



**Lantmäteriet**  
Lantmäteriverket - National Land Survey  
S - 801 82 GÄVLE · SWEDEN

**Tekniska skrifter - Professional Papers**

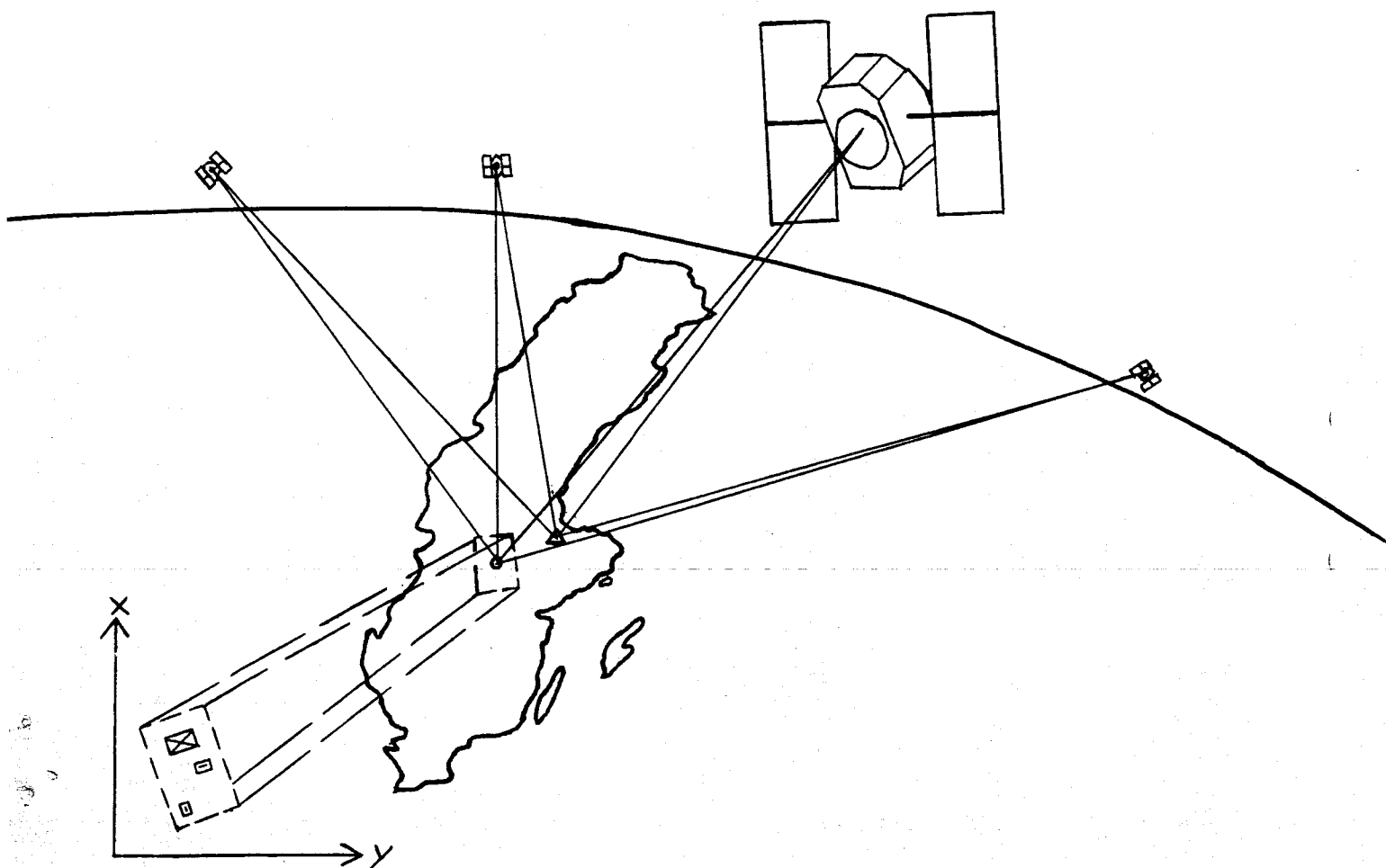
LMV-RAPPORT 1992:21

ISSN 0280-5731

## **GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING**

av

**Bengt Eurenus och Dan Norin**



**Gävle  
1992**

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1988:16 Haller L-Å & Ekman M: The Fundamental Gravity Network of Sweden.
- 1988:24 Lidberg M: Frihöjd - ett datorprogram för höjdbestämmning vid fri uppställning.
- 1988:26 Ekman M: The Impact of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity.
- 1989:4 Ekman M: Geodesins historia i Sverige - en liten översikt.
- 1990:3 Edgren M & Sundstrand G: Utredning om och förslag till stornät och koordinatsystem i Stor-Stockholm.
- 1990:8 Becker J-M: The Swedish Experience with the ISS Uliss 30 - Results from Tests and Pilot Projects.
- 1990:10 Hedling G, Jivall L, Jonsson B: Results and Experiences from GPS Measurements 1987-1990 - SVENAV-87, Local Control Networks and Dual-frequency Measurements.
- 1990:11 Jonsson B & Jivall L: Experiences from Kinematic GPS Measurements.
- 1990:13 Jivall L & Ollvik L: BFR-projektet "Pseudo-kinematisk/kinematisk GPS-mätning för geodetiska tillämpningar" - lägesrapport för etapp 1.
- 1991:1 Ekman M: Ellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige.
- 1991:4 Jonsson B: Kort introduktion till GPS.
- 1991:7 Becker J-M & Andersson B: Utvärdering av NA 2000 - nytt digitalt avvägningssystem. (Engelsk version 1991:15.)
- 1991:8 Lithén T & Persson C-G: Planering av GPS-nät.
- 1991:17 Jivall L: Jämförande GPS-beräkningar med TRIMVEC-PLUS.
- 1991:18 Jivall L: GPS-beräkning för stornät. (Engelsk version 1991:22.)
- 1992:10 Ekman M: Om lokala massors inverkan på geoiden - (On the Effect of Local Masses on the Geoid - Summary in English.)
- 1992:14 Hedling G, Jivall L, Jonsson B, Andreasson J: Some Swedish GPS Activities 1991 - Geodetic Control Surveying, Aerial Photography and a Swedish GPS Network.



Titel

GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING

av Bengt Eurenus och Dan Norin

- Huvudinnehåll

Rapporten redovisar praktiska försök, teoretisk bakgrund och framtida möjligheter med GPS inom förrättningsmätning. Studierna har genomförts i ett projekt och framförallt behandlat tekniken med att använda fasta referensstationer. Redovisningen avser främst GPS-mätning för anslutning av förrättningar till rikets nät i plan (RT90) där stomnät saknas, men även mätning med GPS för förrättningsproduktion.

---

LDOK

Kg Satellitgeodesi

---

Beställs hos



Lantmäteriverket  
Blankettförrådet  
801 82 GÄVLE



Allmänna Förlaget



Kartavdelningen  
Geodetiska utvecklingsenheten  
Bengt Eurenus  
Dan Norin

1992-12-15

## GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING

### FÖRORD

På geodetiska utvecklingsenheten vid Lantmäteriverket påbörjades under våren 1992 ett projekt PREF, för att studera möjligheterna att upprätta och använda ett rikstäckande nät av fasta referensstationer för positionsbestämning med GPS.

Ett delprojekt till PREF är projektet GPS inom förrättningsmätning. Delprojektet har studerat hur GPS-tekniken och fasta referensstationer skall kunna användas för fastighetsbildning på landsbygden.

Denna rapport redovisar praktiska försök, med genomförande i maj 1992, teoretisk bakgrund samt framtida möjligheter med GPS och fasta referensstationer.

I projektgruppen har ingått personal från geodetiska utvecklingsenheten (KG) och fastighetsbildningsenheten (FF) vid Lantmäteriverket samt från Östhammars lantmäteridistrikt (C2).

KG och fastighetsavdelningen har tillsammans finansierat delprojektet.

Bemanningen har varit enligt följande.

#### Arbetsgrupp:

Bengt Eurenus	LMV-KG
Dan Norin	LMV-KG
Gunnar Ericsson	LMV-FF
Anders Nilsson	C2

#### Styrgrupp:

Stefan Gustafsson	LMV-FF
Clas-Göran Persson	LMV-KG
Bo Jonsson	LMV-KG

1992-12-15

0.	INNEHÅLLSFÖRTECKNING	
1.	SAMMANFATTNING	4
2.	MÅLSÄTTNING	6
3.	BAKGRUND	7
3.1	GPS-teknik	9
3.1.1	Kodmätning	10
3.1.2	Bärvågsmätning	10
3.2	Förrättningsmätning idag	11
3.3	Hur GPS-tekniken kan användas vid förrättningsmätningar	12
3.3.1	Anslutning med hjälp av GPS	12
3.3.2	Utstakning/inmätning av gränser	14
3.3.3	Uppsökning av punkter	15
4.	FÖRSÖKENS UPPLÄGGNING	16
5.	ANSLUTNING AV FÖRRÄTTNING TILL RT90	17
5.1	Anslutning i Dannemora	18
5.2	Anslutning i Österbybruk	19
5.3	Anslutning i Gårdskär	20
5.4	Beräkning	22
5.4.1	Bärvågsmätning	22
5.4.2	Kodmätning	23
5.4.3	Grafisk anslutning	23
5.5	Resultat	23
5.5.1	Dannemora	24
5.5.2	Österbybruk	27
5.5.3	Gårdskär	28
5.5.3.1	Bärvågsmätning	28
5.5.3.2	Kodmätning	30
6.	STÖD AV GPS VID GRÄNSARBETEN	32
6.1	Inmätning	32
6.2	Utstakning	33
6.3	Uppsökning	33

1992-12-15

6.4	Beräkning	34
6.4.1	Inmätning	35
6.4.2	Utstakning	35
6.4.3	Uppsökning	35
6.5	Resultat	35
6.5.1	Inmätning	36
6.5.2	Utstakning	37
6.5.3	Uppsökning	38
7.	UTVÄRDERING	39
7.1	Allmänt	39
7.2	Anslutning av förrättning till RT90	39
7.3	Gränsarbeten	42
7.3.1	Inmätning	42
7.3.2	Utstakning	43
7.3.3	Uppsökning	43
7.4	RT90:s betydelse	43
8.	FRAMTID	45
	REFERENSER	48
	GPS-BERÄKNING MED KORTA MÄTTIDER	Bilaga 1
	SNABB STATISK GPS-MÄTNING	Bilaga 2

1992-12-15

## 1. SAMMANFATTNING

Projektet redovisar framtida möjligheter med GPS och fasta referensstationer för olika typer av förrättningsmätningar. Redovisningen avser främst mätning för anslutning av förrättningar till rikets nät i plan (RT90) där stomnät saknas, men också mätning med GPS för förrättningsproduktion.

