felen som förekommer vid båda mätningarna tycks ha systematisk karaktär. En anledning till detta kan vara att antalet satelliter, vars signaler tas emot under mätningen, varierar och att satellitgeometrin varierar på grund av avskärmning. Här i Sverige förekommer ganska långa trädskuggor som kan bidra till ett systematiskt fel i satellitbildsmätningen.

Fullständigheten för DGPS-mätning är god, så länge inga hinder för fordonet finns längs vägen. Beskrivande data om vägnätet kan lätt samlas in i samband med inmätning.

Satellitbilden ger möjlighet att kartera åtminstone de större grusvägarna relativt tillförlitligt. De mindre vägarna samt vägar i mörka delar av bilden är svårare att upptäcka i bilden. Moln samt molnskuggor i bilden kan också minska fullständigheten.

Som DGPS-utrustningen ser ut idag underlättar det betydligt att vara två personer vid inmätning. Med en anpassning av utrustningen och montering av denna skulle en person ensam kunna utföra mätningarna. Själva satellitbildskarteringen är mindre tidskrävande än DGPS-mätning.

Föreberedelser och efterbearbetning av data från de två mätmetoderna skiljer sig tidsmässigt inte nämnvärt åt, såvida inte väldigt många vägar ska mätas in. Då ökar tiden för efterbearbetning av DGPS-data, men den tiden skulle kunna minskas genom viss anpassning av programvara.

DGPS-utrustningen som användes i detta försök är relativt billig, men om metoden ska användas vid ajourhållning av GGD är det nödvändigt att anpassa utrustning och programvara till väginmätning, vilket medför kostnader.

För att inköp av en satellitscen ska vara lönsamt krävs att man är intresserad av att ajourföra en större del av satellitscenens täckningsområde, medan DGPS-mätning på grund av tidsåtgången är mer lönsamt om ajourföringen rör ett mindre vägnät.

Intressanta frågeställningar som kommit upp under arbetets gång, och som skulle kunna leda till ytterligare studier, är

- Vilken geometrisk noggrannhet skulle inmätning av skogsbilvägar med tröghetsteknik ge?
- Natten mellan den 1 och 2 maj tog amerikanska försvaret bort störningen av GPS-signalerna (SA), vilket betyder att Epos bastjänst mer eller mindre har spelat ut sin roll. Vad har det för betydelse vid väginmätning? Med vilken geometrisk noggrannhet kan skogsbilvägar mätas in med en enkel GPS-mottagare utan att utnyttja differentiella korrektioner?

## **8 Förkortningar**

**A/I** – Arc/Info, i det här fallet version 7.2.1

**APC** – AutoKa-PC, i detta fall version 2.30 b2

**DARC** – Data Radio Channel

**DIF** – Data Interchange Format

**DGPS** – Differentiell GPS

**ESRI** – Environmental Systems Research Institute Inc.

**GGD** – Grundläggande Geografiska Data

**GPS** – Global Positioning System

**IRS** – Indian Remote Sensing Satellite

**LISS** – Linear Imaging and Self Scanning Sensor

**NASA** – National Aeronautics & Space Administration

**NMEA** – National Marine Electronics Association

**NOAA** – National Oceanographic and Atmospheric Administration

**NVDB** – Nationell Vägdatabas

**OM&M** – Observation, Mapping & Monitoring AB

**RDS** – Radio Data System

**RINEX** – Receiver Independent Exchange Format

**RTCM** – Radio Technical Commission for Maritime Services

**RTK** – Real Time Kinematic

**SA** – Selective Availability

**SPOT** – Satellite Probatoire d'Observation de la Terre

Systeme Pour l'Observation de la Terre

**TM** – Thematic Mapper

**WiFS** – Wide Field Sensor

## Referenser

- Arc/Info on-line help, Arc/Info version 7.2.1, ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.).
- Aurell H., Malmström B. och Engberg A. (1991), *Satellitdata för topografiska kartor*, delrapport Östhammar 12I SV. Solna: Rymdbolaget rapport FUX 430-9.
- Bergman A. och Frisk A. (1995), Positionsnoggrannheten för differentiell GPS via EPOS-tjänsten, Gävle. *LMV-rapport* 1995:14.
- Bergström J. och Eriksson J. (1997), Insamling av vägdata, Uppsala. *SkogForsk Arbetsrapport* nr 367.
- Eriksson J. (2000), Skogsvårdsstyrelsen i Norrbotten. Muntlig kommunikation.
- Eriksson U. (2000a), *Aktivitets- och tidplan Pilotprojekt Topografisk ajourhållning, huvudprojekt Ajourhållning* ver 0.5, Gävle: Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Landskapsinformation. Utkast.
- Eriksson U. (1998), *Allmän beskrivning: GSD – Grunddata* ver 1.0, Gävle: Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Landskapsinformation. PM.
- Eriksson U. (2000b), *Handlingsplan "Topografisk ajourhållning"* ver 1.6, Gävle: Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Landskapsinformation. PM.
- Eriksson U. (2000c), *PM Examensarbete "Metodstudie för inmätning av skogsbilvägar"*, Gävle: Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Landskapsinformation. PM.
- Eriksson U. (2000d), *Projektbeskrivning Topografisk ajourhållning* ver 1.93, Gävle: Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Landskapsinformation. Utkast.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.) (1991), *ARC Command References 6.0*.
- Flygbildsteknik och fjärranalys* (1993), Jönköping: Nämnden för Skoglig Fjärranalys.
- Garmin Corporation, <http://www.garmin.com/products/gps12xl> (000511);  
[http://www2.garmin.com/accessories\\_for\\_product.asp?sku=010-00138-00](http://www2.garmin.com/accessories_for_product.asp?sku=010-00138-00) (000511);  
<http://www2.garmin.com/accessory.asp?sku=010-10052-05> (000511).
- Gunnarsson P-Å. och Norin D. (1995), *Försök med datainsamling på fält av GGD för Ek-TOPO-databaser med GPS och fältdator*, Gävle: Lantmäteriverket.
- Gustafsson L-E., Willén E. och Rost T. (1998), *Uppdatering av enskilda vägnätet i Gröna kartan*, Solna: Rymdbolaget, rapport för Rymdstyrelsen.
- Handbok till mätningsskuggörelsen* (1996) (HMK:Ge-GPS), andra utgåvan, Gävle: Lantmäteriverket.
- Hauschildt P., Ball, D. och Tinline R. (1999), Driving 911 – GPS Road Maps Enhance Response, *GPS World* juni 1999.
- IRS-1C Data Users Handbook* (1995), Hyderabad, Indien: National Remote Sensing Agency (Dept. of Space, Govt. of India)
- Johansson D. (1999), *Lantmäteriverkets inledande tester av Ciceron*, Gävle: Lantmäteriet. PM.
- Johansson D. (2000), Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Geodesi. Muntlig kommunikation.

- Landskapsinformationsupphandling. Anbudsunderlag för stereokartering* – pärm 2, dnr 104-99-2657 ver 1.3 (1999), Gävle: Lantmäteriverket, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Landskapsinformation.
- Larsson A. (2000), Uppdatering och utvidgning av GeoTätort med hjälp av IRS-satellitbilder, *Bildteknik* Nr 2000:1 Kartdagsnummer.
- Lejonhufvud C. och Wiklund P. (1996), Undersökning av semikinematisk GPS-mätning i realtid, Gävle. *LMV-rapport* 1996:2.
- Lillesand T.M. och Kiefer R.W. (1994), *Remote Sensing and Image Interpretation* 3<sup>rd</sup> edition, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Lundin J. (1997), *Laborationshandledning GIS II Laboration 3*, Gävle: Högskolan i Gävle. Stencil.
- NASA (The Earth Science Division at NASA Ames Research Center), <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/17.html> (000427).
- Norén J. (1997), *The use of DGPS-technique for measuring of the road net to the Swedish National Road Administrations Road Data Bank*, Gävle: Högskolan i Gävle/Sandviken. Examensarbete.
- OM&M (Observation, Mapping & Monitoring AB), <http://www.omm.se/IRS%201C/1d.htm> (000406).
- Ottoson C. (1999), SWEPOS-seminarium i Gävle 990928, Gävle: Lantmäteriet, Landskaps- och fastighetsdata, enheten för Geodesi. Anteckningar.
- SWEPOS, <http://swepos.lmv.lm.se/Karta/Map.htm> (000405).
- Talts, J. (1997), *Test av IRS-1C pankromatiska bilder*, Gävle: Lantmäteriet, LF-avdelningen, LFL-enheten.
- Teracom AB, <http://www.teracom.se/epos> (000405); <http://www.teracom.se/ciceron> (000406).
- Teracom Informationsbrev 1999 om Ciceron, Luleå.
- Teracom teknikinfo om Epos, Luleå: Teracom AB.
- Satellus AB, [http://satellites.satellus.se/irs\\_1.asp](http://satellites.satellus.se/irs_1.asp) (000406).
- Spot Image, <http://www.spotimage.fr/home/system/introsat/constel/welcome.htm> (000426); <http://www.spotimage.fr/home/system/introsat/seltec/seltec.htm> (000427).



Kartbilden visar testområdet, med delsträckornas numrering.

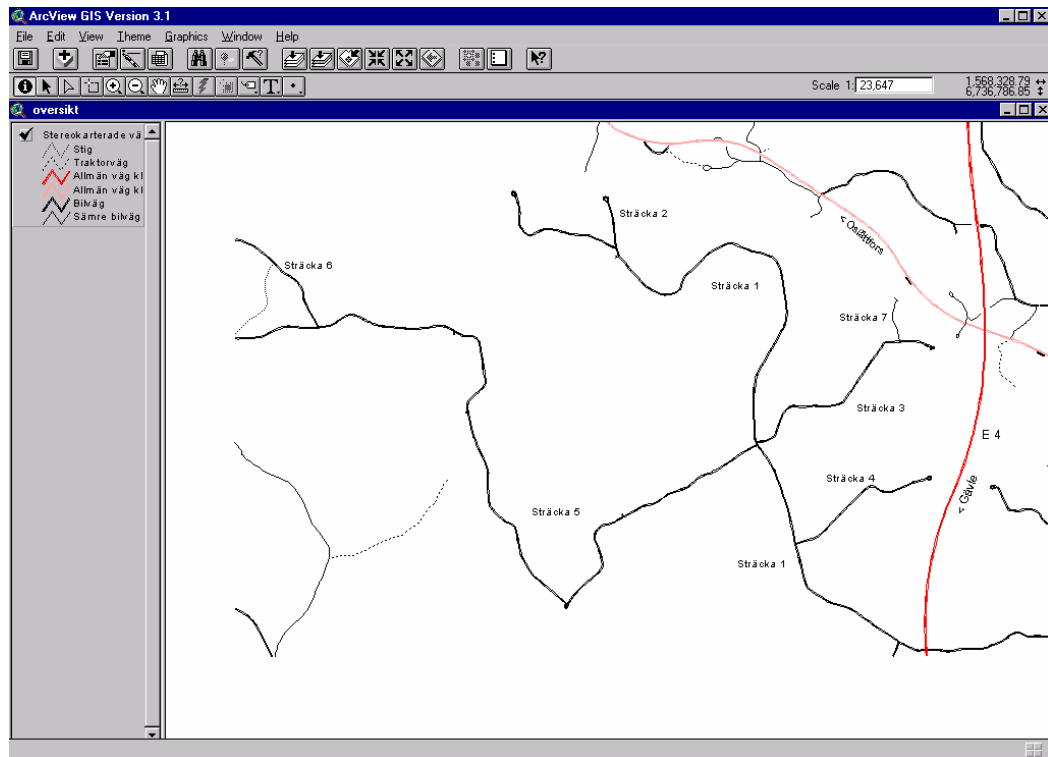


Fig 1: Testområdet i Åbyggeby. Skalan är ungefär 1:47000.





# Översikt över RTK-mätning

# Bilaga 2

Kartbilden visar de sträckor som mättes med RTK-mätning. Dessa redovisas i grönt.

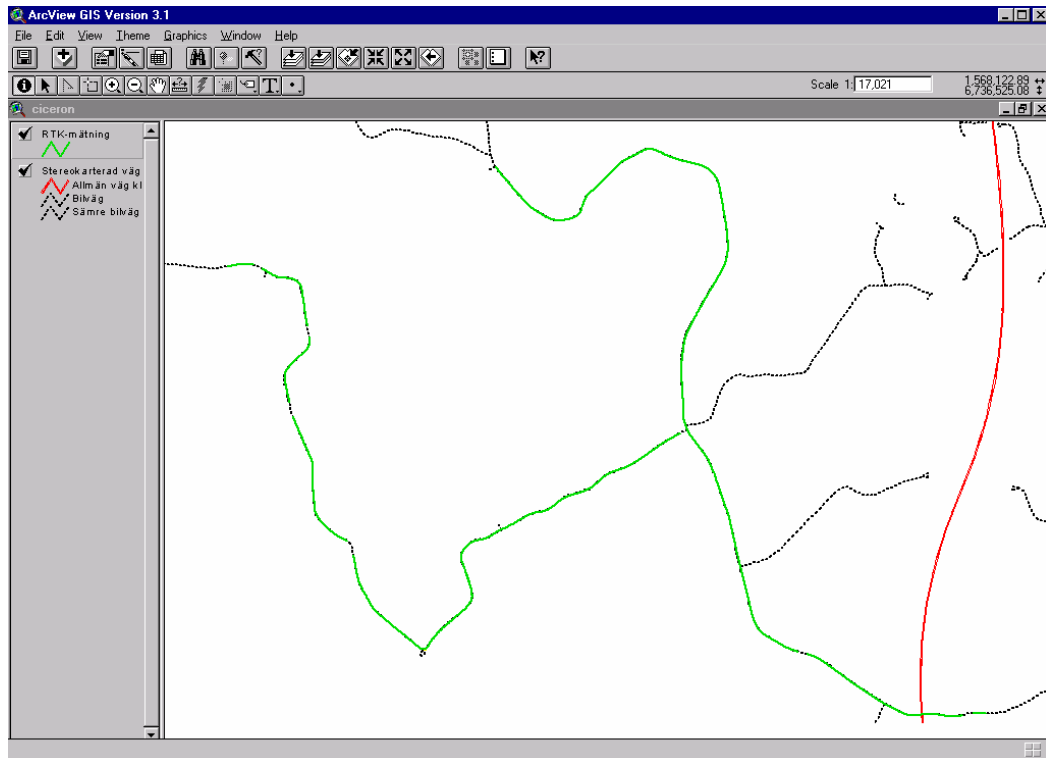


Fig 1: De vägsträckor i Åbyggeby som mättes med RTK-mätning. Skalan är ungefär 1:33000.



### **Sätta precisionen**

Arc: precision double double

Arc: show precision

För att kontrollera  
inställningarna.

### **Importera shape-filer**

Arc: arctools map

*Tools > Command tools >*

*Conversion > To Arc >*

*Shape to Arc*

Startar Map Tools  
Menyalternativ i Map Tools.

*Input ArcView shape:* aby1\_1.shp

*Output coverage:* aby11

Konverterar shape-filen  
aby1\_1.shp till A/I-  
skiktet aby11

*ArcTools > Quit > Quit*

Stänger Map Tools

### **Konvertera linjeskikt till punktskikt**

Arc: arcpoint aby11 aby11p line aby11#

Arc: build aby11p point

Konverterar linjeskiktet  
aby11 till punktskiktet aby11p

### **Lägga till attribut med xy-koordinater**

Arc: addxy aby11p point

Arc: list aby11p.pat

För att kontrollera attributen

### **Ändra namn på attributen**

Arc: tables

Enter Command: select aby11p.pat

Enter Command: items

Enter Command: alter x-coord

Item name: x0

(tryck return för följande frågor)

Upprepa för y-coord och avsluta med q

Listar attributen i aby11p.pat

Arc: list aby11p.pat

För att kontrollera attributen

**Beräkna avståndet från varje punkt i skiktet till närmaste linje i ett annat lager**

Arc: near aby11p 13h7dv line 30 near11p location

Beräknar avståndet från varje punkt i skiktet aby11p till närmaste linje i skiktet 13h7dv med en söktolerans på 30 m. 'Location' ger koordinater för den närmaste punkten på linjen. Resultatet lagras i skiktet near11p.

Arc: list near11p.pat

För att kontrollera attributen

**Exportera filerna till MS Excel**

Arc: info  
ENTER USER NAME> arc  
ENTER COMMAND >select NEAR11P.PAT  
ENTER COMMAND >export near11p.dif dif

Exporterar en DIF-fil (Data Interchange Format).

ENTER COMMAND >q stop

Avslutar Info.

(efter Norén (1997) och Lundin (1997))

## Delsträcka 1

	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	3,5	2,3	3,4	4,6
Standardavvikelse [m]	4,6	3,3	4,3	5,9
Största avvikelse [m]	16,0	15,4	11,2	15,7
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	5,7	5,8	5,8	5,8
Antal mätpunkter	663	608	325	347
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	8,6	9,5	17,8	16,7

Tabell 1: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 1.

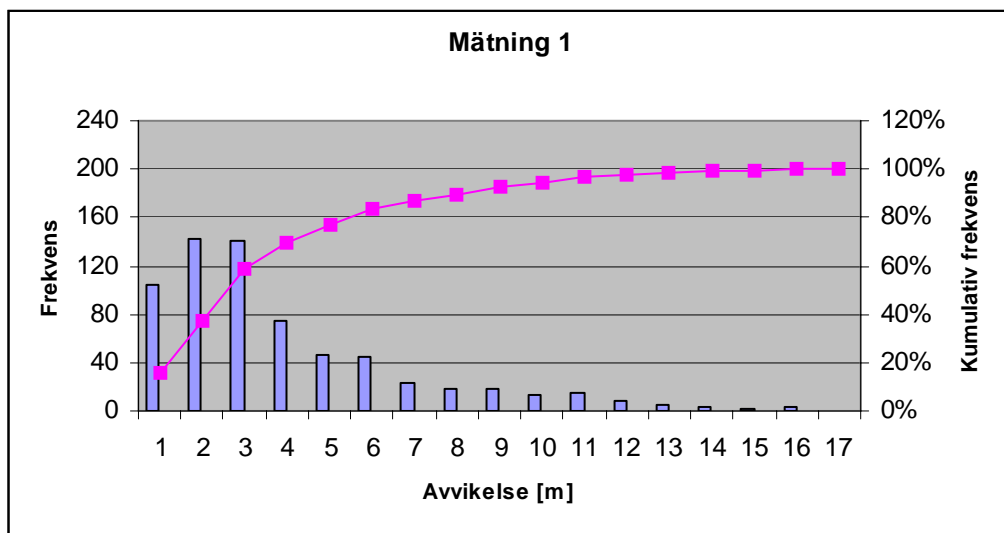


Fig 1: Fördelning av första DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 1.

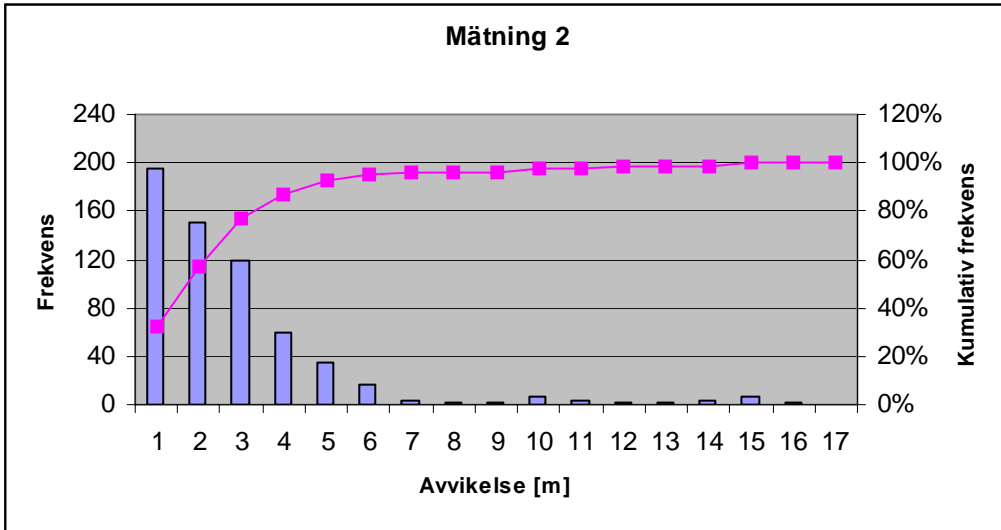


Fig 2: Fördelning av andra DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 1.

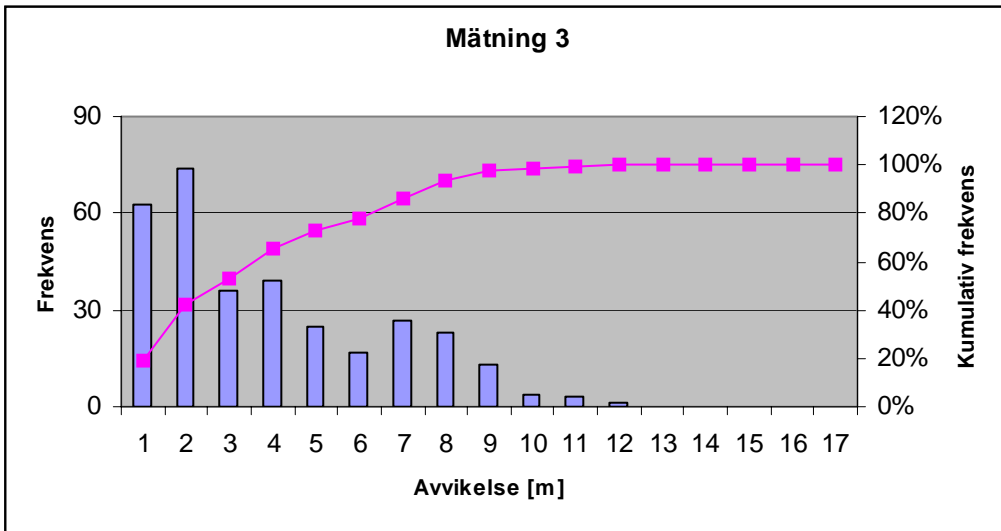


Fig 3: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 1.