Inledningsvis ges en bakgrund till anläggandet av ett nationellt nät av referenspunkter för GPS-mätning samt försök med fasta referensstationer. Därefter följer korta beskrivningar av GPS-tekniken som sådan samt hur förrättningsmätning görs idag, med hänsyn till anslutningar. Här redogörs också för några idéer om hur GPS-tekniken kan användas vid förrättningsmätning i framtiden.

Tre stycken landsbygdsförrättningar har anslutits till RT90 med hjälp av GPS och de fasta referensstationerna i Mårtsbo och på Lovö. Vid anslutningen användes olika metoder för bestämningarna av utgångspunkterna. I redovisningen redogörs för resultaten med de olika metoderna. På en av förrättningarna har anslutningen även gjorts grafiskt med digitalisering av passpunkter i ett ortofoto.

Resultaten visar att positionsbestämning av en punkt med GPS och tvåfrekvensbärvågsmätning relativt fasta referensstationer håller en noggrannhetsnivå på 2 - 3 dm. För att GPS-anslutning av landsbygdsförrättningar till RT90 skall bli ett ekonomiskt alternativ till inpassning med digitalisering krävs framförallt utveckling av effektiva metoder för datahantering och beräkning.

Däremot kan GPS idag vara ett tillskott i de situationer där GPS kan användas även för själva förrättningsproduktionen, t.ex. arbeten med långsträckta gränser i skogsterräng. I rapporten redogörs för tester med positionsbestämning i skogsterräng, uppsökning av givna positioner samt hur grafiska tolkningar från olika kartmaterial kan kombineras med GPS-mätningar. Försöken visar att GPS i dessa tillämpningar kan vara till mycket stor hjälp.

Ur teknisk synpunkt kan vi konstatera att den transformationsformel som idag används mellan WGS 84 och RT90, kombinerat med RT90-koordinater för Mårtsbo och Lovö, inte ger entydiga resultat mellan GPS-bestämningar från olika referensstationer när baslinjerna är långa. Dels kan skalan i GPS-beräkningarna avvika från RT90:s skala och dels verkar det finnas regionala motsägelser mellan GPS och RT90.

1992-12-15

För att använda referensstationer för bärvägsmätning är det viktigt att hitta metoder som löser dessa problem.

Sist föreslår vi hur man bör jobba vidare med försök, kompetensuppbyggnad och metodutveckling för att veta hur GPS och fasta referensstationer bäst kan utnyttjas inom förrättningsmätning i framtiden. Försöken bör i ett första skede studera överföring av korrektionsdata och mätdata till ett mätområde, hur tolkning med grafiska metoder kan kombineras med GPS samt hur mätmetoder och beräkning kan produktionsanpassas.

Avslutningsvis kan konstateras att det redan nu finns möjliga rationaliseringsvinster att göra genom att använda GPS-tekniken inom förrättningsmätning.



1992-12-15

## 2. MÅLSÄTTNING

Projektet har haft som målsättning att med praktiska försök göra en pilotstudie av vilka möjligheterna är att vid olika slags förrättningsmätningar använda GPS-tekniken med fasta referensstationer. Detta gäller främst undersökningar av hur man på ett enkelt sätt ansluter förrättningar i områden utan stomnät till rikets nät i plan RT90 eller något regionsystem. Intressant är också att studera om en kvalitetshöjning av dagens inpassningsmetoder har några fördelar.

Även i andra fall där markstöd saknas skulle studier göras över hur punkter kan mätas in med GPS för att sedan ev. gå vidare med terrestra mätningar. Både relativ bärvågsmätning mot fasta referensstationer med beräkning i efterhand och relativ kodmätning i realtid skulle prövas.

Vidare har i målsättningen ingått att undersöka vilka rationaliseringsvinster (tidsvinster utan kostnadsökningar) som kan göras med denna teknik för förrättningsmätning.

I målsättningen har inte ingått att göra några försök med detaljmätning med GPS. Inte heller har kinematisk bärvågsmätning studerats då huvudsyftet varit att titta på användandet av fasta referensstationer. Stommätning med GPS-teknik används rutinmässigt idag och tas därför heller inte upp i denna rapport.

1992-12-15

### 3. BAKGRUND

I utredningen Geodesi 90 redovisas planerna på ett svenskt nät med referenspunkter för GPS-mätning och hur dessa skall realiseras. Geodesi 90 föreslår bl.a. följande:

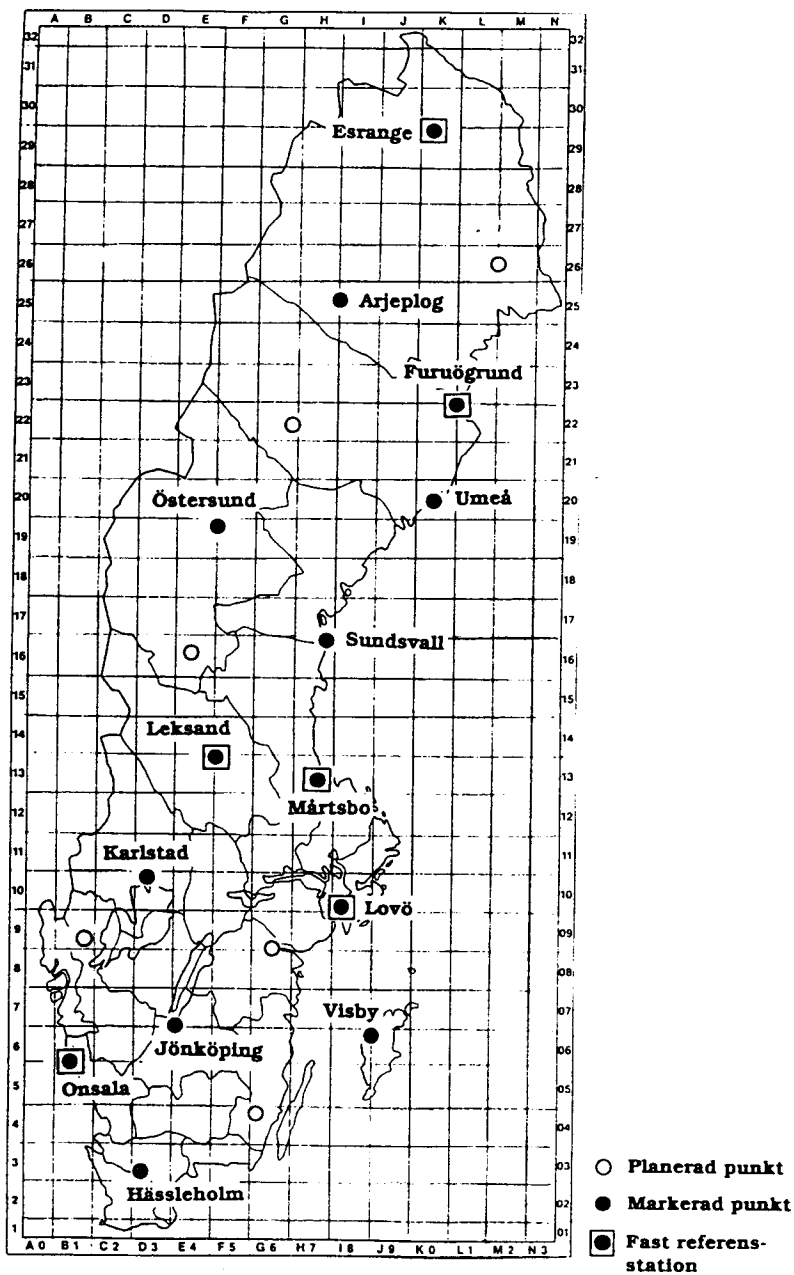
- Ett nationellt referensnät i plan och höjd, omfattande ett 50-tal punkter, etableras och ett försök med fasta referensstationer genomförs i en del av detta nät för att ge underlag för ett strategiskt beslut år 1994.
- Målsättningen med införandet av GPS och nät av fasta referensstationer inom lantmäteriorganisationen skall bl.a. vara att underlätta anslutning till riksnätet i samband med flygfotografering och fastighetsbildning på landsbygden.

Med detta som bakgrund har Lantmäteriverket under 1992 startat ett projekt för att upprätta ett nationellt referensnät, SWEREF, med ett femtiotal lättillgängliga punkter, som är anslutna till riksnäten i plan och höjd. Dessa punkter skall temporärt kunna utrustas med GPS-mottagare.

Ungefär 20 av SWEREF-punkterna får en högre dignitet och bildar ett rikstäckande nät kallat SWEPOS, se figur 1. Varje SWEPOS-punkt täcker ett område med en radie av ca tio mil och kan utrustas med GPS-mottagare som mäter kontinuerligt. Därigenom etableras de som fasta referensstationer för positionsbestämning med GPS och kan utgöra referens vid relativ GPS-mätning. Positionsbestämning med decimeternoggrannhet relativt SWEPOS-punkter är då möjlig för en GPS-användare utrustad med endast en GPS-mottagare.

Mätning och anslutning av SWEPOS till riksnäten planeras vara klara våren 1993. För etableringen av de delar av SWEREF som inte ingår i SWEPOS, dvs. de punkter som inte skall förses med permanenta GPS-mottagare, finns en tidsplan som siktar mot ett färdigställande 1994/95. Ett viktigt syfte med dessa punkter är att förbättra tillgängligheten till riksnäten även för tillämpningar som inte tillgodoses av de fasta referensstationerna.

1992-12-15



Figur 1: SWEPOS, rikstäckande nät av punkter avsedda att kunna utrustas som fasta referensstationer för GPS-mätning.

1992-12-15

För att studera möjligheterna att etablera och använda ett nät av fasta referensstationer för GPS-mätning har ett delprojekt till projektet med att upprätta SWEREF och SWEPOS påbörjats. Delprojektet kallas "Försök med fasta referensstationer", PREF, och skall behandla tillämpningar med både bärvågs-mätning och kodmätning. Inom PREF har (november 1992) fem av SWEPOS-punkterna (Mårtsbo, Lovö, Esrange, Furuögrund och Leksand), delvis med intressentfinansiering, utrustats som fasta referensstationer. Vidare har Onsala rymd-observatorium en fast referensstation i gång. Frågeställningarna runt fasta referensstationer har också ingående studerats inom IT4-projektet GPS-Satellitnavigering (IT4-GPS, 1992).

Projektet med GPS inom förrättningsmätning som denna rapport behandlar är ett tillämpningsförsök till PREF.

### 3.1 GPS-teknik

GPS-mätning utförs antingen som navigering eller positionsbestämning.

Navigering syftar på att förflytta sig mellan två punkter med hjälp av löpande positions- och kursuppdateringar (beräknade i realtid). GPS-mottagaren är således i rörelse.

Positionsbestämning syftar på att bestämma punkters läge i ett koordinatsystem och utförs antingen som kinematisk eller statisk positionsbestämning. Vid kinematisk positionsbestämning är GPS-mottagaren i rörelse hela tiden eller med kortare uppehåll på de punkter som skall positionsbestämmas. Positionsberäkningen kan utföras antingen i realtid eller i efterhand. Vid statisk positionsbestämning står GPS-mottagaren stilla och positionsberäkningen sker oftast i efterhand. Beräkningen utförs i det tredimensionella geocentriska koordinatsystemet WGS 84, varefter transformation till önskat koordinatsystem måste göras.

Oavsett om man vill använda GPS-tekniken för navigering eller positionsbestämning så finns det två olika mättekniker:

- kodmätning; ger låg noggrannhet, men medför ett enkelt mätförfarande där beräkningen kan ske både i realtid och med efterberäkning
- bärvågsmätning; ger högre noggrannhet, men kräver idag beräkning i efterhand och används således bara till positionsbestämning.

1992-12-15

Kodmätning kan utföras direkt mot satelliterna (absolut mätning), medan bärvågsmätning måste utföras som relativ mätning (flera GPS-mottagare används där minst en är placerad på en känd punkt). Båda mätteknikerna går ut på att, fast med olika metoder, bestämma avstånden till minst fyra satelliter vars positioner är kända. Därefter kan GPS-mottagarens position bestämmas genom en inbindning i rymden. Viktigt är att sikten mot satelliterna är relativt fri. Detta gäller i större utsträckning bärvågsmätning än kodmätning.

I dagsläget består GPS-systemet av 19 satelliter, vilket möjliggör mätning mot fyra satelliter ungefär 22 timmar om dygnet. Satellitsystemet beräknas vara fullt utbyggt i slutet av 1993.

För att få en svensk terminologi inom GPS-området och lättförståeliga förklaringar till använda termer har en svensk standard (SIS, 1992) utarbetats.

### 3.1.1 Kodmätning

Absolut kodmätning ger dålig noggrannhet. För att erhålla medelfel för en positionsbestämning på några meter med kodmätning (C/A-kod) måste man tillgripa differentiell GPS-mätning (DGPS), som är en relativ mätmetod.

Vid differentiell GPS-mätning placeras en GPS-mottagare på en känd punkt. Denna mottagare beräknar korrektioner till avstånden till de satelliter man mäter mot. Dessa korrektioner kompenseras för fel orsakade av atmosfären och variationer i satellitbanorna. Då dessa fel är tämligen lika över ett större område kan korrektionerna appliceras på en annan GPS-mottagares mätningar, antingen i realtid eller som en efterberäkning. I realtid måste korrektionsmeddelandet överföras t.ex. via radio och överförs då vanligen i det s.k. RTCM-formatet.

### 3.1.2 Bärvågsmätning

För mätningar som kräver centimeter- eller decimeternoggrannhet används bärvågsmätning. Bärvågsmätning måste utföras som relativ mätning. I sin enklaste form mäter man samtidigt med en GPS-mottagare på en känd punkt och med en GPS-mottagare på den punkt man vill bestämma. De i mottagarna skapade mätfilerna används vid efterberäkningen. För att kunna göra beräkningen i något annat beräkningsprogram än i det av mottagarfabrikanten tillhållna kan man oftast föra över mätdata till det mottagaroberoende formatet RINEX. Hur noggrant baslinjen (rymdvektorn) mellan punkterna blir

1992-12-15

bestämd beror på hur länge man mäter och hur långt avståndet mellan punkterna är. Satelliterna sänder ut signaler med två frekvenser (L1 och L2). Genom att använda mottagare som kan mäta på båda frekvenserna kan man, framförallt för långa baslinjer, få bättre noggrannhet än om bara L1-frekvensen används.

Nyligen har de flesta mottagartillverkarna lanserat beräkningsmetoder (s.k. snabb statisk mätning) som medför att mättiden kan sänkas till omkring tio minuter om satellitkonfigurationen är bra. Dessa är bara avsedda för baslinjelängder upp till omkring två mil.

Då ett antal nypunkter skall GPS-bestämmas vid stommätning väljer man ut minst fyra triangelpunkter som omsluter nypunkterna. Vanligtvis mäter man samtidigt med tre till sex GPS-mottagare, vilket leder till att mätning måste ske under flera tidsperioder (sessioner). Mellan sessionerna flyttas GPS-mottagarna mellan triangel- och nypunkterna enligt en fastslagen planeringsstrategi, så att önskat antal baslinjer mäts och önskat antal överbestämningar erhålls. Medelfelen för positionsbestämningen av nypunkterna blir vanligtvis någon/några få centimeter.

### 3.2 Förrättningsmätning idag

För fastighetsredovisning används i större delen av landet ekonomiska kartans svarttryck. Detta innebär att i princip all förrättningsmätning bör anslutas i någon form till rikets system i plan (RT90), vare sig det finns stomnät att ansluta till eller inte inom förrättningsområdet.

Vid förrättningen mäts den information in som behövs för förrättningen och ev. samordnad produktion. Det är fråga om gränser, byggnader, vägar, servitutsområden m.m. Anslutningen görs dels för medverkan i ajourhållning av den digitala registerkartan, GSD och primärkartesystem samt dels för att underlätta uppbyggnad och användning av det lokala mätarkivet.

När stomnät finns utgår man givetvis från det. När stomnät inte finns kan anslutningen göras på olika sätt. Ett sätt är att med hjälp av grafiskt inmätta stödpunkter i ortofotokarta eller i ekonomiska kartan passa in mätområdet i RT90. Denna metod ger inpassningsfel i storleksordningen 3 - 10 m.

I ett projekt om MBK i förrättningsverksamheten (Förrättnings-MBK, 1991) har rekommendationer utarbetats för hur sådana anslutningar kan göras.

1992-12-15

Arbetet består i princip av fyra moment, nämligen val av passpunkter, mätning i fält, digitalisering och beräkning i efterhand på kontoret. I projekt-rapporten påpekar man att möjligheterna att ansluta förrättningar utanför områden med stomnät bör bli avsevärt bättre när GPS-tekniken blir mer tillgänglig, dvs. när mät- och beräkningsförfarandena blir enklare än vad de är idag, samt när det finns ett nät av fasta referensstationer och fler satelliter tillgängliga.

Den redan nämnda utredningen Geodesi 90 konstaterar också att det finns rationaliseringsvinster att göra främst vid fastighetsregistreringen och i den ekonomiska kartläggningen om alla mätningar kan anslutas till rikets nät. En utbyggnad av ett nät av fasta referensstationer för GPS-mätning för bl.a. glesbygdsförrättningar måste ha hög prioritet, t.ex. vad gäller införandet, anser Geodesi 90.