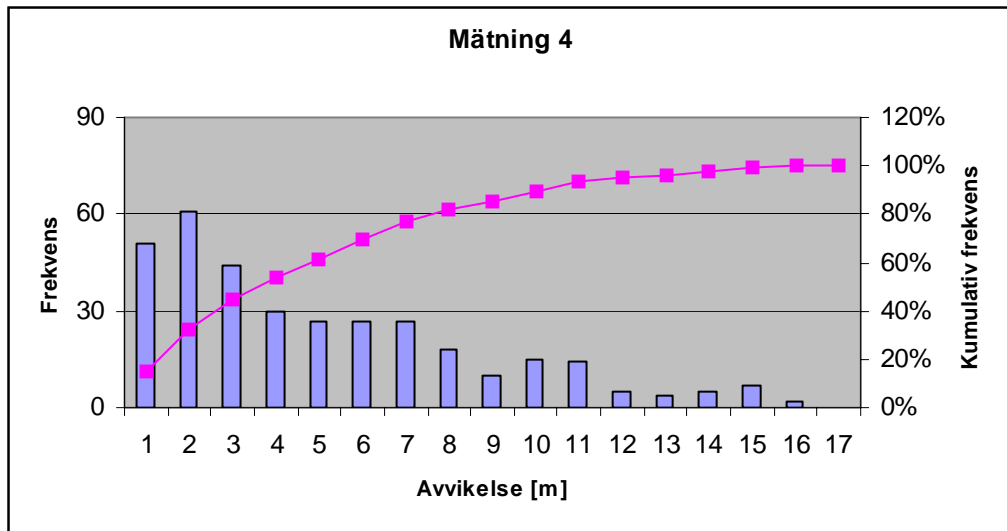


Fig 4: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 1.

## Delsträcka 2

	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	1,5	1,8	1,9	2,9
Standardavvikelse [m]	2,3	2,3	2,3	3,0
Största avvikelse [m]	7,9	5,6	6,1	3,8
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,4	0,1	0,1
Vägsträckans längd [km]	0,4	0,4	0,4	0,3
Antal mätpunkter	53	52	34	24
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	7,5	7,7	11,7	16,7

Tabell 2: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 2.

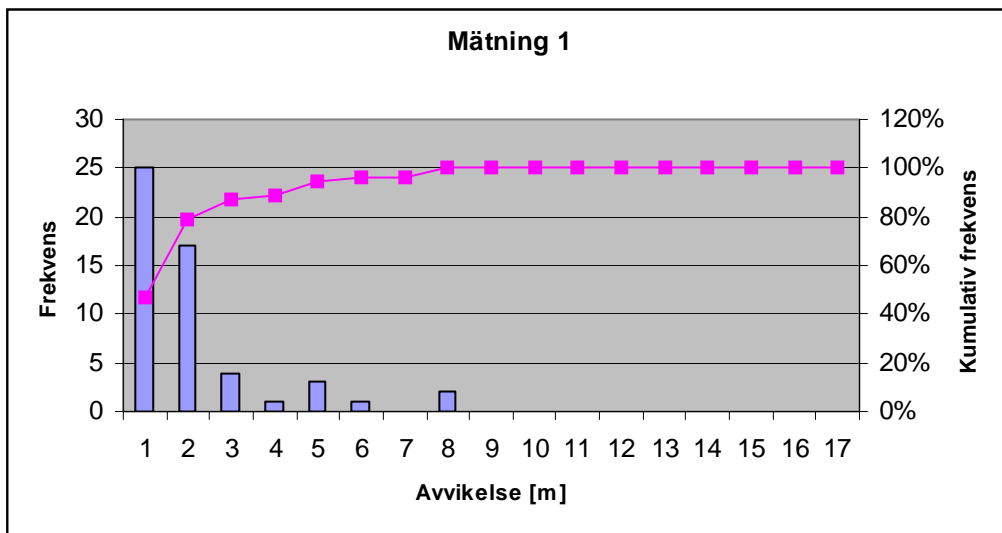


Fig 5: Fördelning av första DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 2.



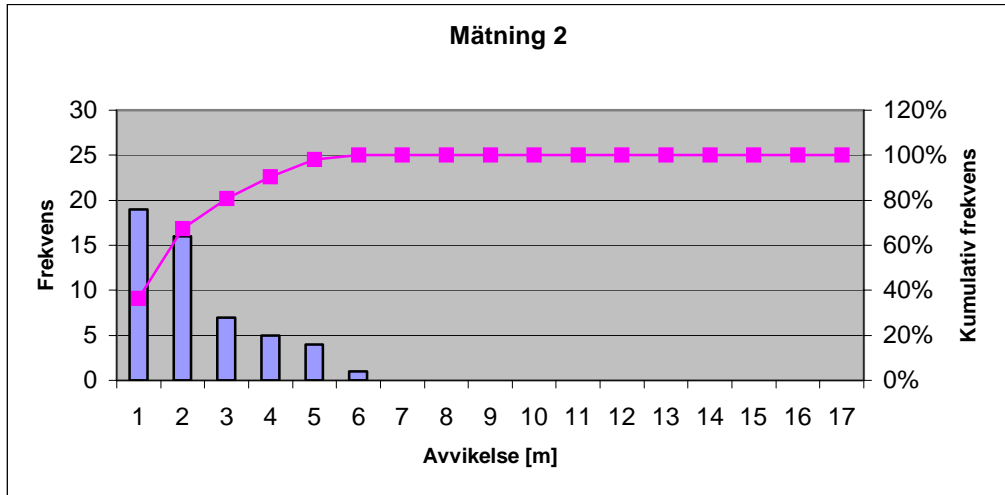


Fig 6: Fördelning av andra DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 2.

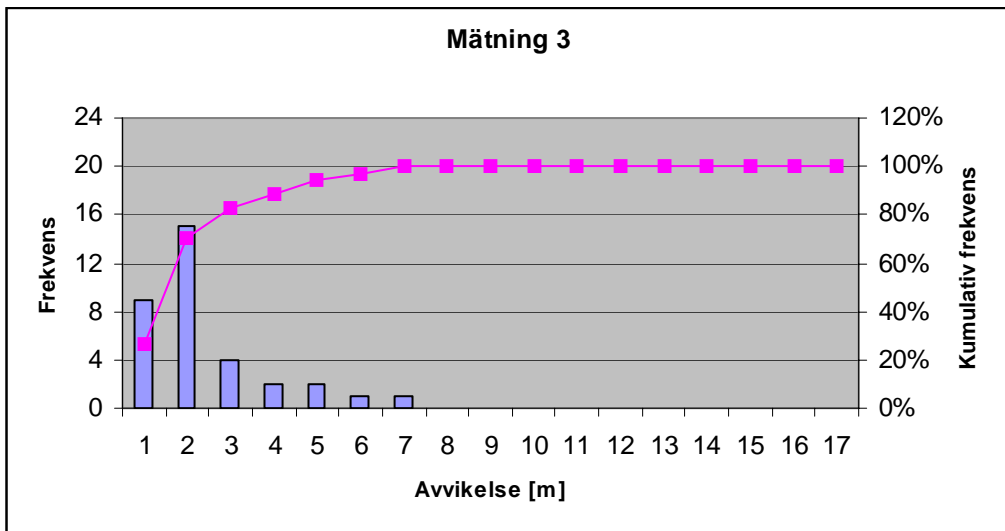


Fig 7: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 2.

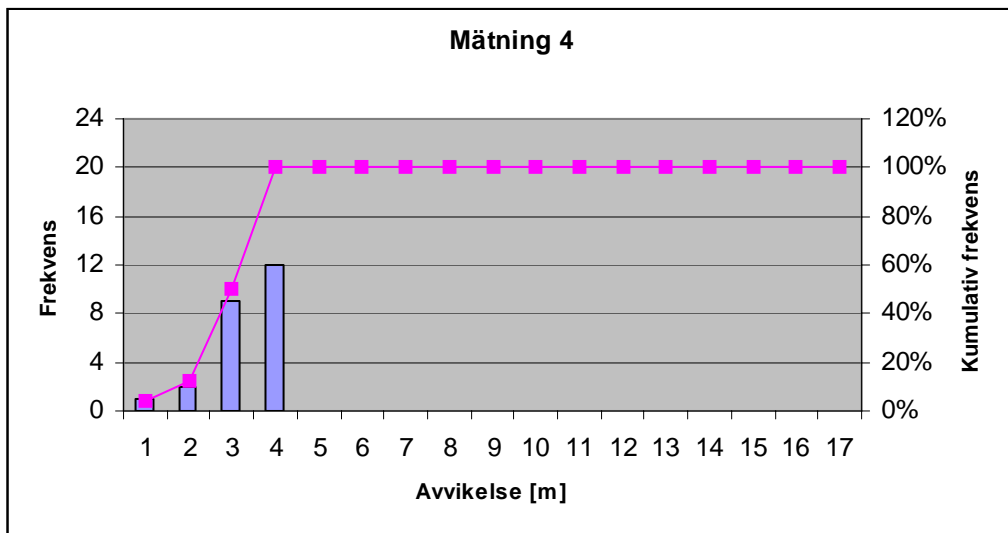


Fig 8: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 2.

### Delsträcka 3

	Mätning 1*	Mätning 2**	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	–	1,6	3,3	4,9
Standardavvikelse [m]	–	1,9	4,1	5,8
Största avvikelse [m]	–	6,5	9,8	13,5
Minsta avvikelse [m]	–	0,0	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	–	0,5	1,5	1,4
Antal mätpunkter	–	80	129	117
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	–	6,3	11,6	12,0

\* Sträckan mättes endast en gång under första mätdagen.

\*\* Ett vindfälle över vägen gjorde att mätningen fick avbrytas innan vägens slut.

Tabell 3: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 3.

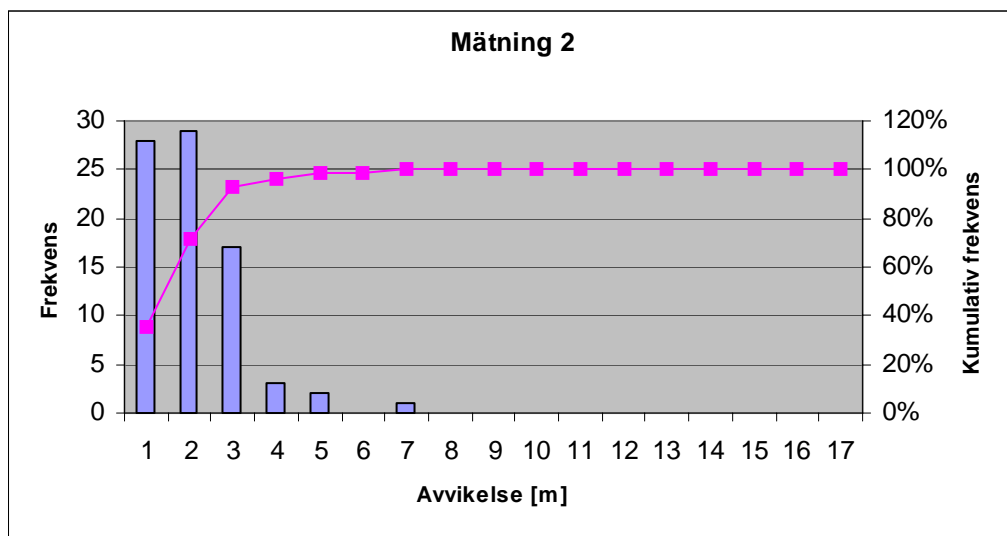


Fig 9: Fördelning av andra DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 3.

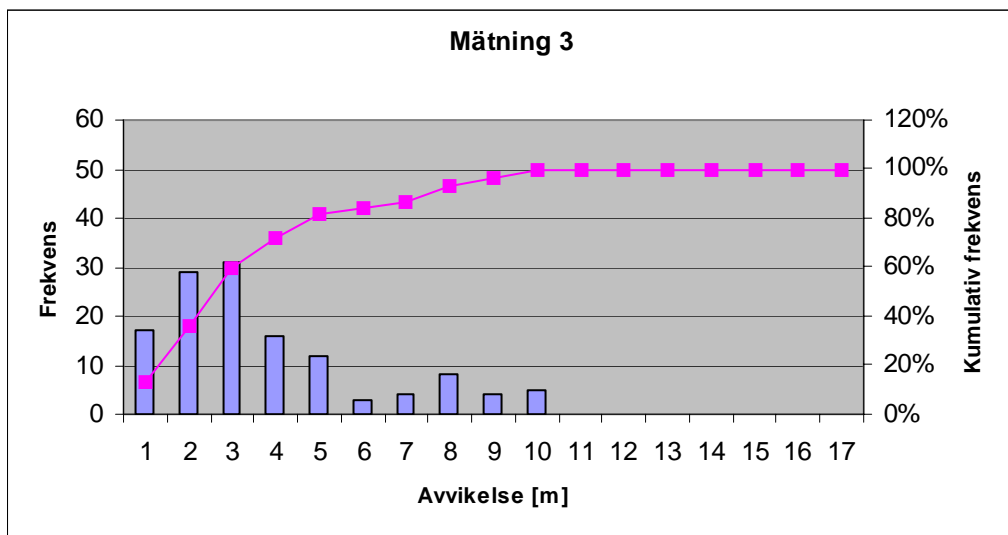


Fig 10: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 3.

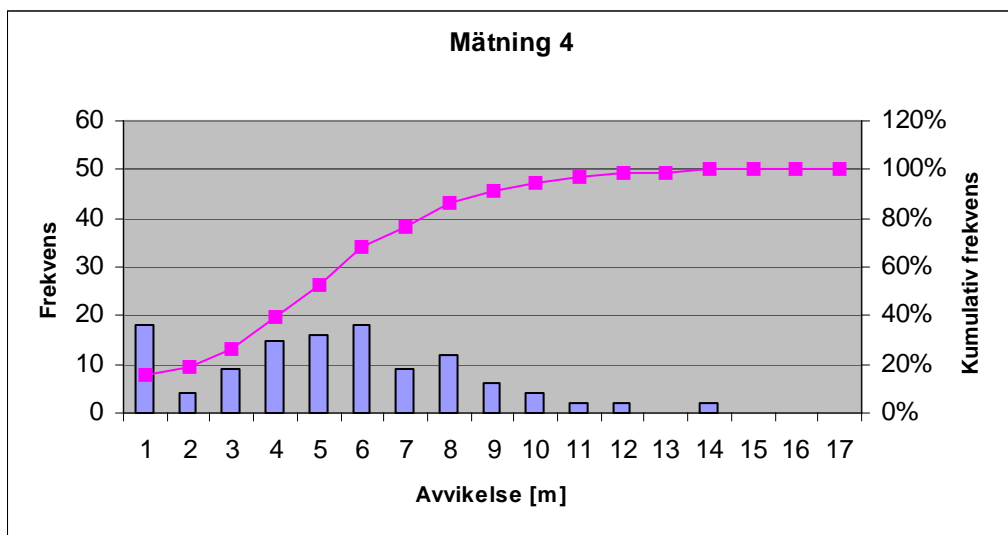


Fig 11: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 3.

## Delsträcka 4

	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	1,8	2,3	4,6	5,3
Standardavvikelse [m]	2,2	2,8	6,4	6,1
Största avvikelse [m]	5,2	6,4	16,9	12,7
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0	0,1	0,1
Vägsträckans längd [km]	1,0	1,0	1,0	0,9
Antal mätpunkter	142	132	87	76
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	7,0	7,6	11,5	11,8

Tabell 4: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 4.

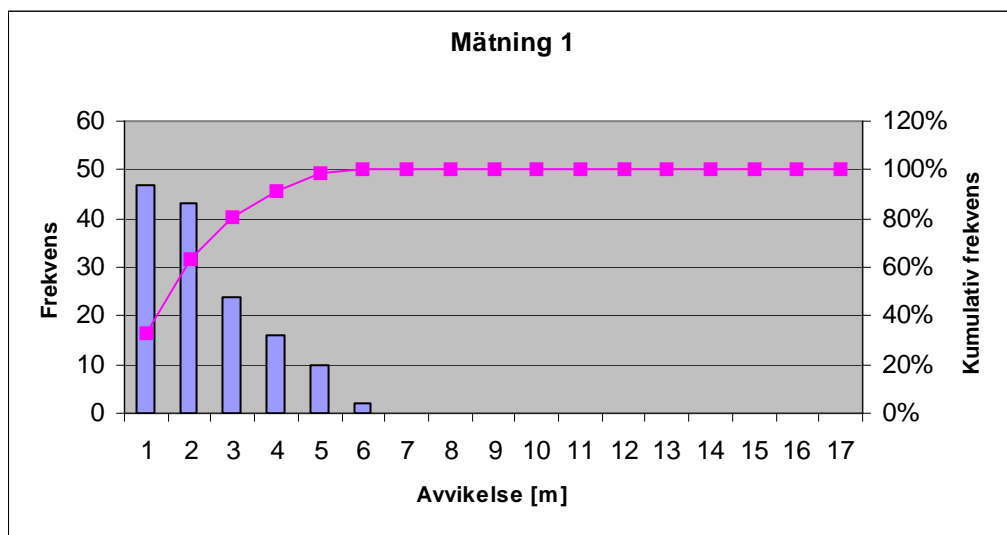


Fig 12: Fördelning av första DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 4.

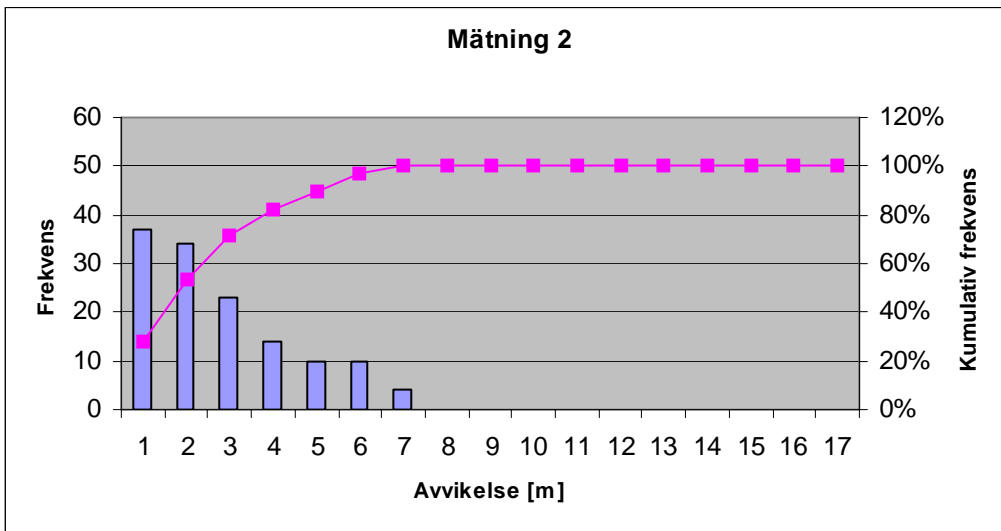


Fig 13: Fördelning av andra DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 4.

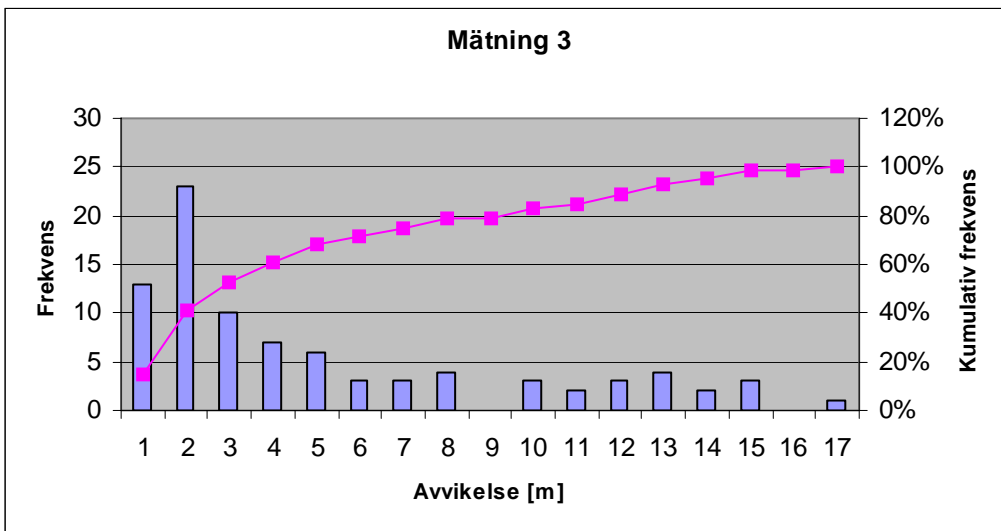


Fig 14: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 4.

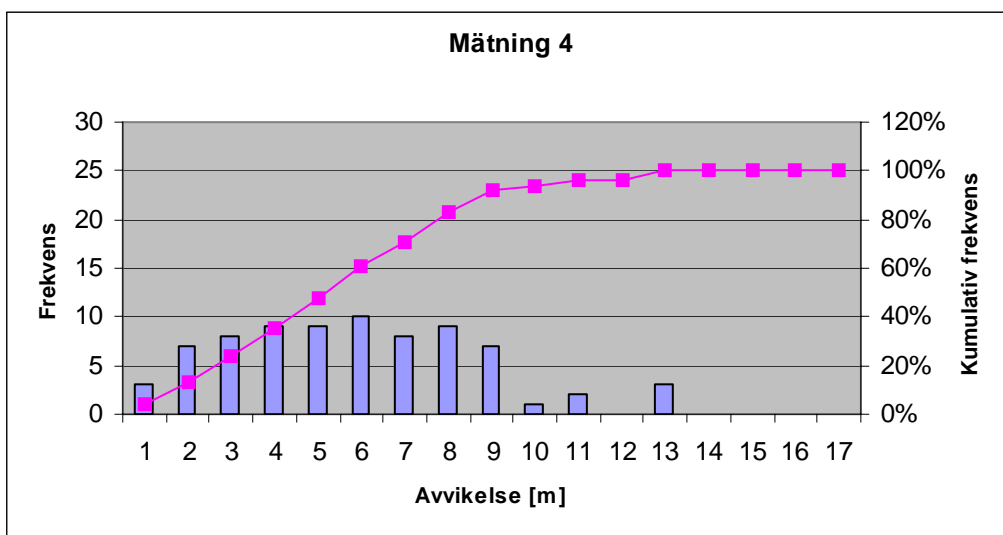


Fig 15: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 4.