### **3.3 Hur GPS-tekniken kan användas vid förrättningsmätningar**

I avsnittet behandlas anslutningsmätning, utstakning/inmätning samt uppsökning av gränspunkter.

#### **3.3.1 Anslutning med hjälp av GPS**

Ett användningsområde för GPS-tekniken är, som nämnts ovan, anslutningsmätningar. Tillvägagångssättet blir i princip enligt följande.

En stationspunkt bestäms med GPS relativt en eller helst flera fasta referensstationer. För att erhålla orienteringen kan man tänka sig flera metoder:

- GPS-bestämning av två punkter, stationspunkten och en punkt att använda som bakåtojekt. Detta kan göras samtidigt med två olika GPS-mottagare eller med samma GPS-mottagare i två olika sessioner. Man kan också tänka sig en GPS-mottagare som hanterar två antenner samtidigt. (För orienteringsändamål finns dock ännu inte ändamålsenlig utrustning för detta.)
- GPS-bestämning av stationspunkten. Den placeras så att sikt mot ett objekt (bakåtojektet) med kända koordinater finns (t.ex. kyrka eller radiomast).
- GPS-bestämning av stationspunkten. Den placeras så att man får sikt mot ett avlägset objekt (bakåtojektet), som man koordinatsätter med hjälp av t.ex. ekonomiska kartan.

1992-12-15

- GPS-bestämning av stationspunkten. Kompassriktning tas till avlägset objekt (bakåtojektet) och används för orienteringen.
- GPS-bestämning av stationspunkten. Orienteringen erhålls med azimutbestämning mot solen.

När GPS-mätningarna är färdiga ställs det vanliga mätinstrumentet upp över stationspunkten och inmätningen av gränser och andra detaljer kan göras terrestert på konventionellt sätt. Man kan också tänka sig en lösning för samtidig mätning där GPS-antennen är fastsatt ovanpå totalstationen.

GPS-mätningen på stationspunkten utförs antingen som bärvågsmätning eller som kodmätning. Vid bärvågsmätning görs beräkningen i efterhand, medan kodmätning även kan utföras i realtid. Korrektionsdata från en fast referensstation överförs vid kodmätning i realtid med radio eller telefon, och positionsberäkningen i WGS 84 sker i direkt samband med mätningen. Därefter måste koordinaterna transformeraras till exempelvis RT90. Detta går inte idag att göra i realtid, men skulle kunna utföras med en fältdator.

I dagsläget kan ovanstående mätmetoder kräva att man måste använda tre olika typer av utrustningar samtidigt. Dessa är vanlig mätutrustning inklusive fältdator, GPS-utrustning och slutligen utrustning för mottagning av korrektionsdata från en fast referensstation. Att använda så många olika utrustningar samtidigt är givetvis inte realistiskt annat än i försökssyften och möjligen vid större mätprojekt. Vid "vanliga" mätuppdrag måste utrustningarna vara sammanbyggda till en smidig enhet.

Om GPS-tekniken skall kunna tillämpas för att ansluta en förrättningsstation till RT90 får arbetet inte upplevas som mer tidsödande och komplicerat än med dagens metoder. Den kvalitetshöjning av anslutningen som GPS kan ge, jämfört med dagens metoder, samt möjligheten att underlätta den fortsatta användningen av data är två starka skäl till att använda GPS. Ett ännu starkare skäl fås om tekniken upplevs som en hjälp vid mätningarna och om den ger rena rationaliseringsvinster i form av tidsvinster med lägre kostnader för hela mätningssatsen.

För att kunna göra sådana vinster vid förrättningsmätningar med GPS-teknik måste givetvis både mer ändamålsenlig mätutrustning och nya metoder utvecklas jämfört med dagens. Målet bör vara att till viss del kunna ersätta nuvarande utrustningar och metoder samt att kunna få själva anslutningen "på köpet" vid förrättningsmätningen.



1992-12-15

Utvecklingen inom GPS-området går mycket fort, både vad gäller hårdvara och beräkningsalgoritmer. Därför är det inte orealistiskt att tänka sig att de konventionella instrumenten eller fältdatorerna kommer att kombineras med GPS-mottagare, eller att GPS-mottagarna helt kommer att ersätta de nuvarande utrustningarna.

Med all säkerhet finns det i en sådan situation även beräkningsprogram som direkt i fält beräknar positionen för GPS-punkterna i RT90. Därmed kan också detaljmätningen beräknas direkt i RT90 i fält, och inpassningen av förrättningen blir beräknad direkt. Det innebär också att numeriska och grafiska kontroller kan göras i fält på vanligt sätt.

### 3.3.2 Utstakning/inmätning av gränser

En tillämpning där GPS-tekniken kan underlätta arbetet i fält är utstakning av gränser. Många förrättningsuppdrag i områden utan stamnät innebär uppsökning av gamla gränser samt bestämning av nya. Gränserna kan ofta vara mycket långsträckta och gå genom skogsterräng.

I sådana fall kan tillfälliga punkter anläggas längs gränsen och mätas in med GPS i RT90. Från dessa punkter kan sedan gränsen stakas ut eller mätas in. Man kan också terrestert mäta in ytterligare punkter från de anlagda GPS-punkterna för att ytterligare underlätta mätarbetet. Då bör man kunna undvika att på konventionellt vis rekognosera, röja, markera och mäta långa tåg längs gränsen. De utlagda GPS-punkternas huvudsakliga syfte är att vara till hjälp vid utstakningen eller inmätningen.

För att undvika ett alltför omfattande markeringsarbete krävs att de tillfälliga punkterna kan beräknas direkt i fält. Man kan då använda kodmätning i realtid i förhållande till en fast referensstation. På det sättet slipper man att, efter beräkning på kontoret, återkomma nästa dag för gränsutstakningen. Därmed slipper man också markera punkterna annat än tillfälligt.

En kombination av GPS-mätningar och digitalisering från förrättningshandlingar, ortofotokartor och ekonomiska kartor är också intressant att testa i dessa fall. Man kan utgå från ett förslag till fastighetsbildning på en karta och/eller i ett ortofoto. På några ställen längs gränsen, t.ex. i ändpunkterna, mäts gränspunkter från förslaget in med GPS så att koordinater på några gränspunkter i den föreslagna gränslinjen finns. Vid digitalisering av den föreslagna gränsen i kartan/ortofotot tvångs-

1992-12-15

passas förslaget på de i fält inmätta gränspunkterna. Hela gränsen blir då koordinatsatt i RT90. Till sist används dessa framräknade koordinater för att staka ut gränsen på konventionellt sätt med vanligt mätinstrument.

### 3.3.3 Uppsökning av punkter

Vid uppsökning av gränspunkter kan man lägga in de sökta punkternas koordinater i en GPS-mottagare. Vid kodmätning i realtid med mottagning av korrektionsdata från en referensstation anger GPS-mottagaren riktning och avstånd till den sökta punkten. Därmed leds operatören till punkten och gränsen.

För att få koordinater på de punkter som skall uppsökas kan man använda ortofotokarta eller ekonomiska kartan, men äldre förrättningshandlingar kan också användas.

1992-12-15

#### 4. FÖRSÖKENS UPPLÄGGNING

Vid de praktiska försöken utnyttjades GPS-tekniken med fasta referensstationer vid fyra stycken landsbygdsförrättningar. Genomförandet gjordes parallellt och tillsammans med Östhammars lantmäteridistrikts, C2, ordinarie förrättningsuppdrag. Vid alla tillfällen deltog också personal från distriktet.

Försöken delades upp i två delar, A och B.

Syftet med del A var att studera hur en mindre förrättning i ett område utan stornät kan anslutas till RT90 med hjälp av GPS och fasta referensstationer.

För att kunna jämföra anslutning med GPS-teknik med grafiskt anslutning från karta har en av förrättningarna också anslutits på detta sätt. Det gjordes med hjälp av digitalisering från ekonomiska kartan.

Del B avsåg att mera allmänt belysa hur GPS-tekniken kan användas för att underlätta en större förrättning, t.ex. genom positionsbestämning i skogsterräng och vid uppsökning av enstaka punkter; även här i områden utan stornät. Uppsökning av punkter kan vara särskilt intressant vid gränsbestämningar.

Del A beskrivs i kapitel 5 ("Anslutning av förrättning till RT90") och del B beskrivs i kapitel 6 ("Stöd av GPS vid gränsarbeten").

1992-12-15

## 5. ANSLUTNING AV FÖRRÄTTNING TILL RT90

GPS-mätningar för anslutning av förrättning till RT90 (del A) gjordes i samband med tre avstyckningar, en i vardera av de tre norduppländska orterna Dannemora, Österbybruk och Gårdskär. Grundtanken var att avstyckningsmätningarna skulle göras med vanliga terrestra metoder (totalstation och fältdator) och att anslutningen till RT90 skulle utföras med GPS-mätningar enligt de principer som skisseras i avsnitt 3.3.1. Ett villkor vid val av försöksområden var att stornät skulle finnas tillgängliga. Därigenom kunde GPS-punkterna mätas in terrestert från punkter i näten till grund för jämförande noggrannhetsuppskattningar.

Vid försöken användes de fasta referensstationerna i Mårtsbo och på Lovö. Avståndet från Mårtsbo är till Dannemora 55 km, till Österbybruk 56 km och till Gårdskär 17 km. Avståndet från Lovö är till Dannemora 96 km, till Österbybruk 97 km och till Gårdskär 142 km.

De fasta referensstationerna är bestyckade med tvåfrekvensmottagare med P-kod både på L1- och L2-frekvenserna. I fält användes två stycken GPS-mottagare på alla tre platserna. Dessa är tvåfrekvensmottagare med P-kod endast på L2-frekvensen. Då GPS-systemet om något/några år blir fullt utbyggt kommer P-koden troligen att bli krypterad och ej tillgänglig för civila användare. För att då kunna använda L2-frekvensen och utföra tvåfrekvensmätningar kan man tillgripa s.k. kvadreringsteknik, vilket ger lite sämre noggrannhet. Andra tekniker för att kunna använda L2-frekvensen utan kännedom om P-koden har under senare tid utvecklats.

På försöksplatserna gjordes samtidig GPS-bestämning av två stycken punkter med sikt emellan. Punkterna valdes så att det fanns sikt dels in i förrättningsområdet och dels mot en känd, avlägset belägen punkt, från den GPS-punkt som var stationspunkt vid den terrestra mätningen.

Orienteringsbestämningarna för de terrestra mätningarna erhöles dels genom mätning mellan de GPS-bestämda punkterna, dels med mätning mot det avlägsna objektet som känd punkt, och till sist med kompassriktning till det avlägsna objektet.

GPS-mätningarna pågick i en och en halv timme. Tiden man behöver mäta beror delvis på hur lång baslinjen är. För att få en uppfattning om hur mättiden påverkar resultatet kan bilaga 1 studeras. Där presenteras hur beräkningen av baslinjen Mårtsbo-Lovö (14 mil) ändras med kortare observationstider.

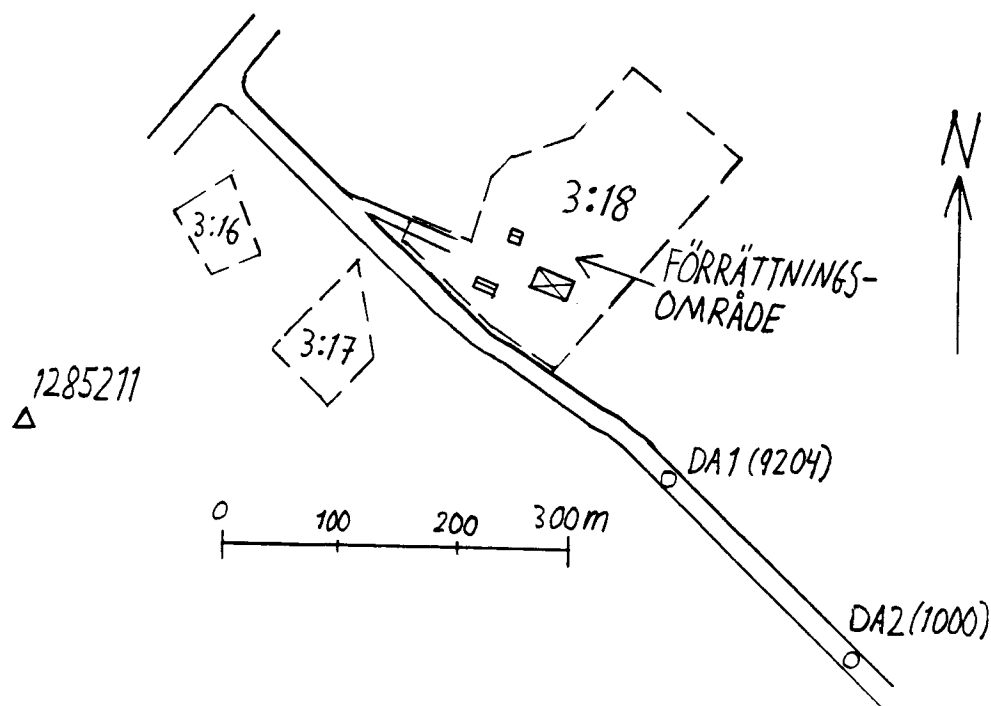
1992-12-15

### 5.1 Anslutning i Dannemora

Förrättningen i Dannemora innebar mätning för avstyckning av en tomt. Tomten var utstakad och förtida registrerad. Stomnät finns i system RTR10 i form av två riksnätspunkter, DAN\*TRI\*128521 och DAN\*TRI\*1285211, och ett antal polygonpunkter.

Området ligger i bruksmiljö och utgörs i huvudsak av äldre bebyggelse i form av bostadshus och magasin med uppvuxna trädgårdar och fullstora barr- och lövträd. Det finns inga lämpliga platser i själva området som är så pass öppna att GPS-mätning lätt kan göras där. Däremot är GPS-mätning fullt möjlig några hundratal meter sydost om förrättningsplatsen, där det finns öppen terräng och en polygonpunkt, DAN\*POL\*9204. Från denna finns sikt in i förrättningsområdet och till riksnätspunkten DAN\*TRI\*1285211.

GPS-mätningarna gjordes på polygonpunkten DAN\*POL\*9204 (hädanefter kallad DA1) och på en nypunkt, DAN\*GPS\*1000 (hädanefter kallad DA2), sydost längs cykelvägen där DA1 ligger, se figur 2. Mätningarna gjordes som bärvägsmätningar relativt de fasta referensstationerna i Mårtsbo och på Lovö. Den nya punkten DA2 mättes också in terrestert.



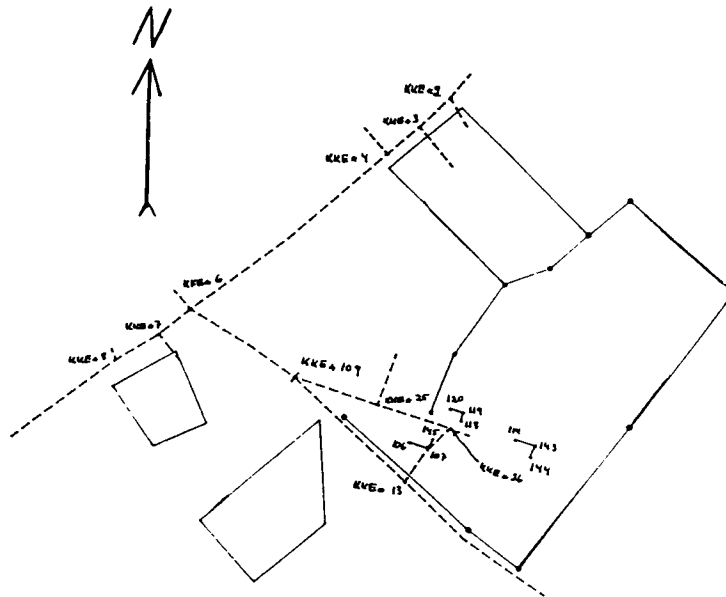
Figur 2: Schematisk bild över förrättningsområdet i Dannemora med riksnätspunkten 1285211, polygonpunkten DA1 (9204) och GPS-punkten DA2 (1000).

1992-12-15

Avståndet mellan DA1 och DAN\*TRI\*1285211 är 534 m och avståndet mellan DA1 och DA2 är 228 m. Från DA1 till förrättningsområdet är det ca 200 m.

För inpassningen används DA1 som stationspunkt. Orienteringarna kan beräknas mot GPS-punkten DA2 och mot DAN\*TRI\*1285211, samt dessutom erhållas med kompassriktning mot den sistnämnda.

Vid denna förrättning gjordes också i efterhand en grafisk anslutning med hjälp av digitalisering från det ekonomiska kartbladet 121 5c Dannemora. Kartan är en ortofotokarta med detaljernas symboler pålagda. Anslutningen gjordes med unitär koordinattransformation på tre punkter som även mättes in terrestert. Figur 3 visar en uppritning av det som digitaliserats.



Figur 3: Uppritning av digitaliseringen av förrättningen i Dannemora.

## 5.2 Anslutning i Österbybruk

Förrättningen i Österbybruk innebar mätning för avstyckning av tre tomter i utkanten av Österbybruks samhälle. Tomterna var utstakade. Stomnät finns i RTR10 i form av polygonpunkter och triangelpunkterna DAN\*TRI\*1285211 och DAN\*TRI\*7801.

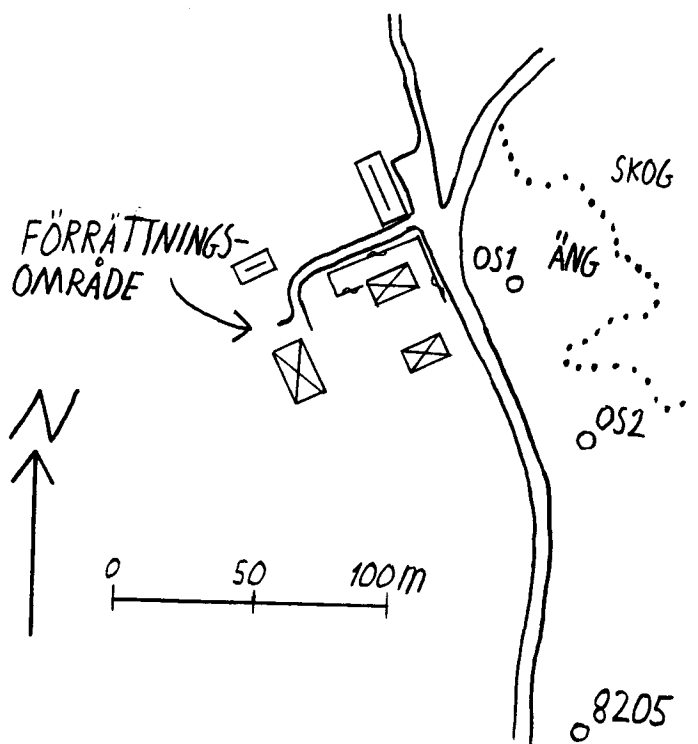
Själva förrättningsområdet utgörs av äldre bostadshus, förrådsbyggnader samt uppvuxna trädgårdar. Det gränsar både till skog, ängsmark och tätare

1992-12-15

bebyggelse. Strax öster om tomterna finns öppen ängsmark där GPS-mätningar kan göras, se figur 4.