## Delsträcka 5

	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	2,0	2,0	1,9	1,5
Standardavvikelse [m]	3,1	2,5	2,3	1,8
Största avvikelse [m]	9,8	7,1	6,2	6,0
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	5,2	5,1	5,1	5,1
Antal mätpunkter	514	519	316	311
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	10,1	9,8	16,1	16,4

Tabell 5: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 5.

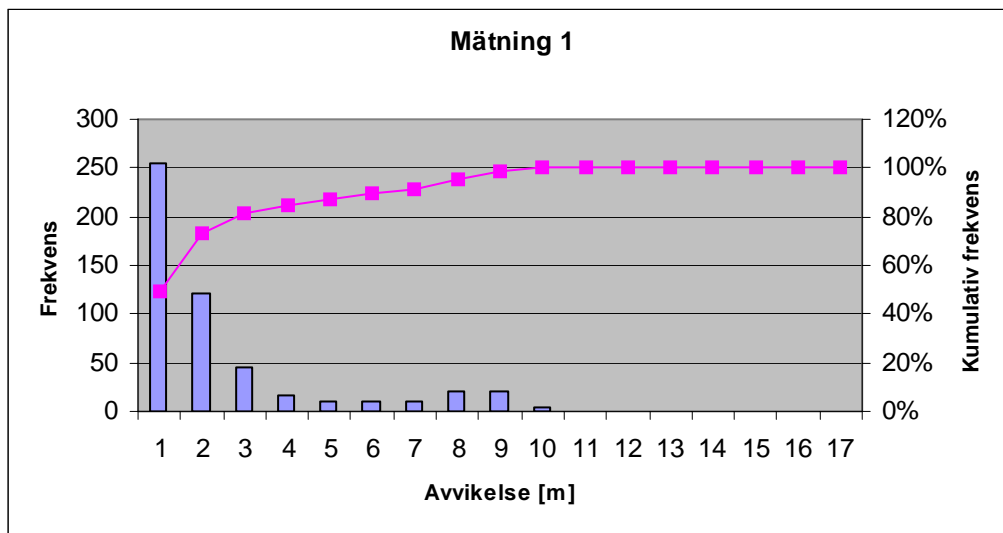


Fig 16: Fördelning av första DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 5.



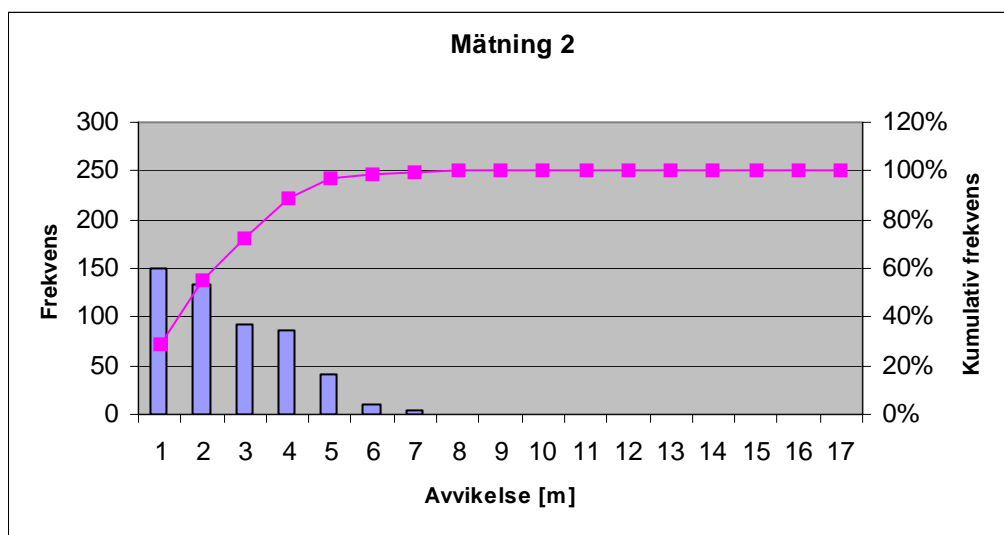


Fig 17: Fördelning av andra DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 5.

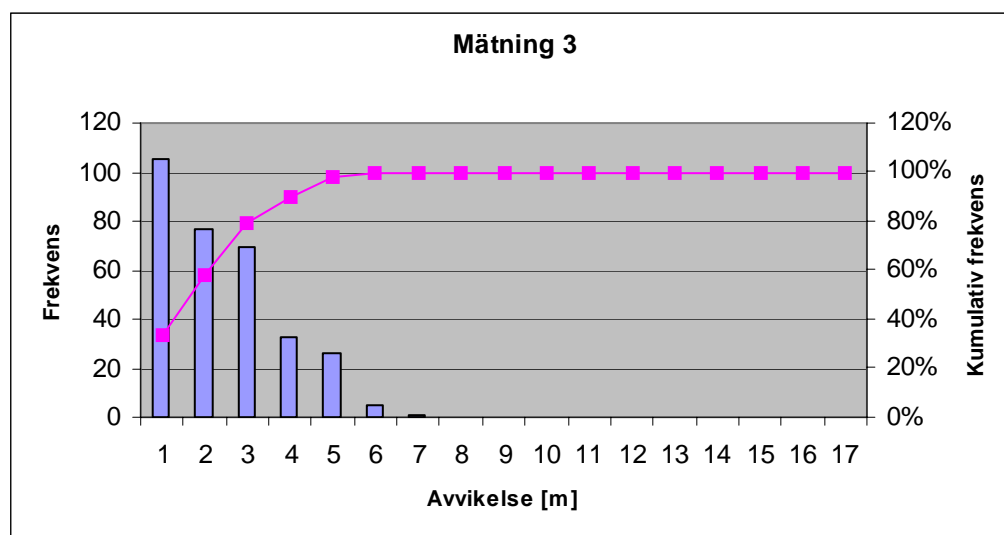


Fig 18: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 5.

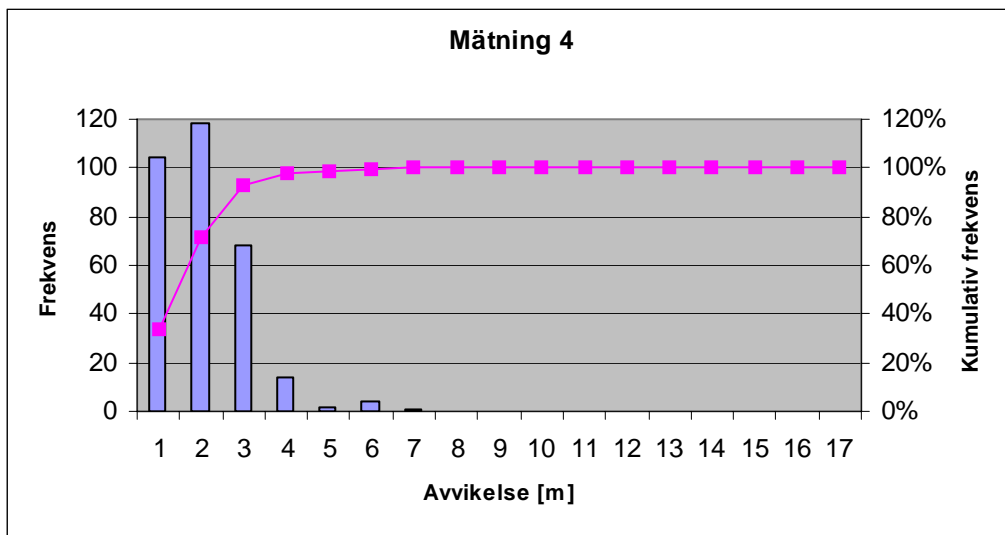


Fig 19: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 5.

## Delsträcka 6

	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	0,8	0,6	1,2	1,6
Standardavvikelse [m]	0,9	0,8	1,5	1,8
Största avvikelse [m]	2,3	2,4	3,8	3,8
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	0,8	0,8	0,8	0,8
Antal mätpunkter	114	95	68	64
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	7,0	8,4	11,8	12,5

Tabell 6: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 6.

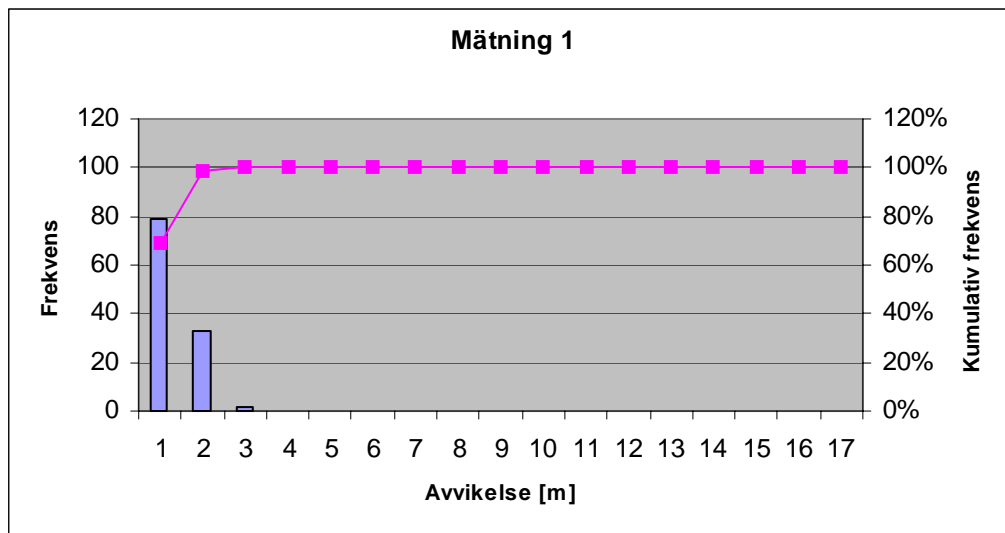


Fig 20: Fördelning av första DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 6.

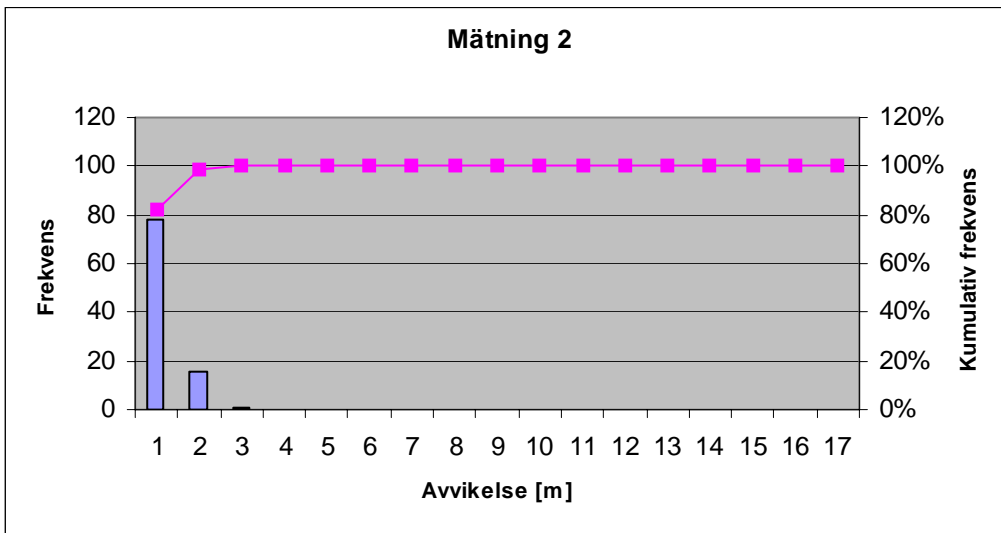


Fig 21: Fördelning av andra DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 6.

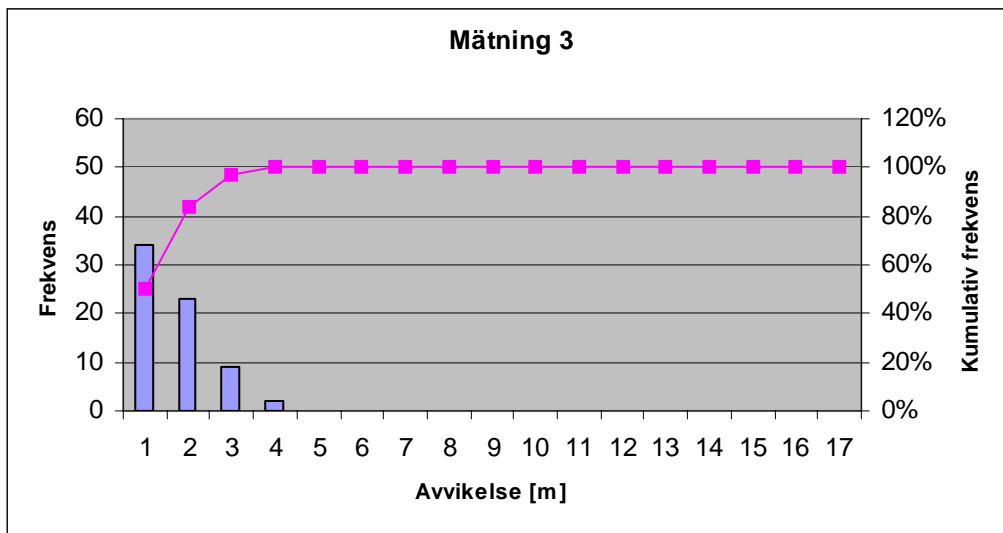


Fig 22: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 6.

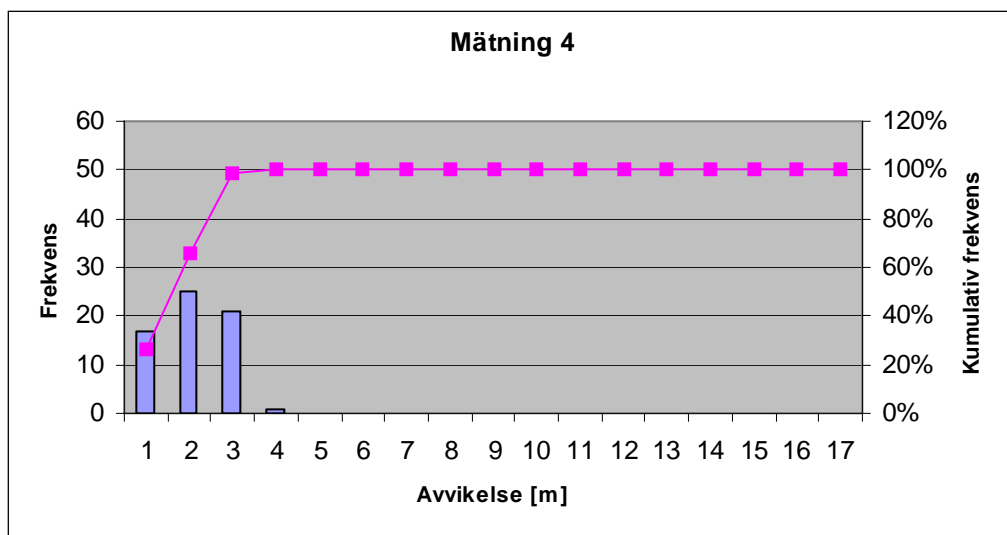


Fig 23: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 6.

## Delsträcka 7

	Mätning 1*	Mätning 2*	Mätning 3	Mätning 4
Medelvärde [m]	–	–	2,1	1,4
Standardavvikelse [m]	–	–	2,9	1,6
Största avvikelse [m]	–	–	9,4	3,0
Minsta avvikelse [m]	–	–	0,0	0,1
Vägsträckans längd [km]	–	–	0,3	0,3
Antal mätpunkter	–	–	46	41
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	–	–	6,5	7,3

\* Vägsträckan nåddes ej under första mätdagen på grund av vindfälle.

Tabell 7: Resultat från DGPS-mätning av skogsbilvägar, delsträcka 7.

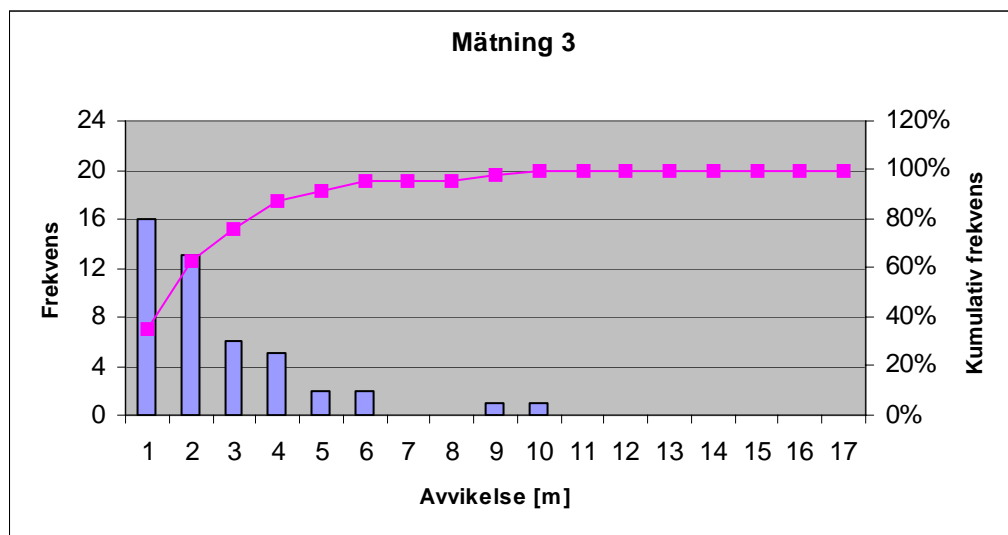


Fig 24: Fördelning av tredje DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 7.

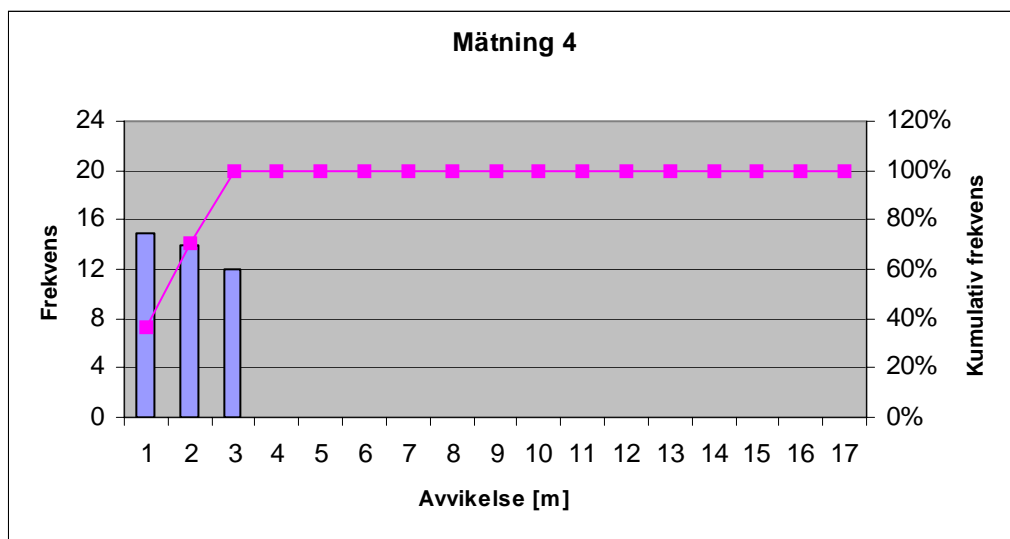


Fig 25: Fördelning av fjärde DGPS-mätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 7.





**Delsträcka 1**

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	4,7	4,6
Standardavvikelse [m]	6,2	6,0
Största avvikelse [m]	19,4	20,0
Minsta avvikelse [m]	0,1	0,2
Vägsträckans längd [km]	5,7	5,8
Antal mätpunkter	134	152
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	42,5	38,1

Tabell 1: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 1.

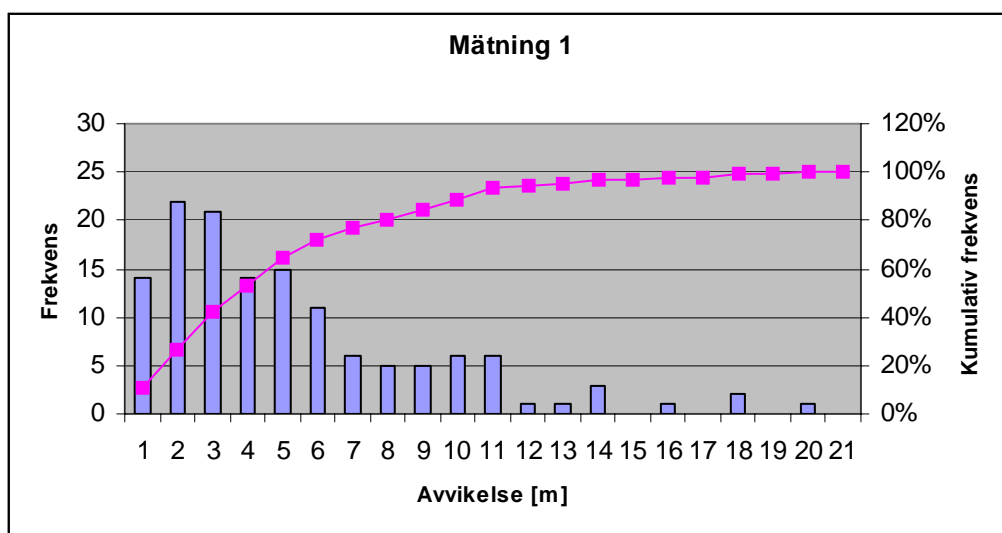


Fig 1: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 1.