På ängen anlades två nya punkter, OS1 och OS2, med GPS. Avståndet mellan punkterna var ung. 60 m. Dessa punkter mättes också in terrestert från den närliggande polygonpunkten 8205. GPS-bestämningarna gjordes med relativ bärvågsmätning.

För inpassningen används OS1 som stationspunkt. Orienteringarna kan beräknas mot OS2 och DAN\*TRI\*7801, samt dessutom erhållas med kompassriktning mot den sistnämnda. Avståndet mellan OS1 och DAN\*TRI\*7801 är drygt 1450 m.



Figur 4: Förrättningsområdet i Österbybruk med GPS-punkterna OS1 och OS2 samt polygonpunkt 8205.

### 5.3 Anslutning i Gårdskär

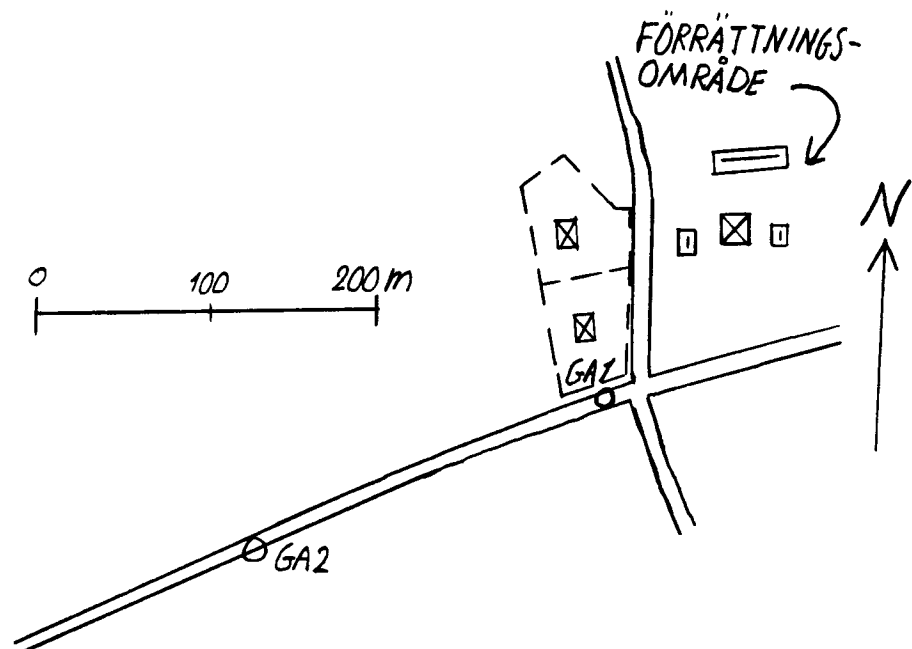
Förrättningen i Gårdskär innebar mätning för avstyckning av en skogsbevuxen fastighet i utkanten av Gårdskärs samhälle. Området var utstakat. Stomnät finns i RT38 2.5 gon V i form av polygonpunkter. En

1992-12-15

GPS-punkt (GA1) avsedd som stationspunkt för den terrestra inmätningen anlades på landsvägen ungefär 50 m från fastighetens gräns. En andra GPS-punkt (GA2) avsedd som bakåtoobjekt anlades 200 m västerut längs landsvägen som här omgavs av åker, se figur 5. GPS-mätningen genomfördes på samma sätt som för de tidigare förrätningarna och GPS-punkterna mättes även in terrestert från närliggande polygonpunkter.

De båda GPS-punkterna (stationspunkten och bakåtoobjektet) mättes även in med relativ kodmätning (C/A-kod) i realtid. Pseudoavståndskorrekktionerna beräknades vid referensstationen i Mårtsbo och överfördes därifrån med telefonmodem och mobiltelefon, något som var helt nytt. Vid tidigare försök har korrekktionerna sänds ut och mottagits i fält med radioutrustning.

Urustningen utgjorde en försöksuppsättning som inte var fältmässig. Under de cirka tio minuter som utrustningen stod uppställd gjordes mätningar med fem sekunders intervall. Således lagrades en ny korrigerad position i GPS-mottagaren var femte sekund. Självklart hade korrigeringen av kodmätningen även kunna utförts med en mätfil från Mårtsbo hemma på kontoret.



Figur 5: Förrättningsområdet i Gårdskär med GPS-punkterna GA1 och GA2.



1992-12-15

## 5.4 Beräkning

### 5.4.1 Bärvågsmätning

Beräkning av bärvågsmätningar måste utföras i ett beräkningsprogram i en PC. I vårt fall tog vi hem GPS-mottagarna efter mätningen och tömde mätfilerna med observationsdata i en PC. Mätfiler med observationsdata från referensstationerna överförs dagligen till LMV-KG via telenätet. För våra beräkningar användes de ca en och en halv timme långa mätfilerna från fält samt motsvarande mätfiler från referensstationerna i Mårtsbo och på Lovö. Beräkningarna utfördes i mottagarfabrikantens (Ashtech) programpaket GPPS.

Beräkning av baslinjerna Mårtsbo-GA1 (17 km) i Gårdskär och DA1-DA2 (230 m) i Dannemora utfördes även med den nya metoden snabb statistisk GPS-mätning. Se kapitel 3.1.2 och bilaga 2.

Beräkningsprogrammet beräknar baslinjerna mellan de punkter där samtidiga GPS-mätningar utförts. Baslinjerna är tredimensionella vektorer uppdelade på X- Y- och Z-komponenter i det tredimensionella geocentriska koordinatsystemet WGS 84.

Koordinater för två nypunkter (stationspunkt och bakåtoobjekt) räknades fram vid varje förrättningsställe. Genom att addera baslinjerna mellan resp. referensstation och nypunkt till referensstationens WGS 84-koordinater (transformerade RT90-koordinater) erhöles koordinater för nypunkten. Nypunkternas framräknade WGS 84-koordinater transformerades sedan till RT90. För detta användes ett av LMV framtaget transformationssamband, som i första hand är avsett för navigation (Hedling, Reit, 1989). Sambandet tar ingen hänsyn till geoiden. Eftersom sambandet är avsett för hela landet ger det, speciellt i höjd, större felaktigheter än vad ett lokalt bättre anpassat samband skulle ge. Transformationsproblematiken är för närvarande under utredning.

Med samtidig GPS-mätning med två GPS-mottagare i fält som i försöken kan självklart den ena nypunkten bestämmas via baslinjen mellan nypunkterna. En baslinje som tack vare sin korta längd blir mycket noggrant bestämd. Genom att beräkna nypunkterna utgående från referensstationerna simulerar vi att de inmättes med samma GPS-mottagare i två efterföljande sessioner. Den inbördes noggrannheten mellan nypunkterna blir dock här lite bättre tack vare samma satellitgeometri under mätningen.

1992-12-15

Om man hade använt sig av en billigare typ av GPS-mottagare, en enfrekvensmottagare, får man med dessa långa avstånd mellan referensstation och nypunkt en viss noggrannhetsförsämring. För att få en uppfattning av hur mycket sämre enfrekvensmätning blir än tvåfrekvensmätning kan bilaga 1 studeras.

Slutningsfelen i de trianglar (Mårtsbo-Lovö-nypunkt) som bildas av samtidigt GPS-mätta baslinjer beräknades och räknades om till en plan- och en höjdkomponent. Observera att ett litet slutningsfel inte behöver betyda att baslinjerna är felfria, då de ju är mätta samtidigt.

#### 5.4.2 Kodmätning

Korrigerade WGS 84-koordinater fanns lagrade i GPS-mottagaren efter den relativa kodmätning (C/A-kod) som genomfördes i Gårdskär. Ett medelvärde av de bestämningar som gjordes beräknades och transformerades till RT90.

#### 5.4.3 Grafisk anslutning

Den jämförande grafiska anslutningen vid förrättningen i Dannemora gjordes som en unitär transformationsberäkning mellan det lokala koordinatsystemet, som i detta fall var RTR10, och RT90. Vid parameterberäkningen användes tre stycken punkter, som var gemensamma för den terrestra mätningen och digitaliseringen från ekonomiska kartan. En svårighet vid digitaliseringen var att detaljernas symboler är pålagda på kartan. Beräkningen av transformationssambanden gjordes i programmet SNOOPY i Prime. Detta program använder samma beräkningsalgoritmer som transformationsprogrammen i AutoKa-PC.

Om den grafiska anslutningen hade gjorts i samband med förrättningen och inte som fallet nu blev i efterhand, hade man vid fältarbetet kunnat välja passpunkter som var lätta att identifiera i ortofotokartan.

### 5.5 Resultat

Hur noggrant en punkt kan positionsbestämmas med GPS med hjälp av referensstationer är självklart av stort intresse. Resultaten avseende handhavande och tidsåtgång är dock saker som också är viktiga.

För att kunna studera noggrannheten i positionsbestämningarna av GPS-punkterna vid förrättningarna

1992-12-15

hörande till del A, mättes dessa in terrestert från närliggande kända punkter. De kända punkterna var bestämda i RTR10, 0 gon (Dannemora och Österbybruk) och RT38 (Gårdskär).

I nedanstående resultat har de GPS-bestämda RT90-koordinaterna transformerats till ovannämnda system och sedan jämförts med de terrestra bestämningarna. Som nämnts är den använda transformationformeln mellan WGS 84 och RT90 främst avsedd för navigations-tillämpningar. Framtagande av en bättre transformationsmetodik är under utredande. Tolkningen av jämförelsen blir försvårad p.g.a. de kända punkternas osäkra kvalitet och ursprung.

Noggrannheten i den grafiska anslutningen på förrättningen i Dannemora redovisas som grundmedelfel, parametrarnas medelfel och uppskattade fel i x och y. De tre gemensamma punkterna var ett hushörn, en vägkorsning och en brytpunkt på en gräns.

#### 5.5.1 Dannemora

En polygonpunkt DA1 och en nypunkt DA2 har GPS-bestämts i Dannemora. DA2 har också mätts in terrestert från DA1.

Koordinatskillnader mellan GPS-bestämningar och terrestra bestämningar framgår av tabell 1 nedan.

	x (m)	y (m)
DA1 (bestämd från Mårtsbo)	-0.324	0.087
DA1 (bestämd från Lovö)	-0.656	0.046
DA2 (bestämd från Mårtsbo)	-0.341	0.153
DA2 (bestämd från Lovö)	-0.648	0.070

Tabell 1.

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-DA1:

Plan: 0.000 m  
Höjd: 0.002 m

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-DA2:

Plan: 0.062 m  
Höjd: 0.032 m

1992-12-15

En jämförelse mellan avståndet Lovö-Mårtsbo beräknat ur RT90-koordinater och hämtat ur GPS-mätningar ger en skillnad på drygt 30 cm. Vi har alltså en skalskillnad mellan RT90 och GPS-beräkningen. Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-DA1 är obefintligt. Genom att skala om baslinjerna Mårtsbo-DA1 och Lovö-DA1 med ovan nämnda skalskillnad mellan RT90 och GPS får tabell 1 avseende punkt DA1 följande utseende:

	x (m)	y (m)
DA1 (bestämd från Mårtsbo)	-0.411	0.155
DA1 (bestämd från Lovö)	-0.429	0.052

För tolkning av resultaten se kapitel 7.2.

Tabellerna 2.1, 2.2 och 2.3 visar hur riktnings- skillnaderna  $\Delta\phi$  mellan DA1 och DA2 påverkar punktbestämningarna i förrättningsområdet 200 m längre bort, när punkterna är GPS-bestämda resp. när de är terrestert bestämda, jämför med figur 2 i avsnitt 5.1.

I tabellerna 2.1-2.3 utgör alltså polygonpunkten DA1 och den terrestert bestämda nypunkten DA2 "facit". Dessa betecknas då med typen TER. När en av punkterna eller båda punkterna är GPS-bestämda relativt den fasta referensstationen i Mårtsbo betecknas de med typen GPS. Avståndet mellan DA1 och DA2 är 228 m.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	$\Delta\phi$ (gon)	<u>Påverkan (m)</u>
DA1 (TER)	DA2 (TER)		
-----		0.0279	0.09
DA1 (TER)	DA2 (GPS)		

Tabell 2.1.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	$\Delta\phi$ (gon)	<u>Påverkan (m)</u>
DA1 (TER)	DA2 (TER)		
-----		0.0538	0.16
DA1 (GPS)	DA2 (TER)		

Tabell 2.2.

1992-12-15

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	$\Delta\phi$ (gon)	<u>Påverkan (m)</u>
DA1 (TER)	DA2 (TER)		
-----	-----	0.0087	0.03
DA1 (GPS)	DA2 (GPS)		

Tabell 2.3.

Tabellerna 2.1 - 2.3 visar att påverkan på förrättningsmätningen är mycket liten, som mest 0.16 m.

På gruvlavens topp, drygt 530 m bort, finns triangelpunkten DAN\*TRI\*1285211, jämför med figur 2 i avsnitt 5.1. Orienterad riktning mellan DAN\*TRI\*1285211 och stationspunkten DA1 är 304.3 gon. Mätt kompassriktning blev 300 gon. Kompassens missvisning är enligt topografiska kartan 2 grader ostlig, vilket innebär att kompassriktningen skall vara 302 gon. Skillnaden mellan orienterad riktning och kompassriktning blir 2.3 gon. Punktbestämningarna i förrättningsområdet 200 m bort påverkas då med ung. 7.2 m. Man skall också ta hänsyn till meridiankonvergensens (geografiska norrs avvikelser från koordinatsystemets x-axel). Eftersom området ligger i anslutning till projektionens medelmeridian (0 gon) blir den dock försumbar här.

Resultatet från den grafiska anslutningsberäkningen gjord med unitär koordinattransformering med tre gemensamma punkter framgår av tabell 3. Eftersom det blev 3 överbestämningar kunde felsökning göras. Resultatet beskriver den inbördes överensstämmelsen mellan de digitaliserade punkterna. Det absoluta inpassningsfelet i RT90 är uppskattningsvis 3 - 5 m per punkt.

So är grundmedelfel per koordinat, S(xTo) och S(yTo) är medelfel i translationerna och S(vrid) är medelfel i vridning. ufelx och ufely är största uppskattade fel i x resp. y.

$\frac{So}{0.63}$ (m)	$\frac{S(xTo)}{0.36}$ (m)	$\frac{S(yTo)}{0.36}$ (m)	$\frac{S(Vrid)}{0.2397}$ (gon)
$\frac{ufelx}{-0.77}$ (m)		$\frac{ufely}{1.31}$ (m)	

Tabell 3.

1992-12-15

5.5.2 Österbybruk

I Österbybruk har två nypunkter OS1 och OS2 GPS-bestämts samt mätts in terrestert från en närliggande polygonpunkt.

Koordinatskillnader mellan GPS-bestämningar och terrestra bestämningar framgår av tabell 4.

	<u>x</u> (m)	<u>y</u> (m)
OS1 (bestämd från Mårtsbo)	-0.304	0.071
OS1 (bestämd från Lovö)	-0.656	0.060
OS2 (bestämd från Mårtsbo)	-0.329	0.084
OS2 (bestämd från Lovö)	-0.663	0.088

Tabell 4.

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-OS1:

Plan: 0.082 m  
Höjd: 0.015 m

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-OS2:

Plan: 0.084 m  
Höjd: 0.030 m

I tabellerna 5.1, 5.2 och 5.3 visas skillnaderna i orienterad riktning mellan OS1 och OS2 när de är GPS-bestämda resp. när de är terrestert bestämda, samt hur dessa skillnader ( $\Delta\phi$ ) påverka punktbestämningarna i förrättningsområdet 75 m längre bort. Jämför med figur 4 i avsnitt 5.2.

GPS-bestämningarna är gjorda relativt Mårtsbo. De terrestert bestämda punkterna OS1 och OS2 utgör "facit" och betecknas med typen TER. När en av dessa eller båda punkterna är GPS-bestämda betecknas de med typen GPS. Avståndet mellan OS1 och OS2 är 60 m.

<u>Från</u> (typ)	<u>Till</u> (typ)	<u><math>\Delta\phi</math></u> (gon)	<u>Påverkan</u> (m)
OS1 (TER)	OS2 (TER)		
-----			
OS1 (TER)	OS2 (GPS)	0.0024	0.003

Tabell 5.1.

1992-12-15

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
OS1 (TER)	OS2 (TER)		
-----	-----		
OS1 (GPS)	OS2 (TER)	0.0092	0.011

Tabell 5.2.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
OS1 (TER)	OS2 (TER)		
-----	-----		
OS1 (GPS)	OS2 (GPS)	0.0067	0.008

Tabell 5.3.

Tabellerna 5.1 - 5.3 visar att påverkan på förrättningsmätningarna är försumbara, som mest 0.011 m.

På vattentornet ca 1450 m bort finns triangelpunkten DAN\*TRI\*7801. Orienterad riktning mellan OS1 och DAN\*TRI\*7801 är 224.0 gon, jämför med figur 4 i avsnitt 5.2. Mätt kompassriktning blev 221 gon. Kompassens missvisning är 2 grader ostlig, vilket medför att kompassriktningen skall vara 223 gon. Skillnaden mellan orienterad riktning och kompassriktning blir 1.0 gon. Punktbestämningarna i förrättningsområdet 75 m bort påverkas då med ca 1.6 m. Meridiankonvergensens är försumbar.

### 5.5.3 Gårdskär

I Gårdskär GPS-bestämdes två nypunkter (GA1 och GA2) med bärvågsmätning relativt de fasta referensstationerna i Mårtsbo och på Lovö samt även med kodmätning (C/A-kod). Vid kodmätningen togs korrekitioner emot från Mårtsbo i realtid. Punkterna GA1 och GA2 har också bestämts terrestert från närliggande polygonpunkter.

#### 5.5.3.1 Bärvågsmätning

Tabell 6 visar koordinatskillnader mellan GPS-bestämningar ur bärvågsmätningar och terrestra bestämningar.