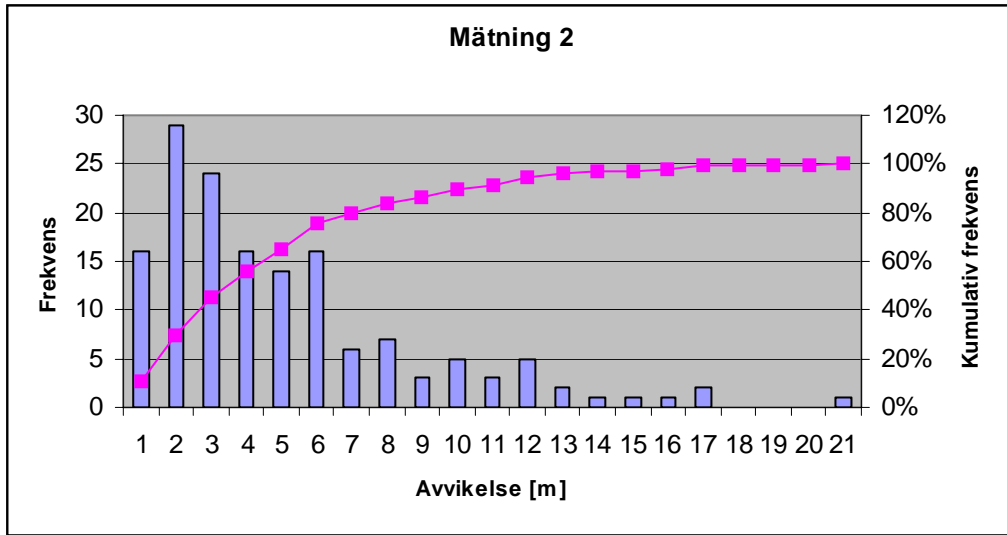


Fig 2: Fördelning av andra satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 1.

## Delsträcka 2

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	4,3	3,3
Standardavvikelse [m]	5,4	4,0
Största avvikelse [m]	10,8	7,0
Minsta avvikelse [m]	1,1	0,7
Vägsträckans längd [km]	0,4	0,3
Antal mätpunkter	12	14
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	33,3	21,4

Tabell 2: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 2.

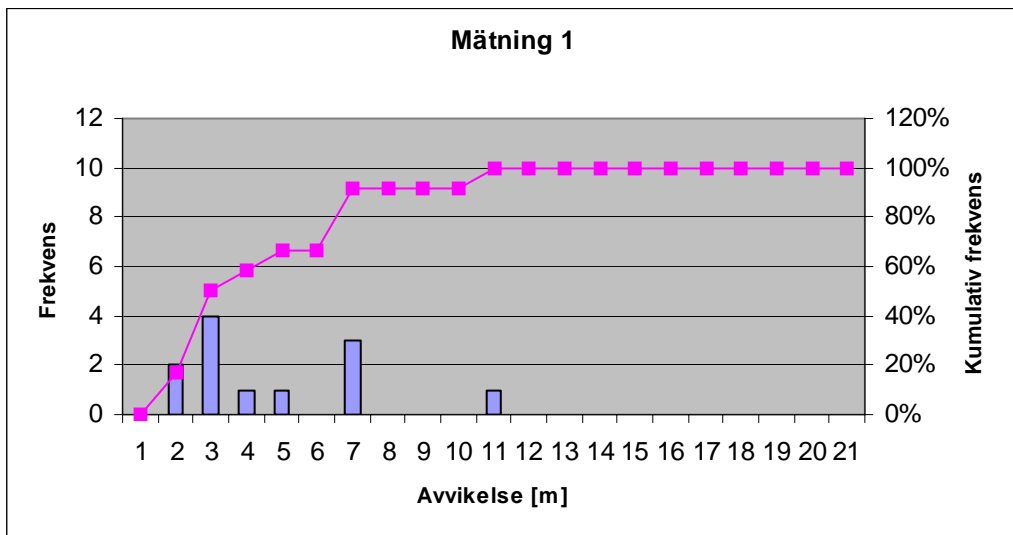
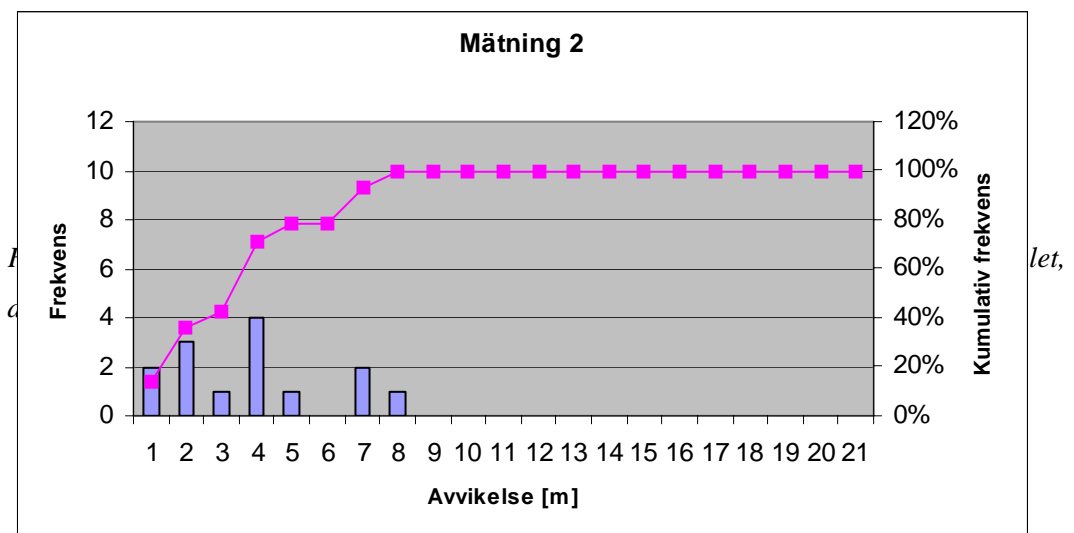


Fig 3: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 2.





### Delsträcka 3

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	7,5	6,0
Standardavvikelse [m]	8,9	7,2
Största avvikelse [m]	17,0	17,1
Minsta avvikelse [m]	0,6	0,6
Vägsträckans längd [km]	1,4	1,4
Antal mätpunkter	31	31
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	45,2	45,2

Tabell 3: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 3.

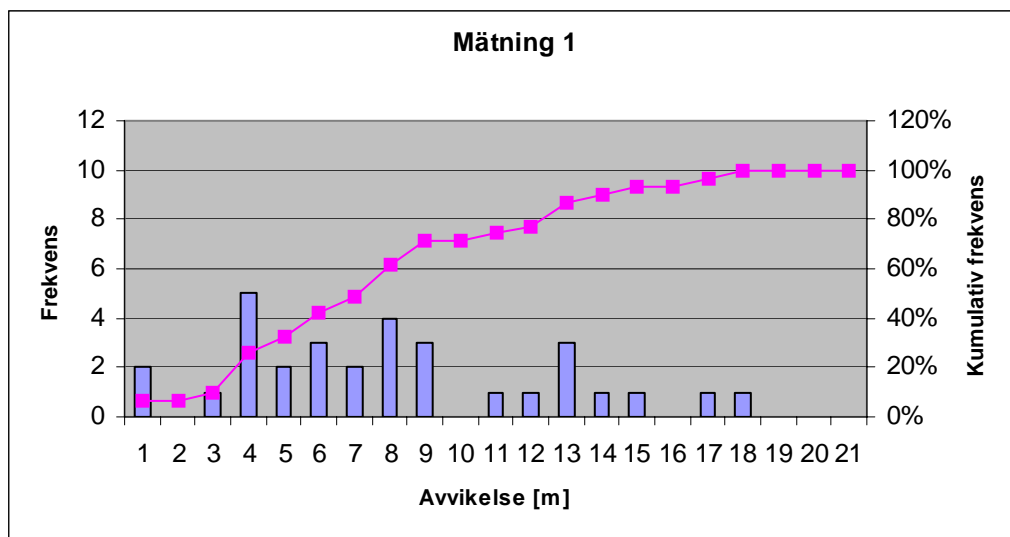
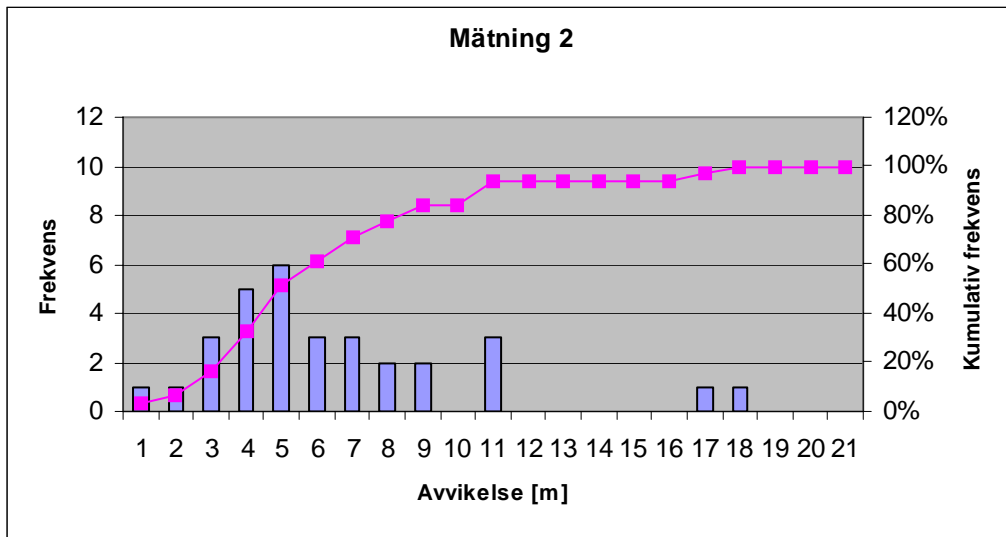


Fig 5: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 3.



*Fig 6: Fördelning av andra satellitbildmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 3.*

## Delsträcka 4

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	2,4	2,9
Standardavvikelse [m]	3,1	3,5
Största avvikelse [m]	7,8	6,8
Minsta avvikelse [m]	0,1	0,1
Vägsträckans längd [km]	1,1	1,0
Antal mätpunkter	28	31
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	39,3	32,3

Tabell 4: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 4.

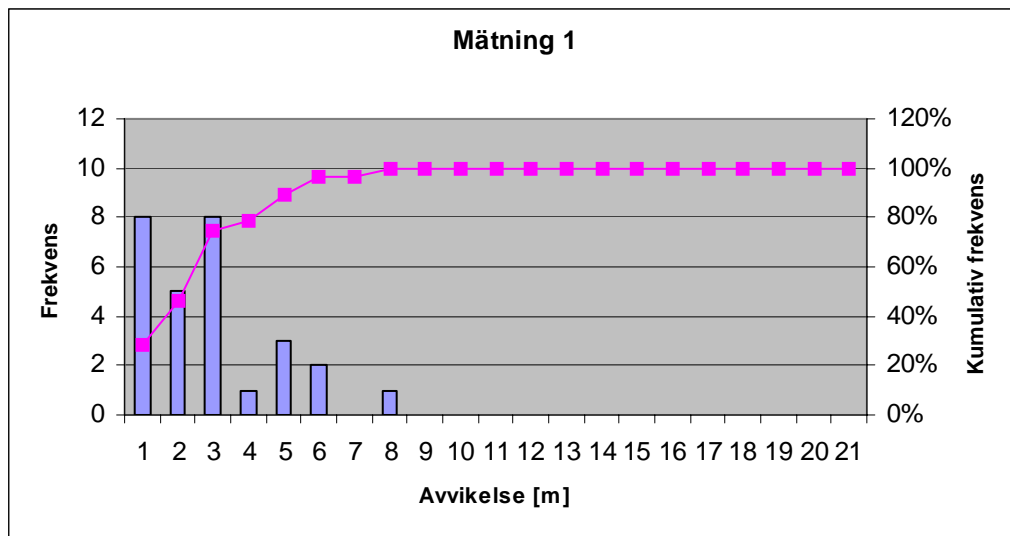


Fig 7: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 4.

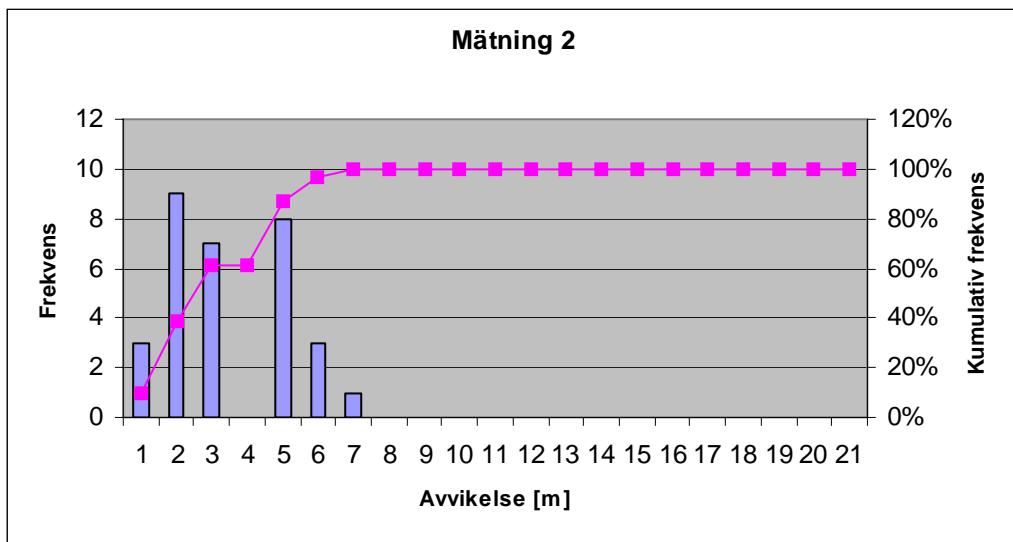


Fig 8: Fördelning av andra satellitbildmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 4.



## Delsträcka 5

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	2,9	3,7
Standardavvikelse [m]	3,6	4,7
Största avvikelse [m]	9,8	18,1
Minsta avvikelse [m]	0,0	0,0
Vägsträckans längd [km]	5,1	5,1
Antal mätpunkter	140	147
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	36,4	34,7

Tabell 5: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 5.

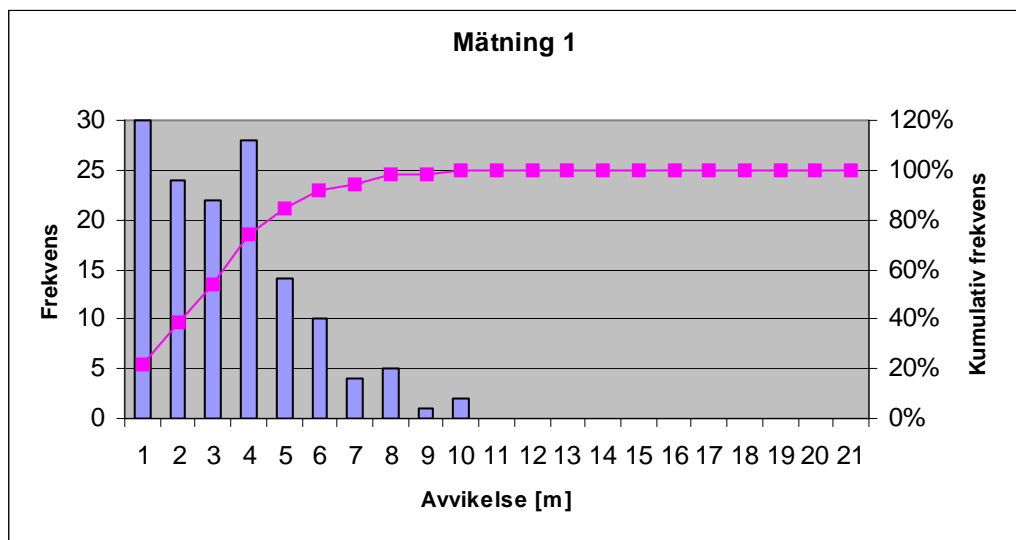


Fig 9: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 5.

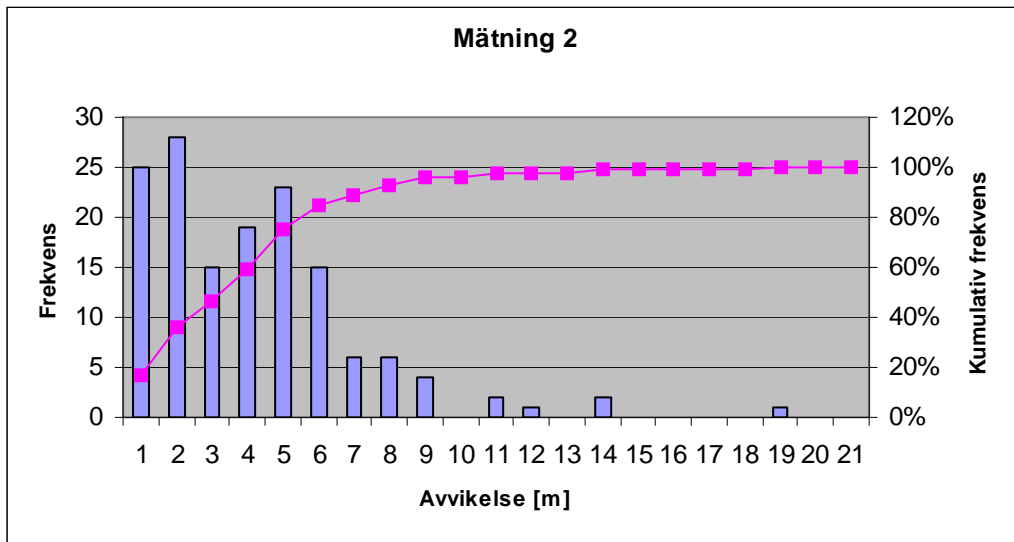


Fig 10: Fördelning av andra satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 5.

## Delsträcka 6

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	5,4	7,6
Standardavvikelse [m]	6,4	9,0
Största avvikelse [m]	13,1	17,7
Minsta avvikelse [m]	1,0	0,5
Vägsträckans längd [km]	0,8	0,8
Antal mätpunkter	24	25
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	33,3	32,0

Tabell 6: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 6.

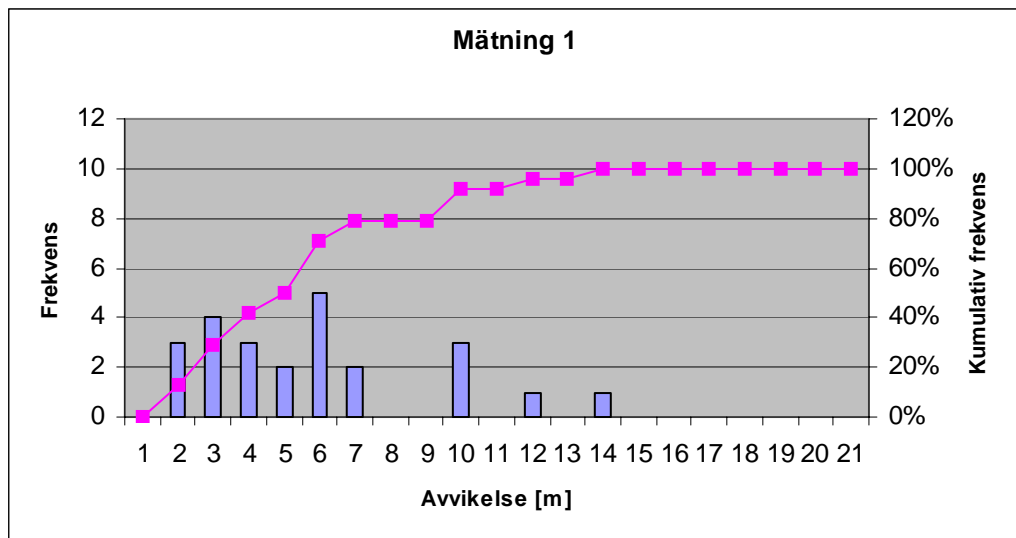


Fig 11: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 6.

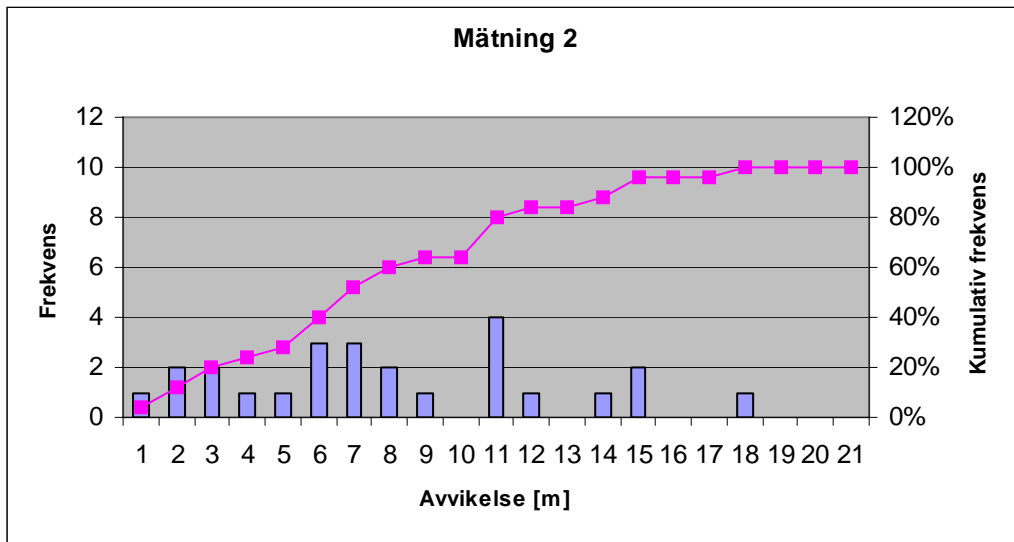


Fig 12: Fördelning av andra satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 6.

## Delsträcka 7

	Mätning 1	Mätning 2
Medelvärde [m]	3,1	2,0
Standardavvikelse [m]	3,8	2,5
Största avvikelse [m]	6,3	5,2
Minsta avvikelse [m]	0,5	0,6
Vägsträckans längd [km]	0,3	0,3
Antal mätpunkter	10	11
Medelavstånd mellan mätpunkter [m]	30,0	27,3

Tabell 7: Resultat från satellitbildsmätning av skogsbilvägar, delsträcka 7.

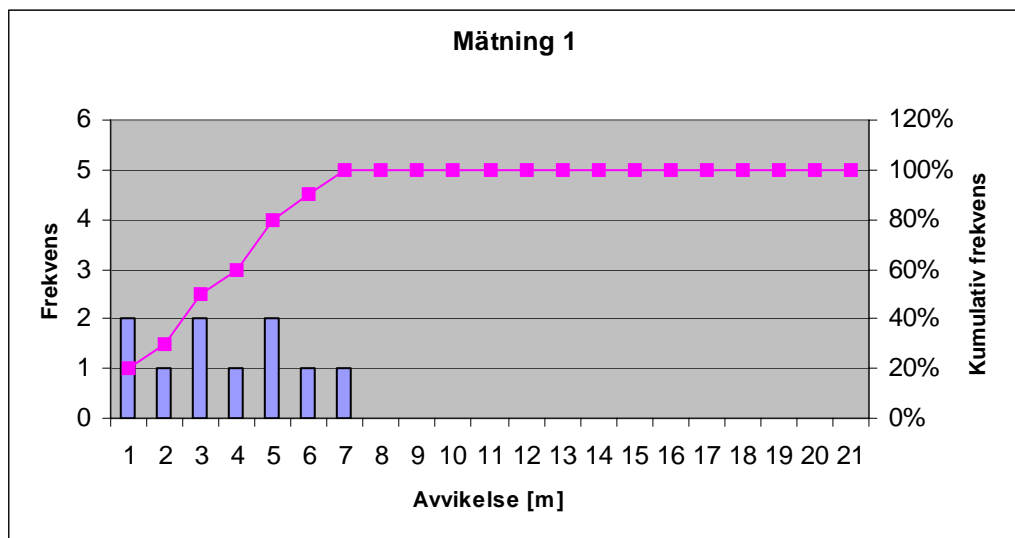


Fig 13: Fördelning av första satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 7.

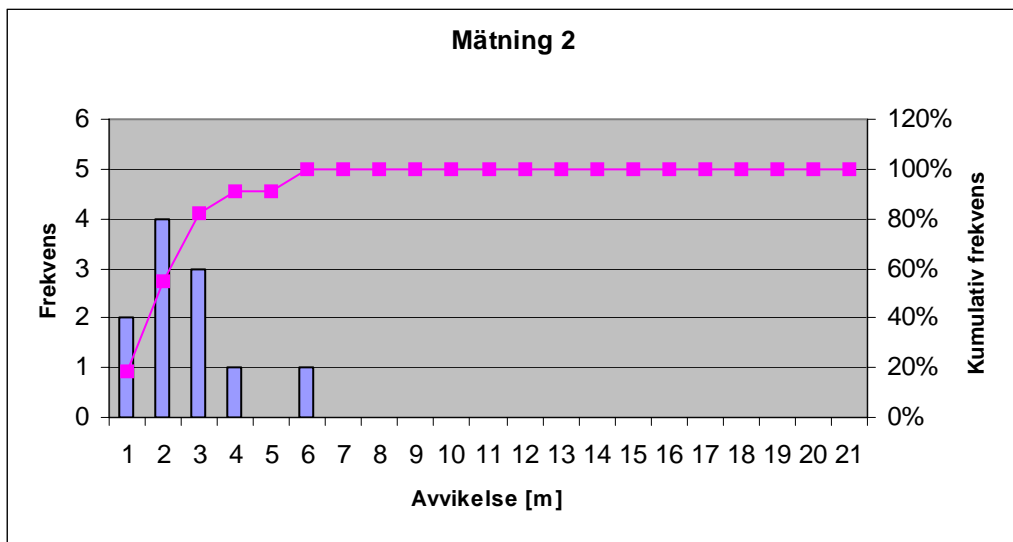
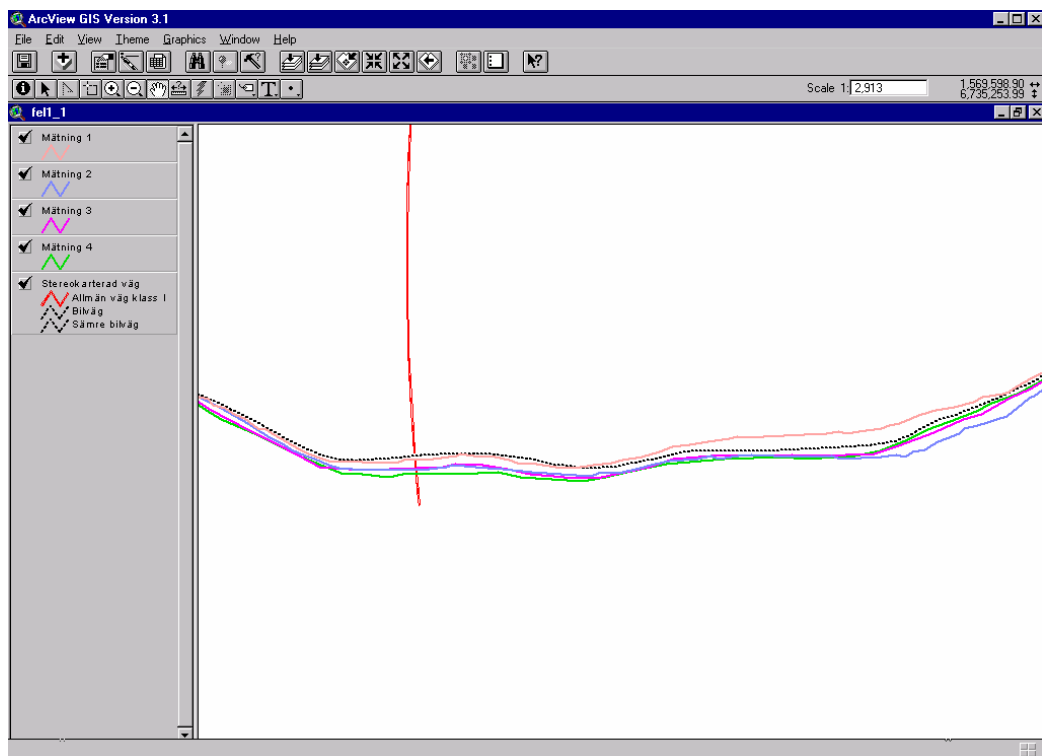


Fig 14: Fördelning av andra satellitbildsmätningens avvikelser från referensmaterialet, delsträcka 7.

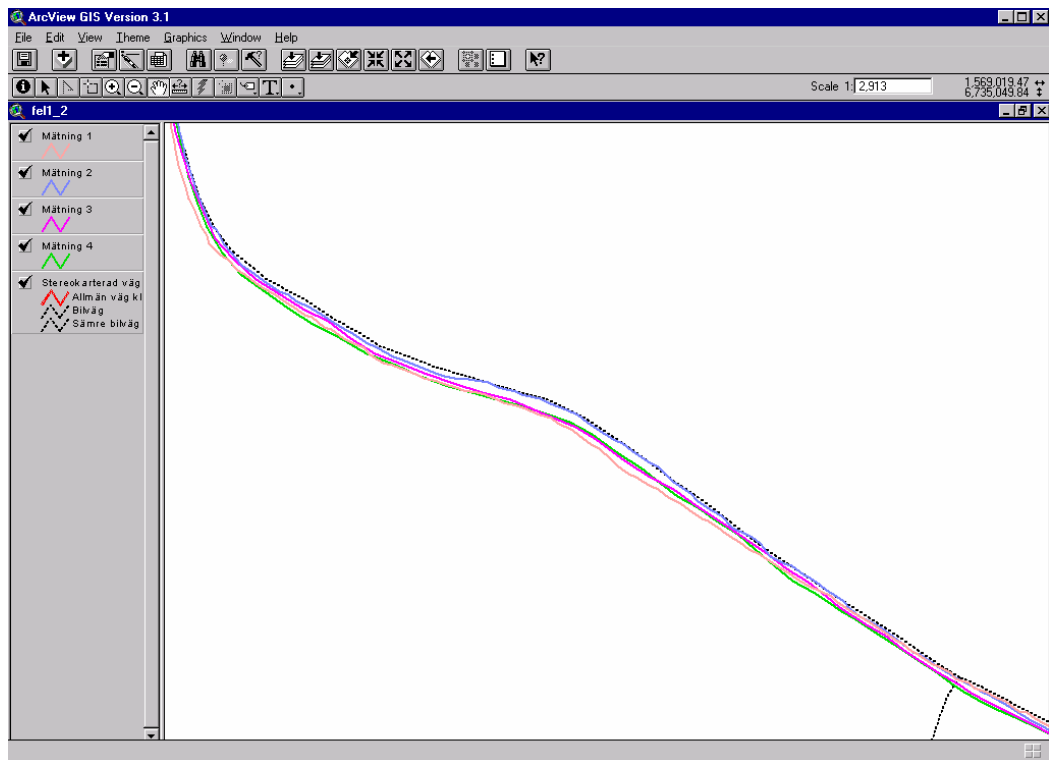
## vid DGPS-mätning

### *Delsträcka 1*

Mätning 1 redovisas i skärt, mätning 2 i blått, mätning 3 i cerise och mätning 4 i grönt.



*Fig 1: Stora avvikelser i södra delen av delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:6000.*



*Fig 2: Stora avvikelser i södra delen av delsträcka 1, väster om ovanstående fig. Skalan är ungefär 1:6000.*



### Delsträcka 3

Mätning 3 redovisas i cerise och mätning 4 i grönt. Mätning 1 och 2 redovisas inte, eftersom sträckan inte mättes under mätning 1, och mätning 2 inte uppvisar samma stora fel. Inte heller mättes hela vägen under mätning 2.

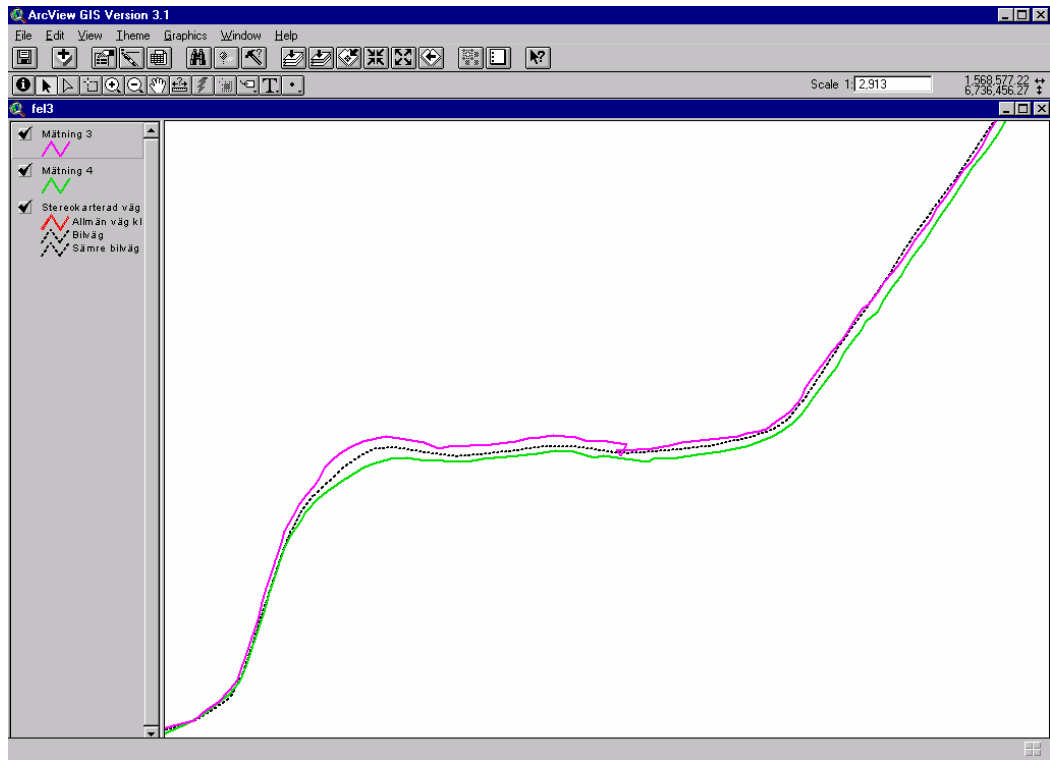


Fig 3: Stora avvikelser längs delsträcka 3. Skalan är ungefär 1:6000.

## Delsträcka 4

Mätning 2 redovisas i blått, mätning 3 i cerise och mätning 4 i grönt. Mätning 1 redovisas inte, då den inte uppvisar samma stora fel.

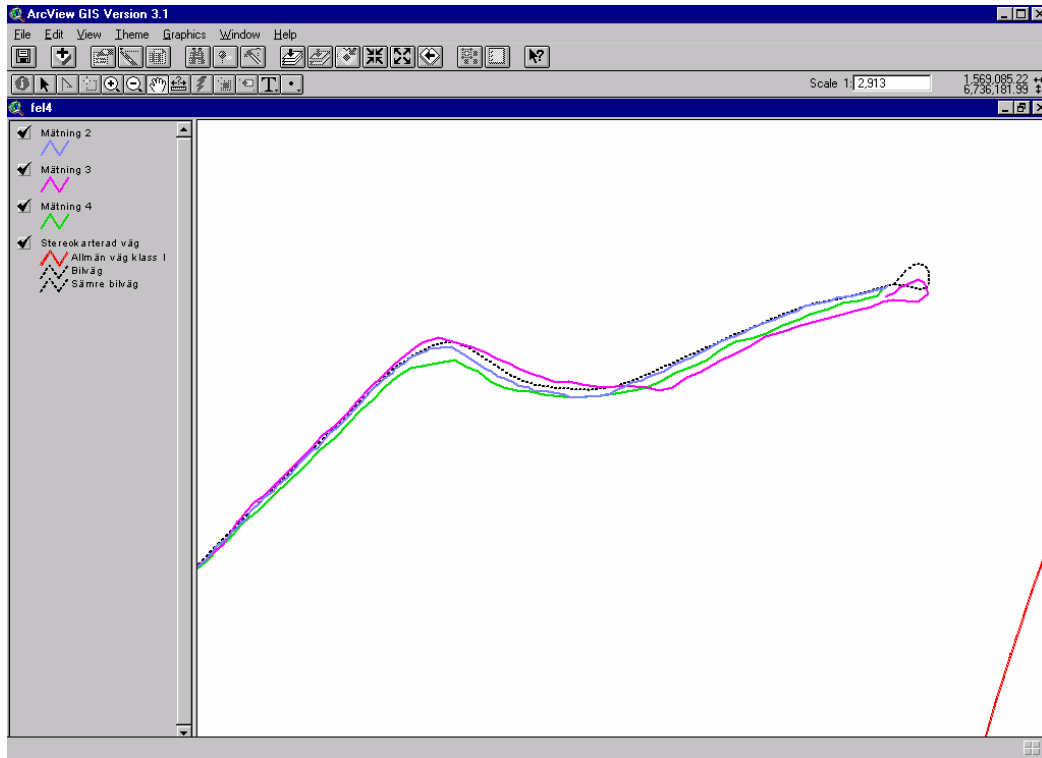


Fig 4: Stora avvikelser längs delsträcka 4. Skalan är ungefär 1:6000.

## Delsträcka 5

Mätning 1 redovisas i skärt, mätning 2 i blått och mätning 4 i grönt. Mätning 3 redovisas inte, eftersom den inte uppvisar samma stora fel.

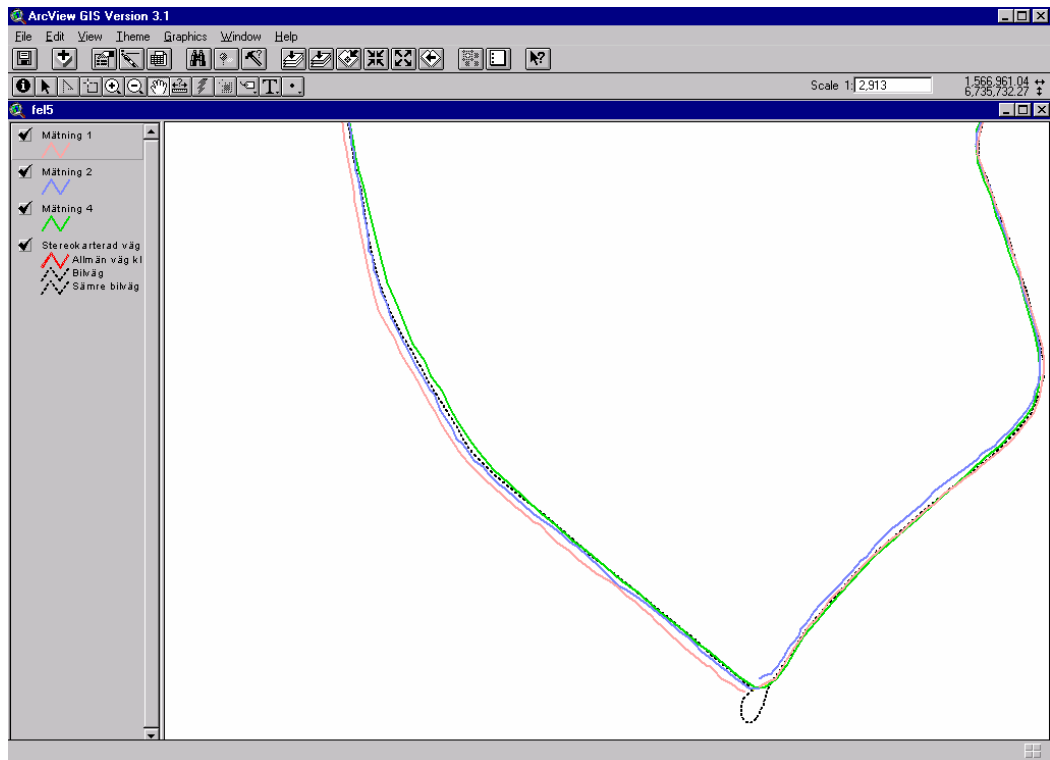


Fig 5: Stora avvikelser i södra delen av delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:6000.



## Delsträcka 1 och 2

Mätning 1 redovisas i skärt, mätning 2 i blått, mätning 3 i cerise och mätning 4 visas i grönt.

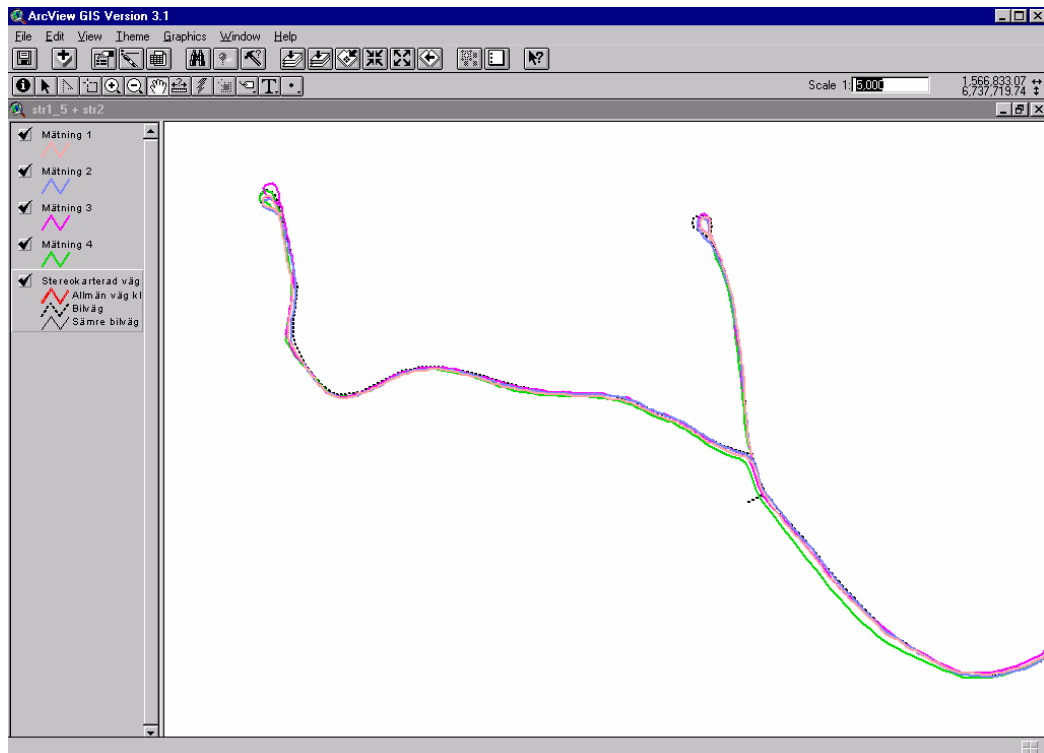


Fig 1: Nordligaste delen av delsträcka 1, samt delsträcka 2. Skalan är ungefär 1:10000.

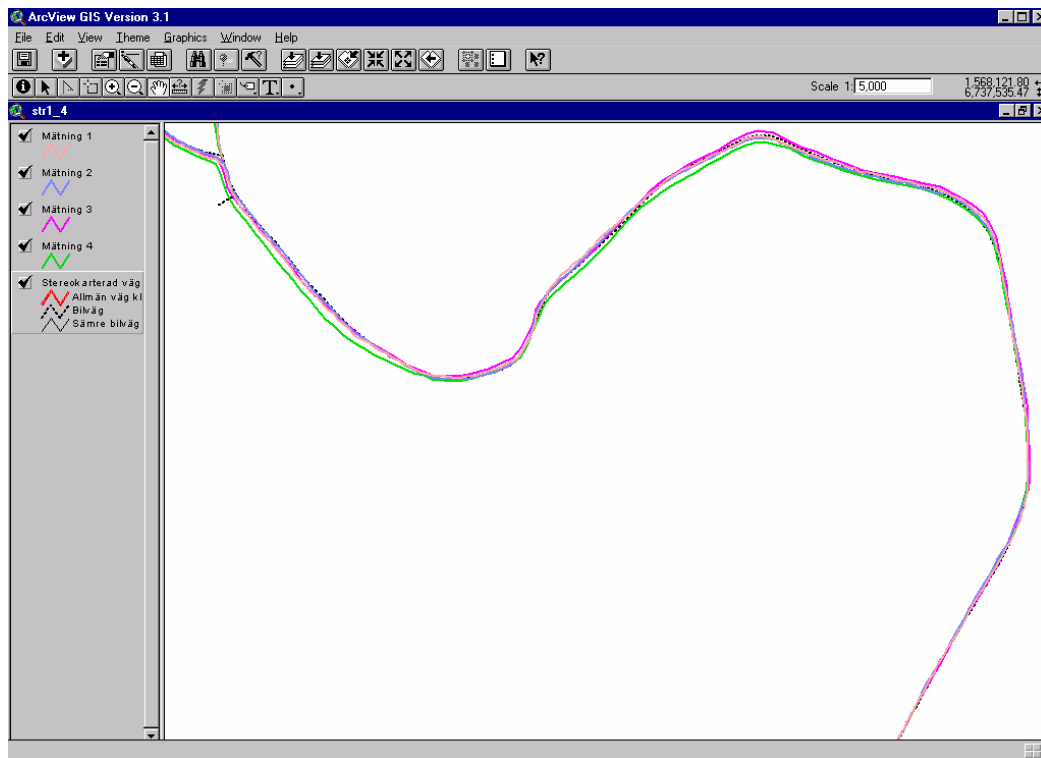


Fig 2: Fortsättning söderut längs delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

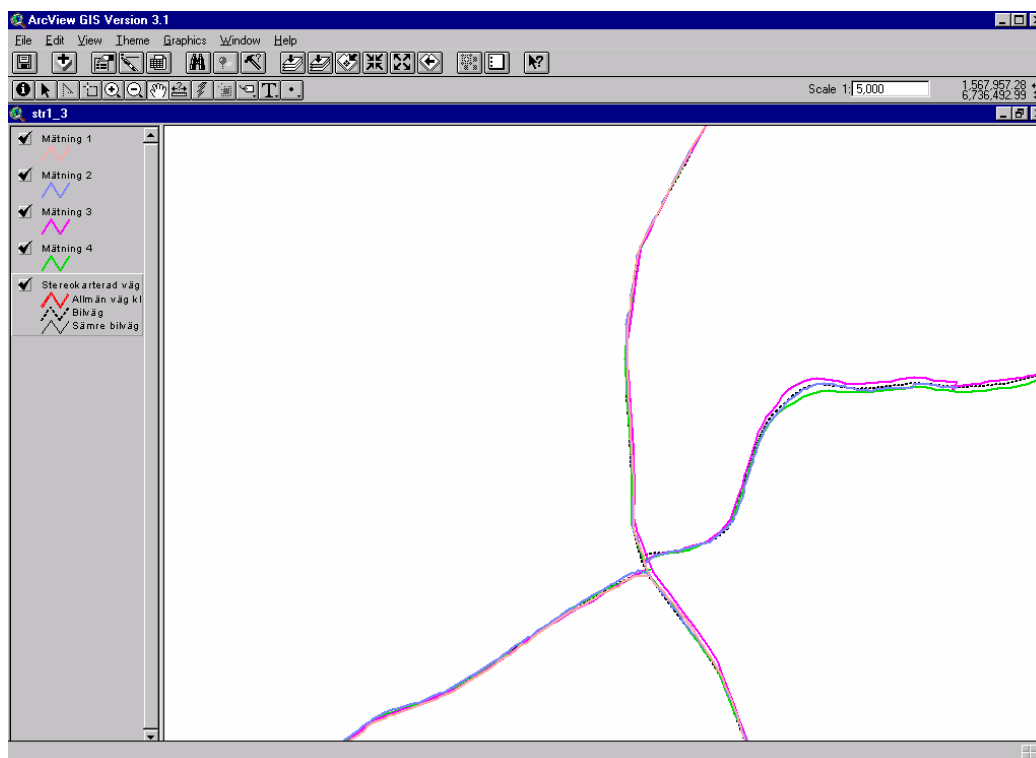


Fig 3: Fortsättning söderut längs delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

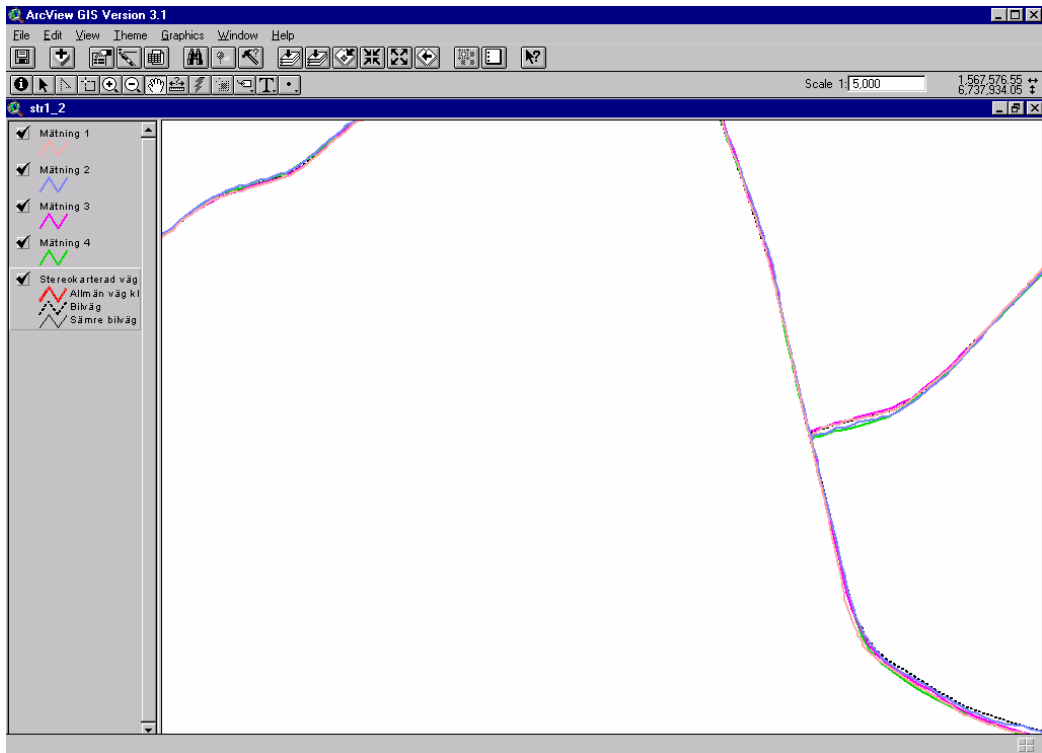


Fig 4: Fortsättning söderut längs delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

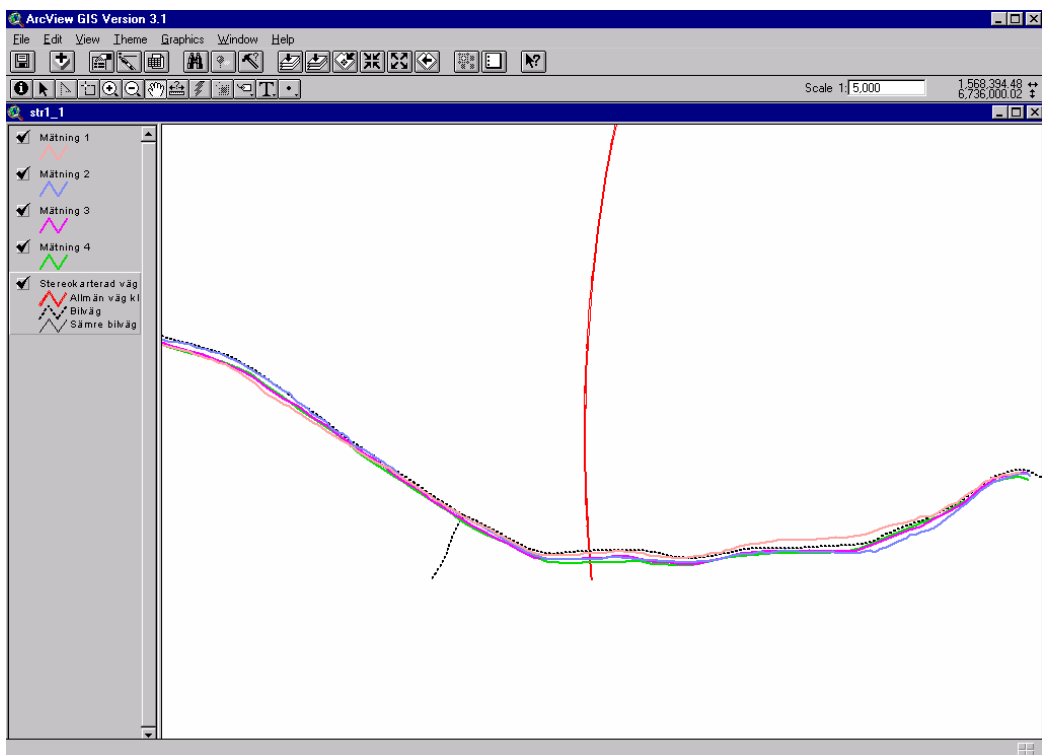


Fig 5: Södra delen av delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

### Delsträcka 3

Mätning 2 redovisas i blått, mätning 3 i cerise och mätning 4 visas i grönt. Mätning 1 redovisas inte, eftersom sträckan inte mättes under den mätningen.

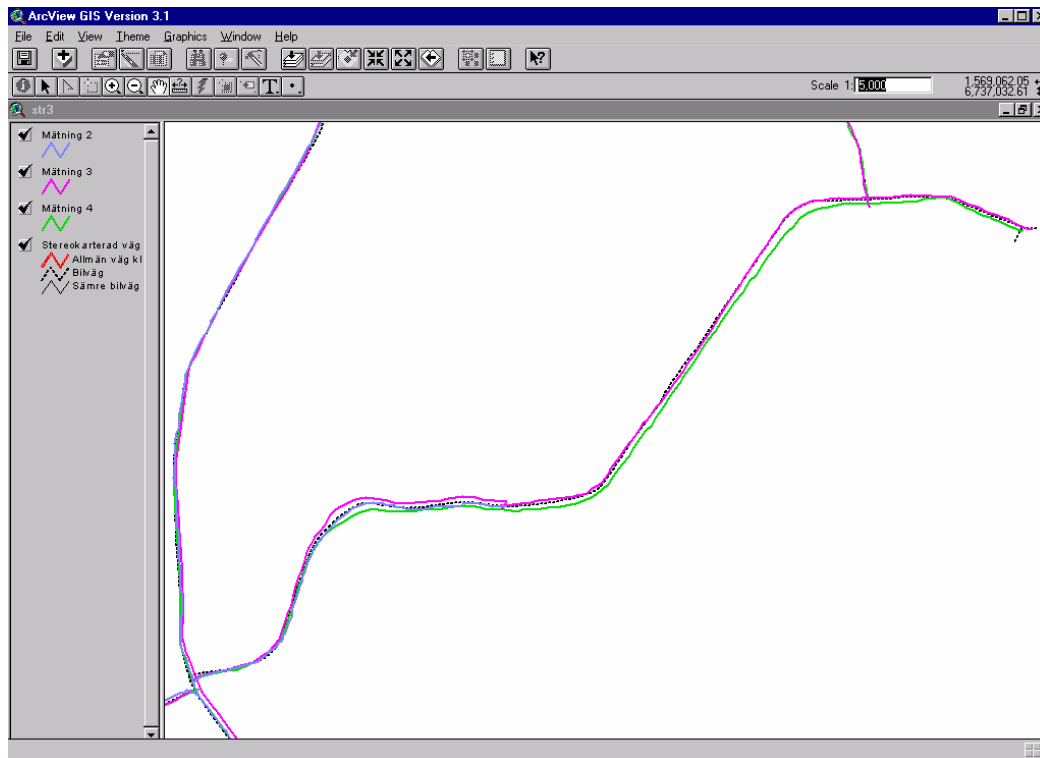


Fig 6: Delsträcka 3. Skalan är ungefär 1:10000.



## Delsträcka 4

Mätning 1 redovisas i skärt, mätning 2 i blått, mätning 3 i cerise och mätning 4 visas i grönt.

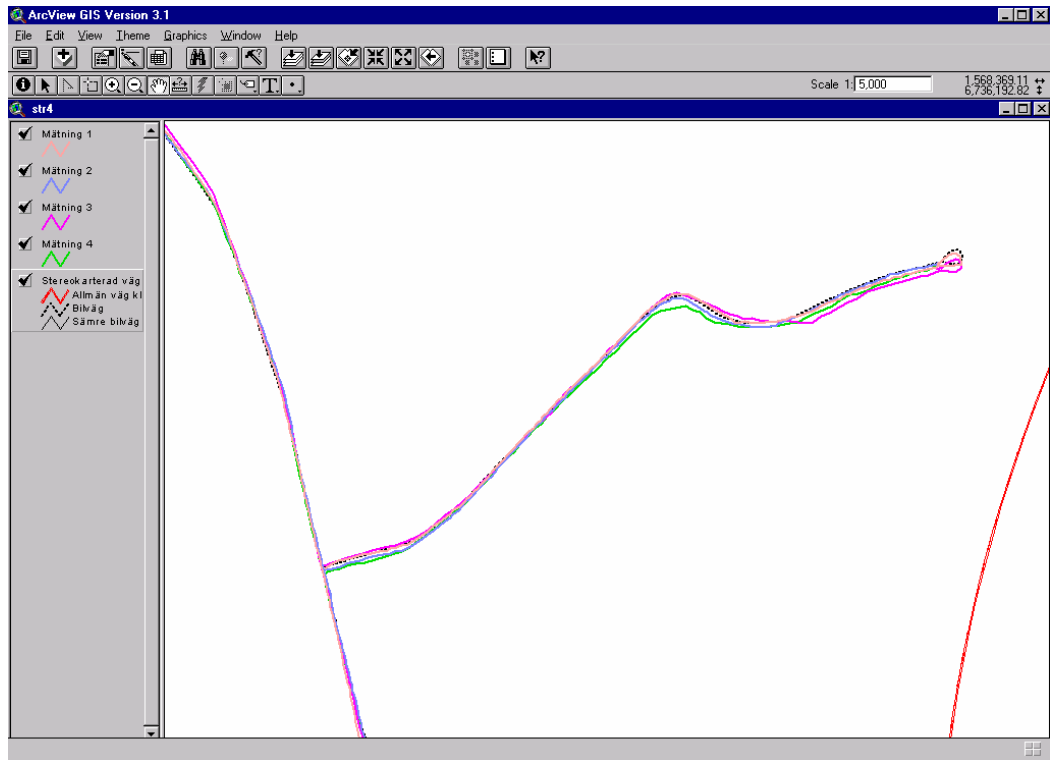


Fig 7: Delsträcka 4. Skalan är ungefär 1:10000.

## Delsträcka 5 och 6

Mätning 1 redovisas i skärt, mätning 2 i blått, mätning 3 i cerise och mätning 4 visas i grönt.

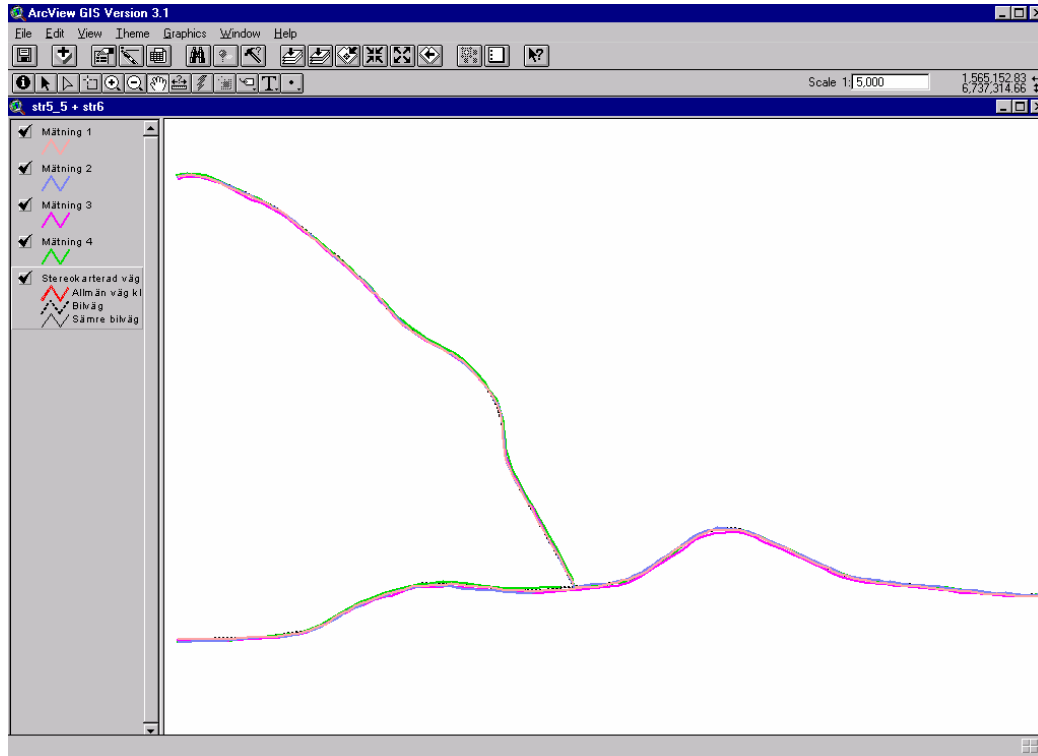


Fig 8: Nordvästra delen av delsträcka 5, samt delsträcka 6. Skalan är ungefär 1:10000.

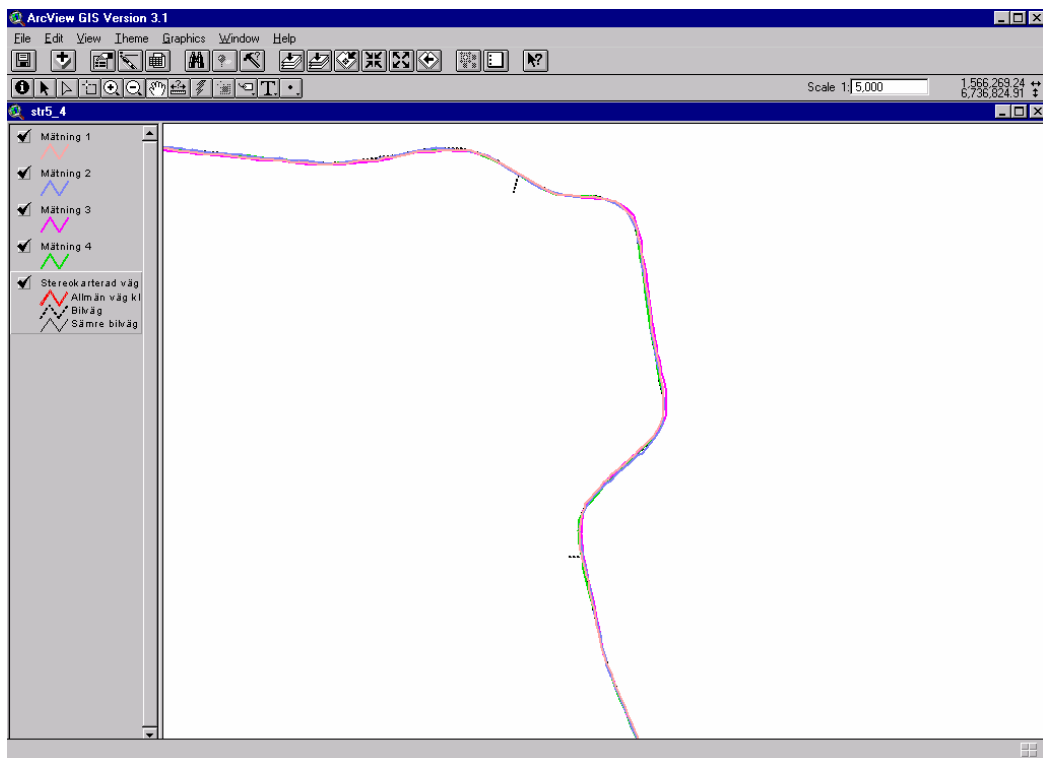


Fig 9: Fortsättning västerut längs delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

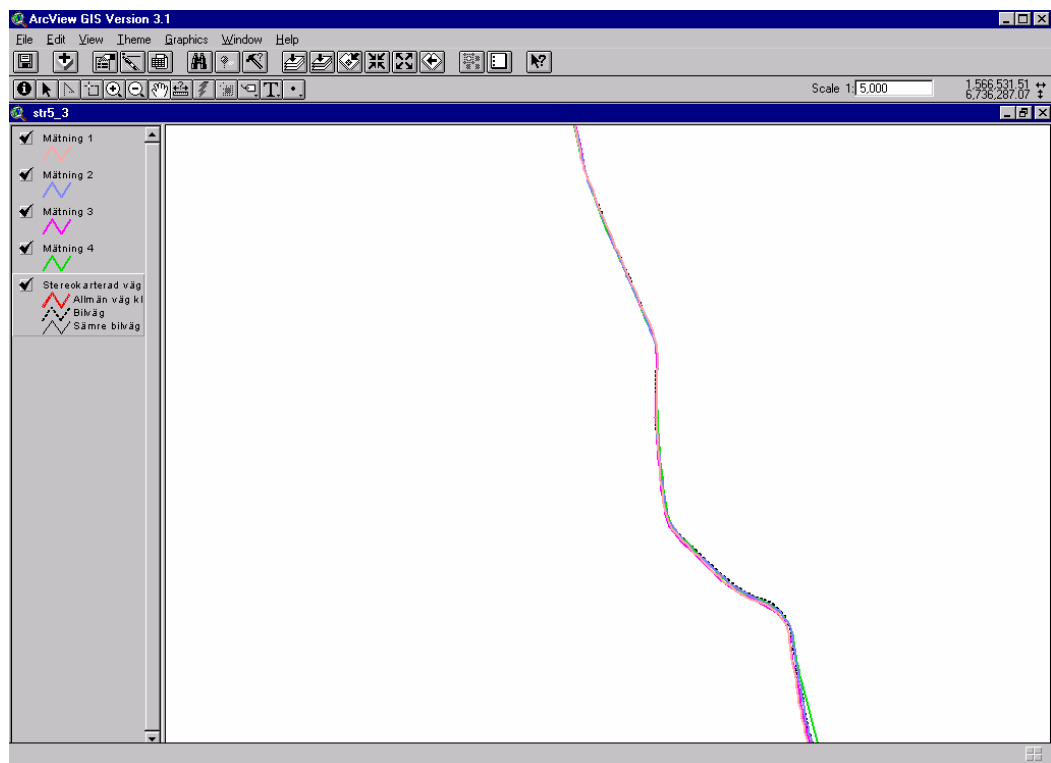


Fig 10: Fortsättning söderut längs delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

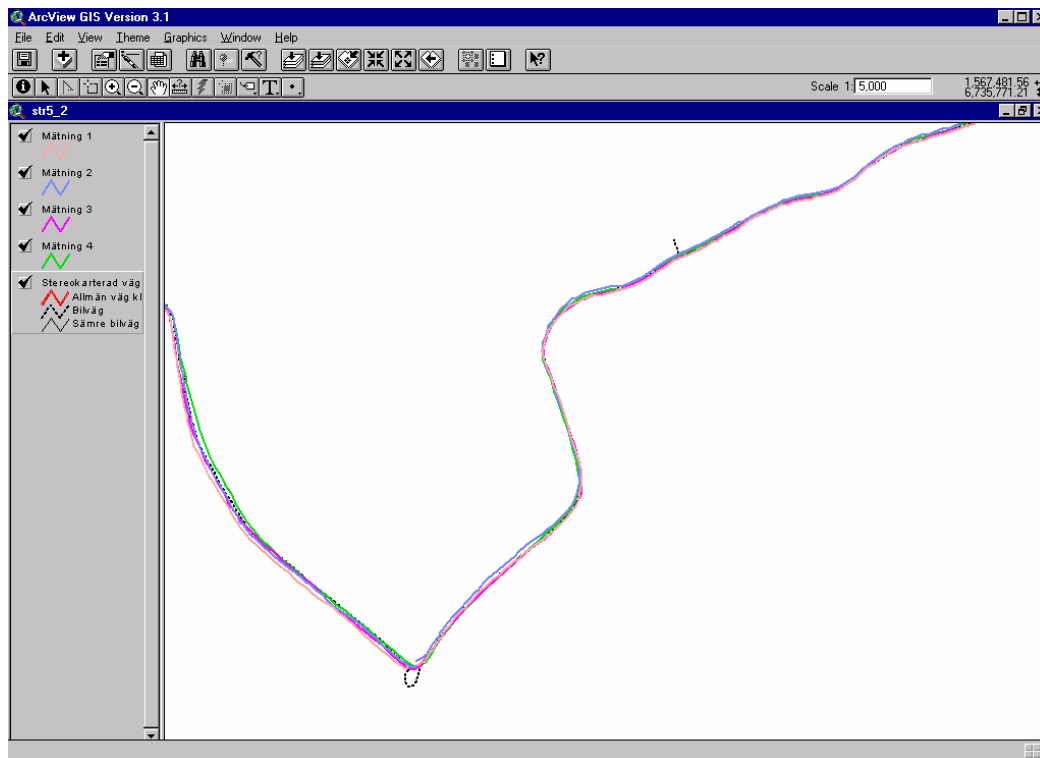


Fig 11: Södra delen av delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

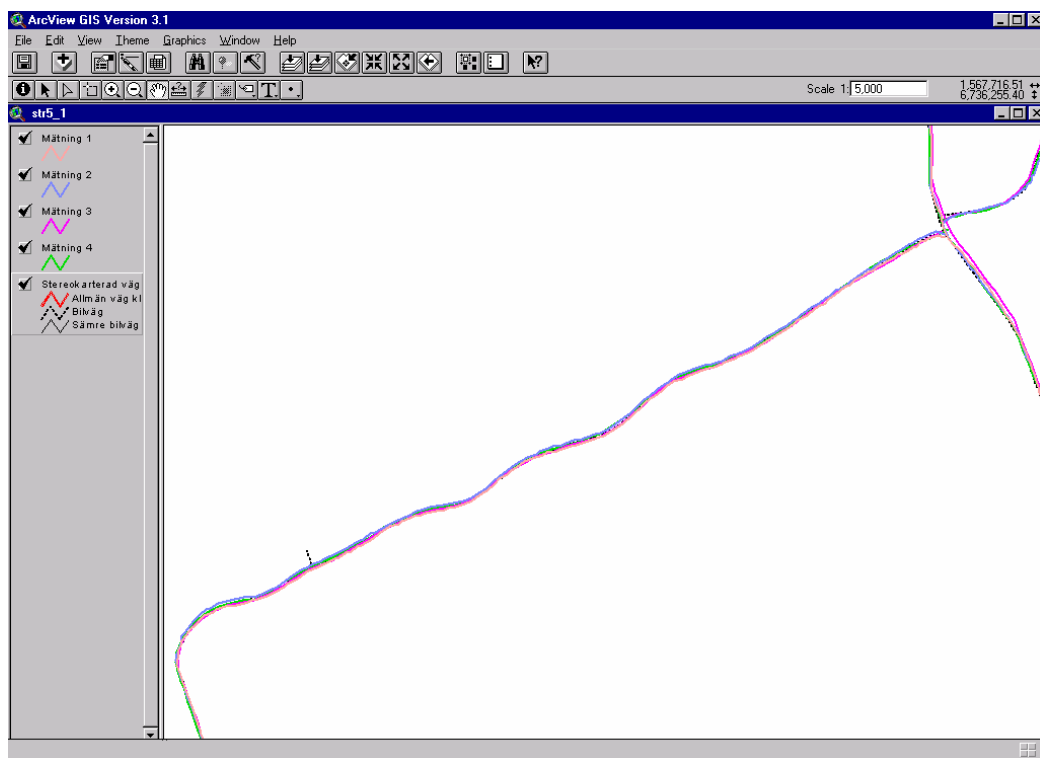
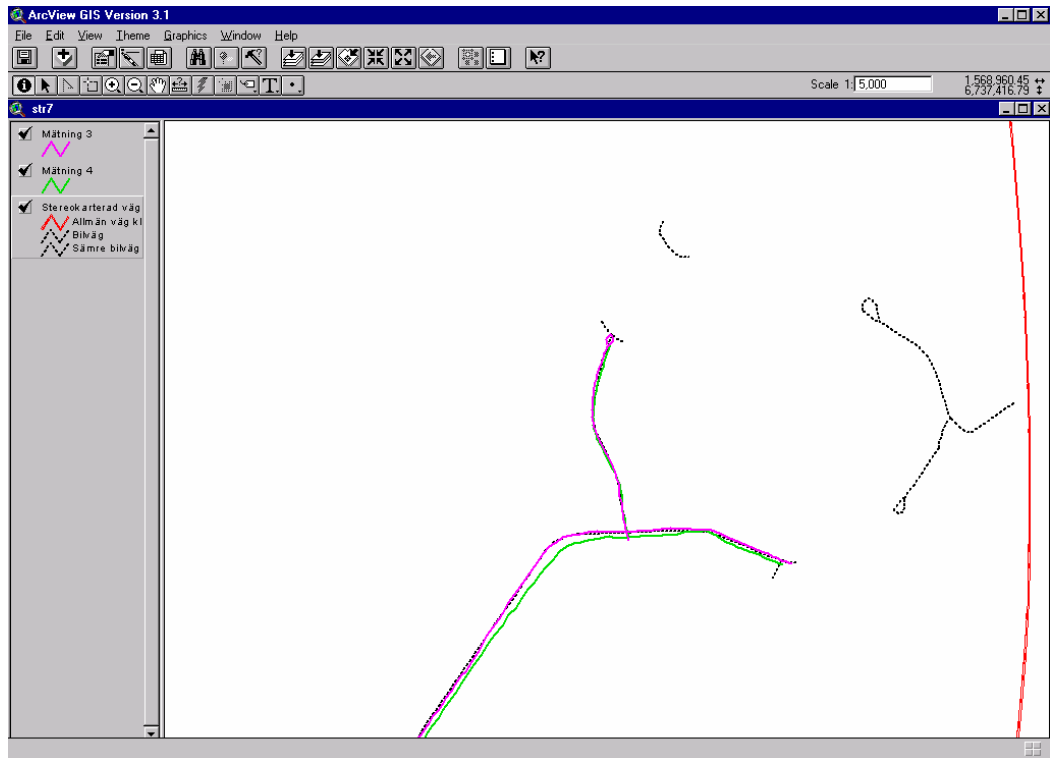


Fig 12: Östra delen av delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

## Delsträcka 7

Mätning 3 redovisas i cerise och mätning 4 visas i grönt. Mätning 1 och 2 redovisas inte, då sträckan inte mättes under den första mättdagen.

Fig 13: Delsträcka 7. Skalan är ungefär 1:10000.





## Delsträcka 1 och 2

Mätning 1 redovisas i grönt och mätning 2 visas i cerise.

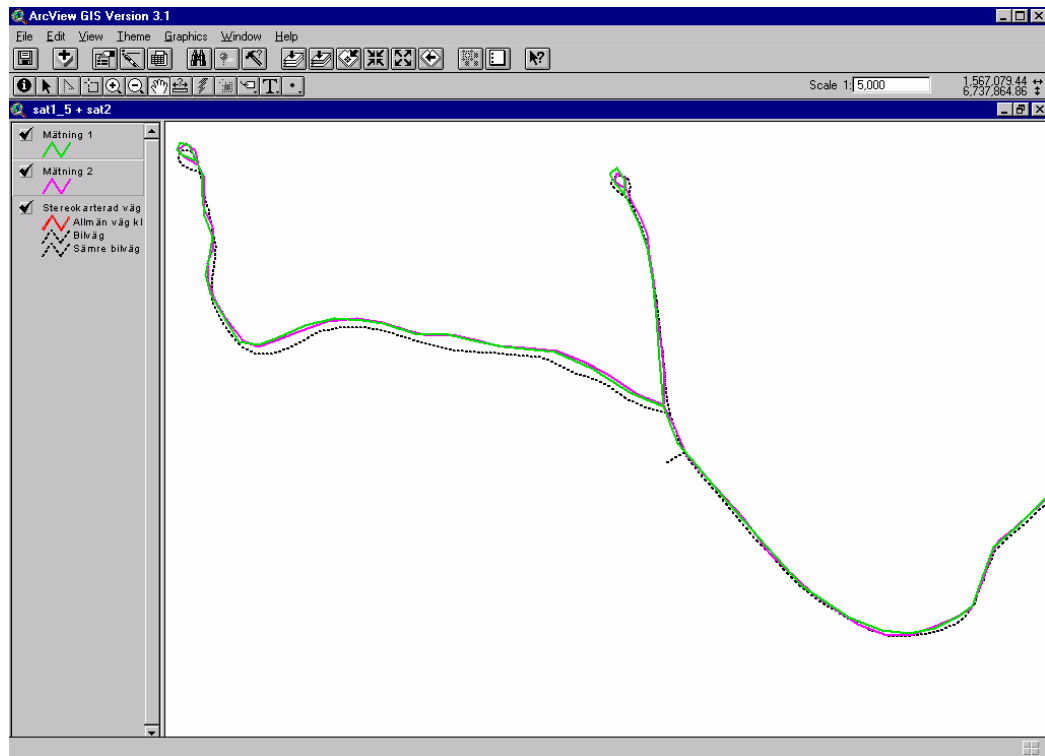


Fig 1: Norra delen av delsträcka 1, samt delsträcka 2. Skalan är ungefär 1:10000.

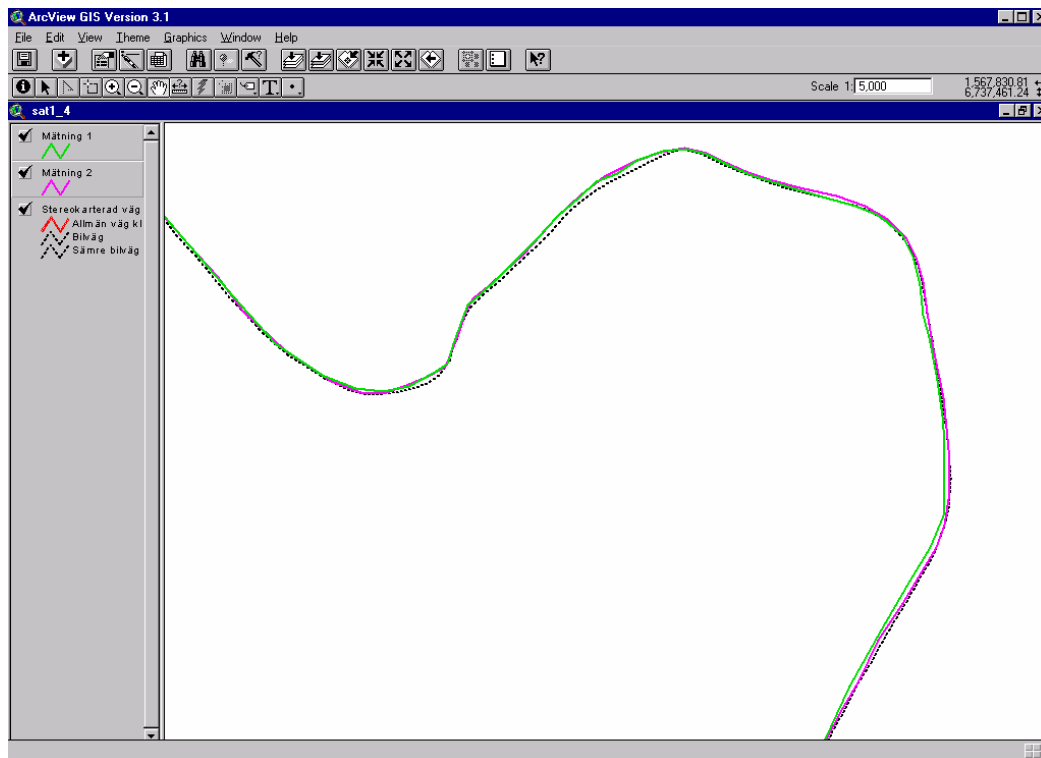


Fig 2: Fortsättning österut längs delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

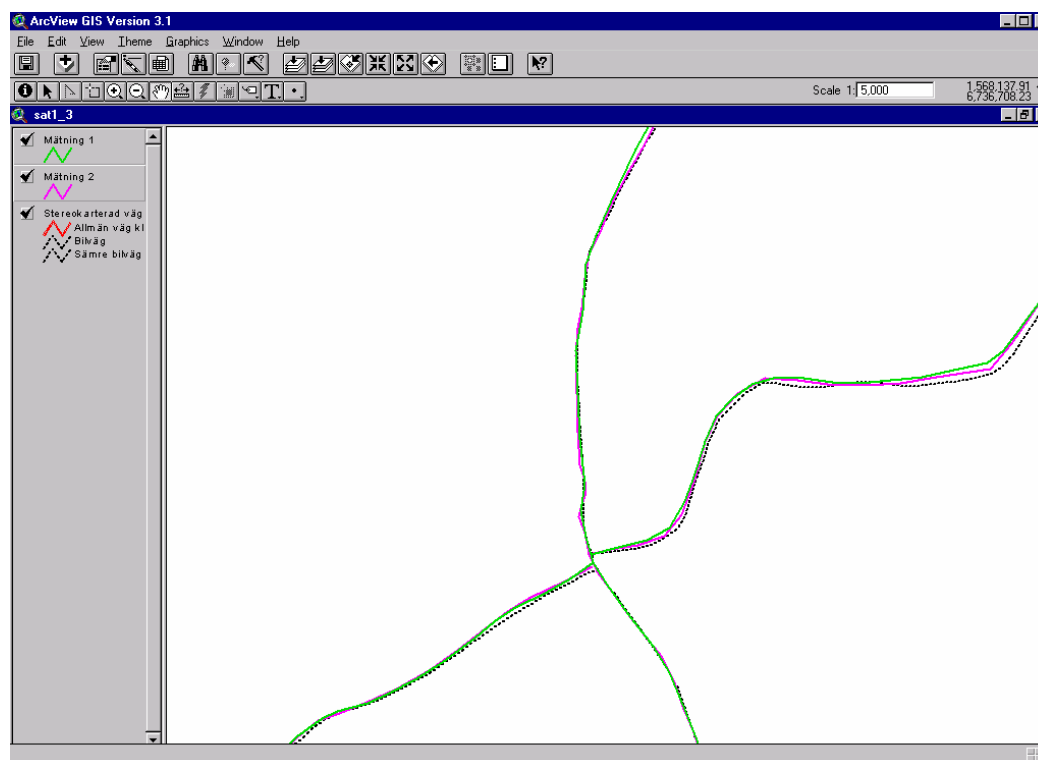


Fig 3: Fortsättning söderut längs delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.



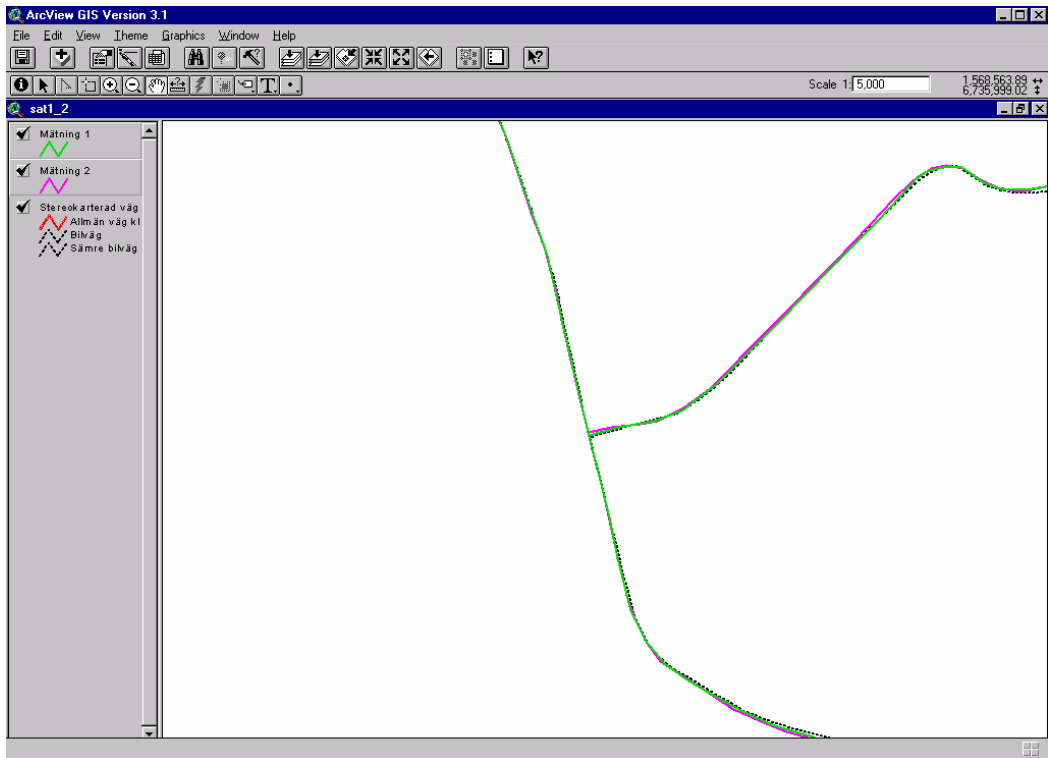


Fig 4: Fortsättning söderut längs delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

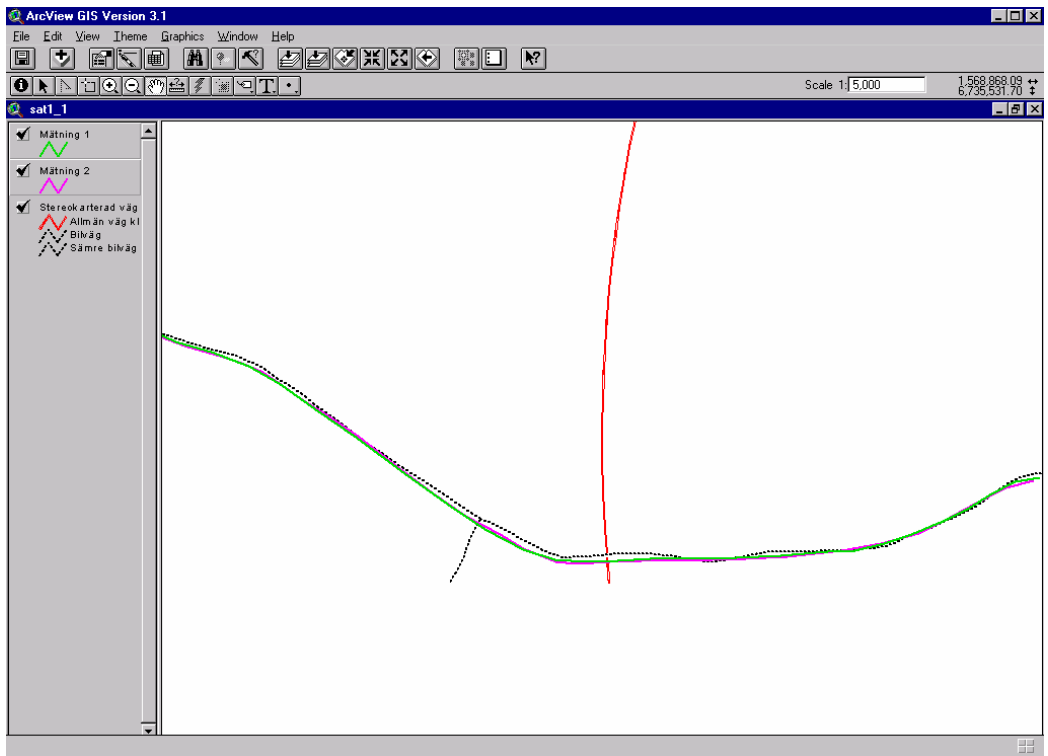


Fig 5: Södra delen av delsträcka 1. Skalan är ungefär 1:10000.

## Delsträcka 3

Mätning 1 redovisas i grönt och mätning 2 visas i cerise.

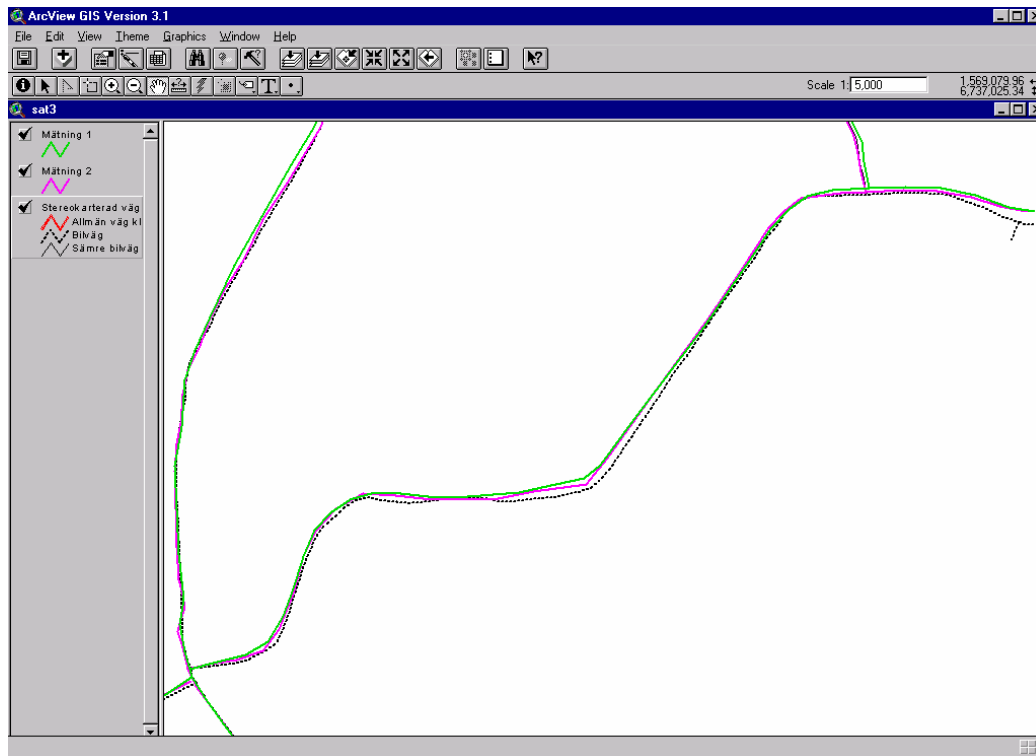


Fig 6: Delsträcka 3. Skalan är ungefär 1:10000.

## Delsträcka 4

Mätning 1 redovisas i grönt och mätning 2 visas i cerise.

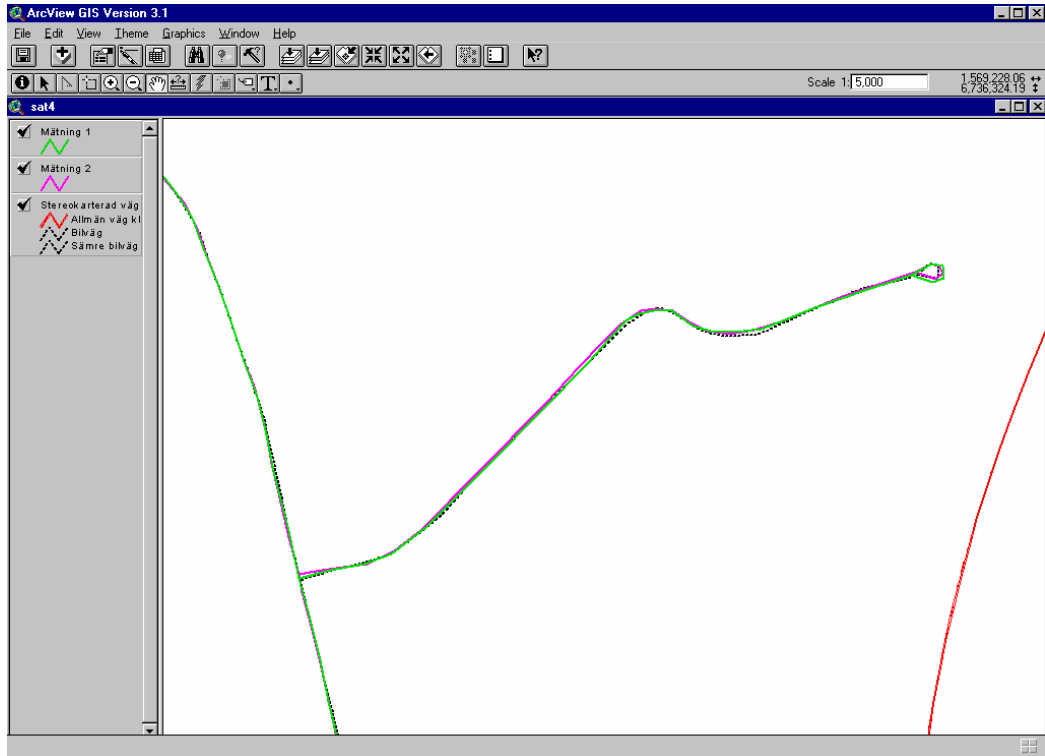


Fig 7: Delsträcka 4. Skalan är ungefär 1:10000.

## Delsträcka 5 och 6

Mätning 1 redovisas i grönt och mätning 2 visas i cerise.

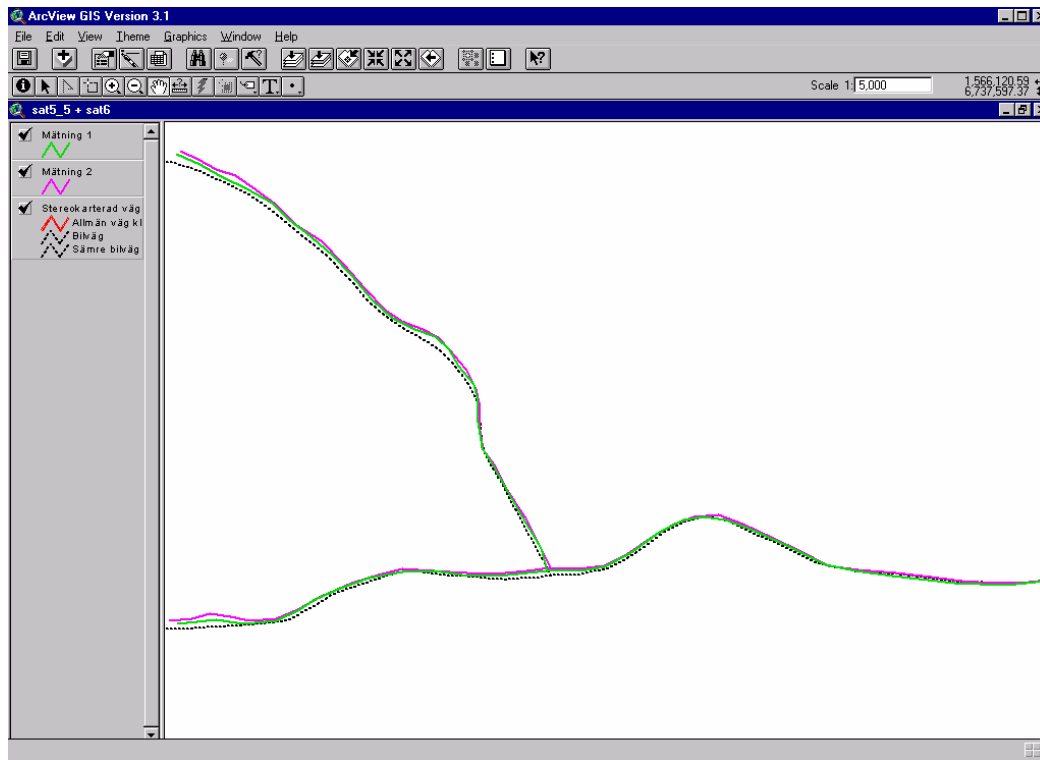


Fig 8: Norra delen av delsträcka 5, samt delsträcka 6. Skalan är ungefär 1:10000.

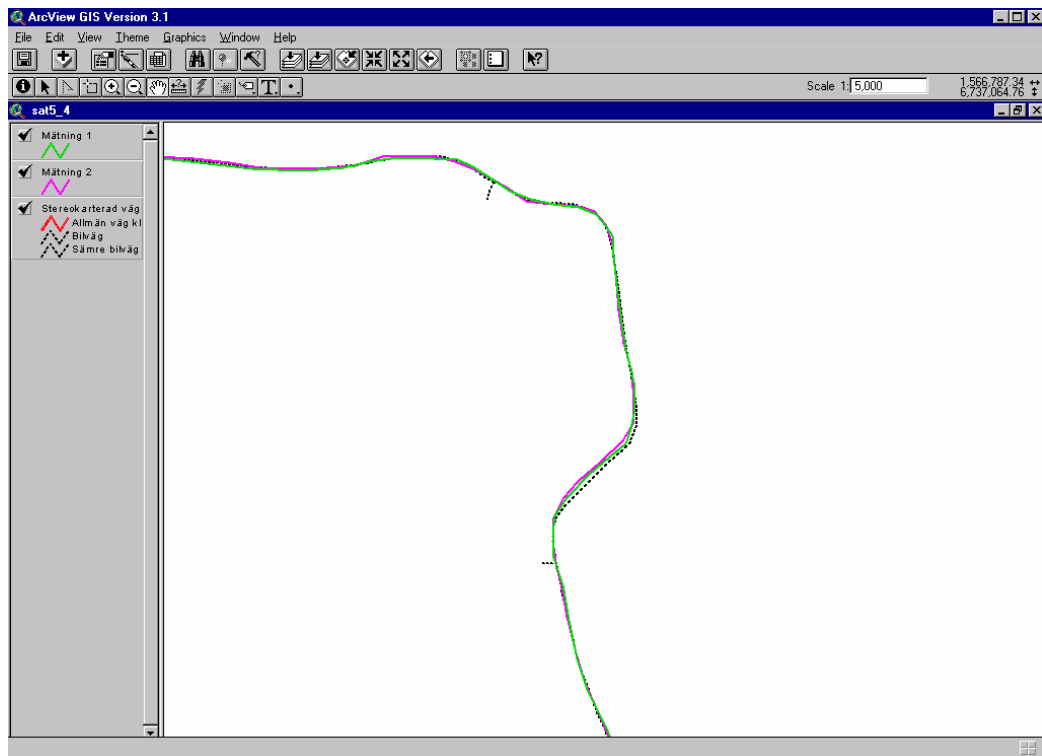


Fig 9: Fortsättning österut längs delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

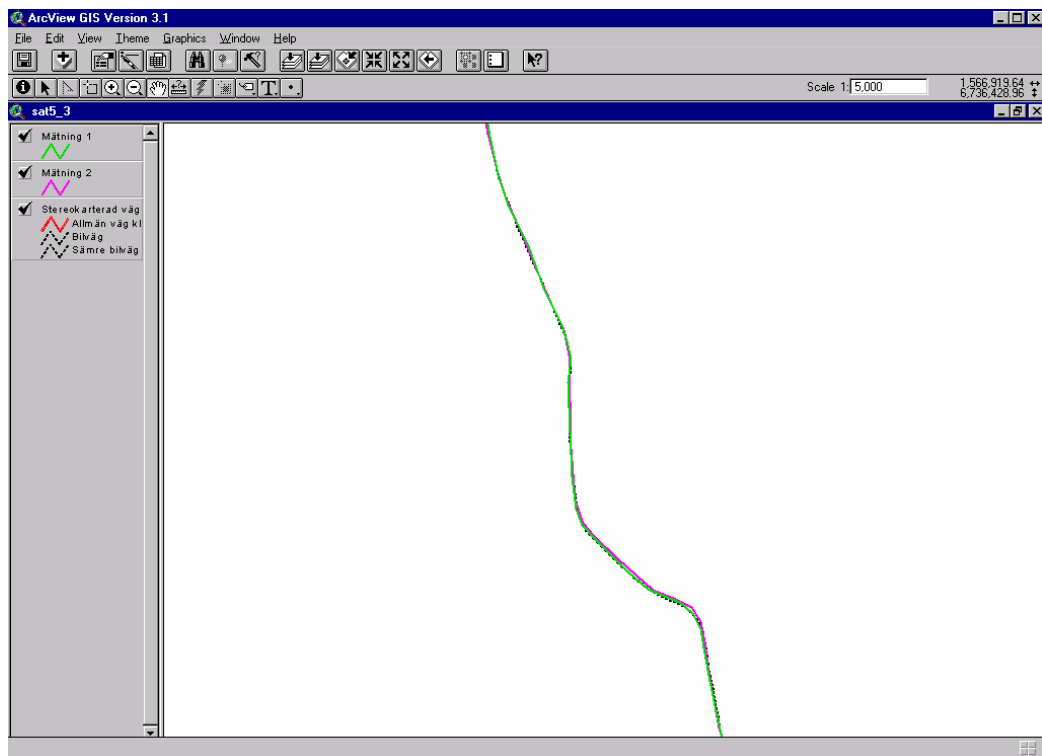


Fig 10: Fortsättning söderut längs delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

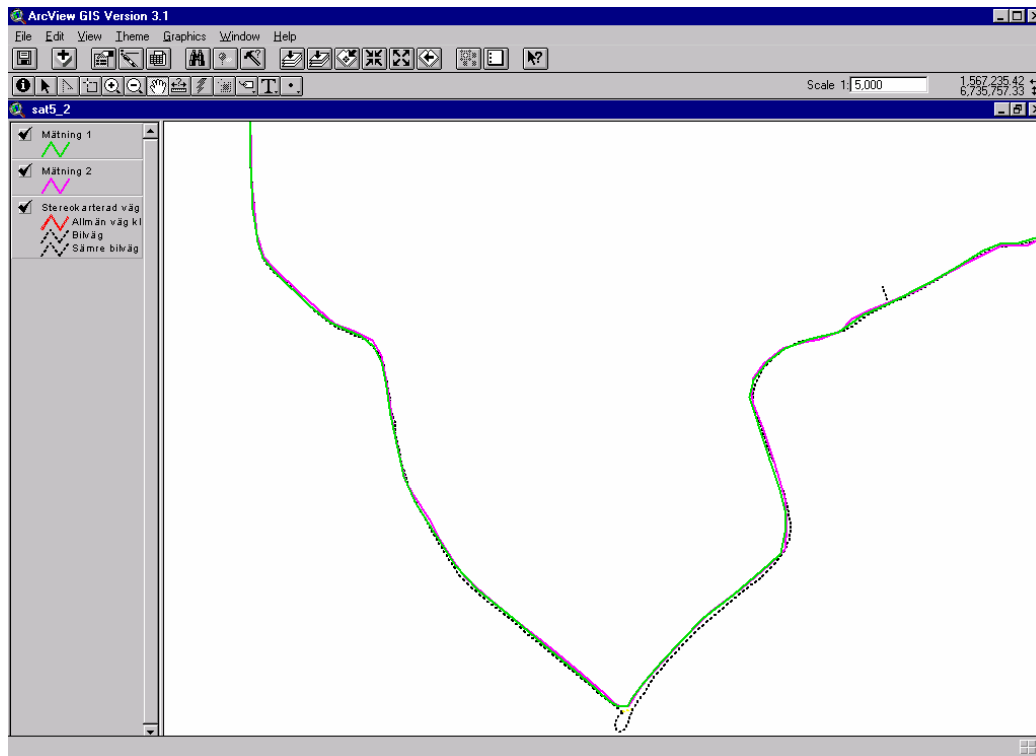


Fig 11: Fortsättning söderut längs delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

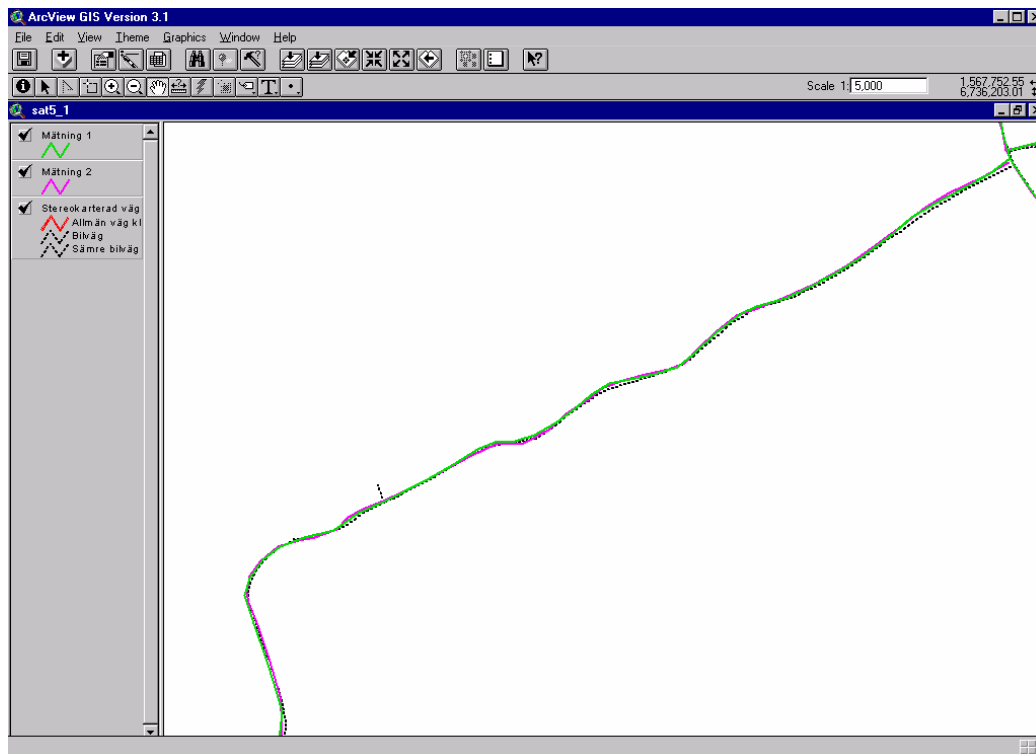


Fig 12: Östra delen av delsträcka 5. Skalan är ungefär 1:10000.

## Delsträcka 7

Mätning 1 redovisas i grönt och mätning 2 visas i cerise.

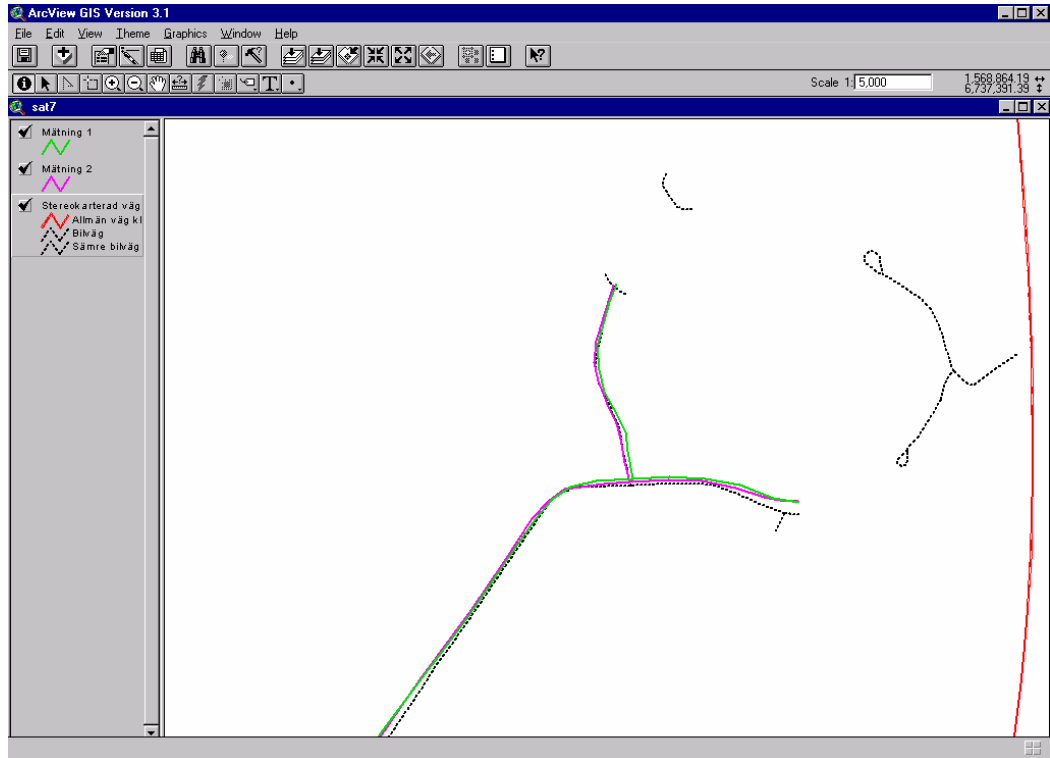


Fig 13: Delsträcka 7. Skalan är ungefär 1:10000.





## **Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriverket**

- 1998:2 Gustafsson L-E, Boresjö Bronge L, Näslund-Landenmark B och Ammenberg P: Vegetationsdata – Satellitdata.
- 1998:3 Lidberg M: Litteraturstudie om RTK-tekniken, ett samarbetsprojekt mellan Banverket, Lantmäteriverket och Vägverket.
- 1998:4 Ekman M: Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige genom tiderna.
- 1998:5 Jansson R: Utstakning av fastighetsgräns i skogsmark med hjälp av GPS hos Lantmäterimyndigheten i Norrbottens län.
- 1999:2 Andreasson T-B och Engman L: Multipath at the SWEPOS stations. Evaluation of eccosorb, a microwave absorbing material.
- 1999:3 Lilje M: Geodesy and Surveying in the future.
- 1999:4 Jonsson B: Civil Service Interface Committee International Information Subcommittee 7th European Meeting.
- 1999:5 Boresjö Bronge L, Näslund-Landenmark B och Ammenberg P: Våtmarksklassificering för svenska landtäckedata.
- 1999:6 Hellström A-K: Uppdatering av kartografiska databaser genom fortplantning.
- 1999:12 Jonsson B: Proceedings of the 13th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission.
- 2000:2 Engfeldt A & Jivall L: Kort introduktion till GNSS.

L A N T M Ä T E R I V E R K E T



Blankettförrådet. 801 82 GÄVLE Tel 026 - 63 30 00, fax 026 - 68 75 94