1992-12-15

	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)
GA1 (bestämd från Mårtsbo)	0.037	0.149
GA1 (bestämd från Lovö)	0.357	0.479
GA2 (bestämd från Mårtsbo)	0.074	0.123
GA2 (bestämd från Lovö)	0.320	0.523

Tabell 6.

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-GA1:

Plan: 0.061 m  
Höjd: 0.049 m

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-GA2:

Plan: 0.163 m  
Höjd: 0.048 m

Tabellerna 7.1, 7.2 och 7.3 visar hur skillnaderna i orienterad riktning ( $\Delta\phi$ ) mellan GA1 och GA2 påverkar punktbestämningarna i förrättningsområdet 100 m längre bort, när punkterna är GPS-bestämda ur bärvågsmätningar resp. när de är terrestert bestämda. Jämför med figur 5, avsnitt 5.3.

GPS-bestämningarna är gjorda relativt Mårtsbo. De terrestert bestämda punkterna GA1 och GA2 utgör "facit" och betecknas med typen TER. När en av dessa eller båda är GPS-bestämda betecknas de med typen GPS. Avståndet mellan GA1 och GA2 är 223 m.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
GA1 (TER)	GA2 (TER)	0.0026	0.004
GA1 (TER)	GA2 (GPS)		

Tabell 7.1.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
GA1 (TER)	GA2 (TER)	0.0103	0.016
GA1 (GPS)	GA2 (TER)		

Tabell 7.2.



1992-12-15

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	$\Delta\phi$ (gon)	<u>Påverkan (m)</u>
GA1 (TER)	GA2 (TER)		
-----	-----	0.0128	0.020
GA1 (GPS)	GA2 (GPS)		

Tabell 7.3.

Tabellerna 7.1 - 7.3 visar att förrättningsmätningen påverkas mycket lite, som mest 0.020 m.

### 5.5.3.2 Kodmätning

Tabell 8.1 och 8.2 visar resultaten i WGS 84 av positionsbestämningarna av GPS-punkterna GA1 och GA2 med kodmätning (C/A-kod). I tabell 8.1 visas medelvärdet av 79 st. 5-sekundersepoker med PDOP=4 för punkt GA1. I tabell 8.2 visas medelvärdet av 116 st. 5-sekundersepoker med PDOP=4 för punkt GA2. PDOP-värdet beräknas i GPS-mottagaren och anger det geometriska bidraget till osäkerheten i positionsbestämningen. Värdet bör vara lågt, under 10 är godtagbart. I tabellerna anger s standardavvikelsen.

(m)	<u>s</u>	<u>min</u>	<u>max</u>
X: 2992003.23	2.76	2991996.47	2992008.00
Y: 947123.98	0.90	947121.80	947125.46
Z: 5534037.13	4.04	5534028.09	5534043.62

Tabell 8.1.

(m)	<u>s</u>	<u>min</u>	<u>max</u>
X: 2992147.37	1.68	2992140.81	2992150.84
Y: 946959.31	0.71	946957.49	946960.86
Z: 5533989.73	3.64	5533979.95	5533998.89

Tabell 8.2.

Då resultaten av kodmätningarna transformerades på samma sätt som för bärvågsmätningarna blev skillnaderna mot den terrestra inmätningen enligt tabell 9.

1992-12-15

	<u>x</u> (m)	<u>y</u> (m)
GA1:	2.241	0.000
GA2:	0.111	0.080

Tabell 9.

Tabellerna 10.1, 10.2 och 10.3 visar hur riktningsskillnaderna ( $\Delta\phi$ ) mellan GA1 och GA2 påverkar punktbestämningarna i förrättningsområdet 100 m längre bort, när punkterna är GPS-bestämda ur C/A-kodmätningar resp. när de är terrestert bestämda. Jämför med figur 5, avsnitt 5.3.

GPS-bestämningarna är gjorda relativt Mårtsbo. De terrestert bestämda punkterna GA1 och GA2 utgör "facit" och betecknas med typen TER. När en av dessa eller båda är GPS-bestämda betecknas de med typen GPS. Avståndet mellan GA1 och GA2 är 223 m.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
GA1 (TER)	GA2 (TER)		
-----			
GA1 (TER)	GA2 (GPS)	0.0176	0.028

Tabell 10.1.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
GA1 (TER)	GA2 (TER)		
-----			
GA1 (GPS)	GA2 (TER)	0.5649	0.890

Tabell 10.2.

<u>Från (typ)</u>	<u>Till (typ)</u>	<u><math>\Delta\phi</math> (gon)</u>	<u>Påverkan (m)</u>
GA1 (TER)	GA2 (TER)		
-----			
GA1 (GPS)	GA2 (GPS)	0.5477	0.860

Tabell 10.3.

Tabellerna 10.1 - 10.3 visar att påverkan på förrättningsmätningarna som mest är 0.89 m.

1992-12-15

## 6. STÖD AV GPS VID GRÄNSARBETEN

Undersökningar av hur GPS-tekniken kan användas som stöd vid gränsarbeten gjordes i samband med en fastighetsreglering inom Båtfors naturreservat vid Dalälven i Norduppland. Där skulle en gräns, som skiljer olika biotoper mätas in. Gränsen, som är drygt 3.5 km lång och innehåller ett trettiotal markerade brytpunkter, går i huvudsak genom skogsterräng. På vissa ställen sammanfaller den nya gränsen med befintliga gränser. Flera fastigheter berörs av regleringen. I området finns inte tillgång till något stornät. Gränslinjen är inte röjd.

Här testades positionsbestämning med GPS i skogsterräng samt uppsökning av givna positioner, som lagts in i GPS-mottagaren i förväg. Även kombinationer av grafiska tolkningar från förrättningskartor och ortofoto och GPS-bestämningar testades. I det sistnämnda fallet tolkades punkter i närheten av gränsen grafiskt i äldre förrättningshandlingar för att kunna sättas ut från GPS-bestämda punkter.

Innan försöken genomfördes i Båtfors hade personal från C2 tillsammans med experter från Naturvårdsverket tolkat den nya gränsen med hjälp av flygbilder och direkt på plats i Båtfors. Gränsen hade därefter markerats.

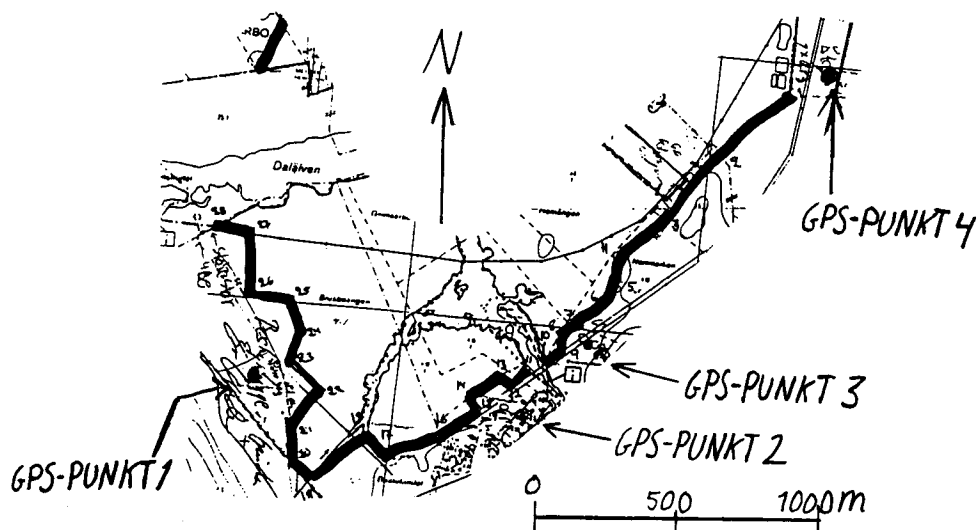
(Anm: Om arbetet skulle ha genomförts idag hade koordinater från tolkningen kunnat användas för att med GPS-mätning överföra den tolkade gränsen till marken. GPS hade använts för utstakning i stället för till inmätning.)

### 6.1 Inmätning

Fyra stycken GPS-punkter lades ut längs gränsen; två mitt på, en i gränsens nordöstra ände och en ung. 800 m längs gränsen från dess västra ändpunkt, se figur 6. Punkterna måste givetvis läggas där sikt till satelliterna kunde erhållas. Detta innebar att den första punkten anlades på ett kalhygge, den andra och den fjärde på åkrar och den tredje i en kraftledningsgata. GPS-mätningarna gjordes som bärvågsmätningar under ca en och en halv timme.

Längs gränsen hade C2 markerat punkter i ett polygontåg som mättes i ett lokalt koordinatsystem. Den nya gränsen mättes in från punkterna i polygontåget. GPS-punkterna användes för anslutning och uppriktning av tåget, samt för att kunna transformera hela gränsen, och därmed förrättningen, till RT90.

1992-12-15



Figur 6: Gränsens sträckning och GPS-punkternas lägen.

## 6.2 Utstakning

För att testa olika möjligheter att sätta ut punkter (t.ex. gränspunkter) kombinerades grafisk tolkning med GPS-mätningar. Det gick till så att detaljer i närheten av gränsen digitaliserades i ett ortofoto så att dessa punkter fick koordinater i RT90. Detaljerna var hushörn och stora stenar på åkern i närheten av GPS-punkt 2.

För att undersöka överensstämmelsen mellan GPS-bestämningarna och den grafiska tolkningen stakades några av de digitaliserade punkterna ut terrestert från GPS-punkterna 2 och 3. De utstakade punkterna mättes sedan också in terrestert.

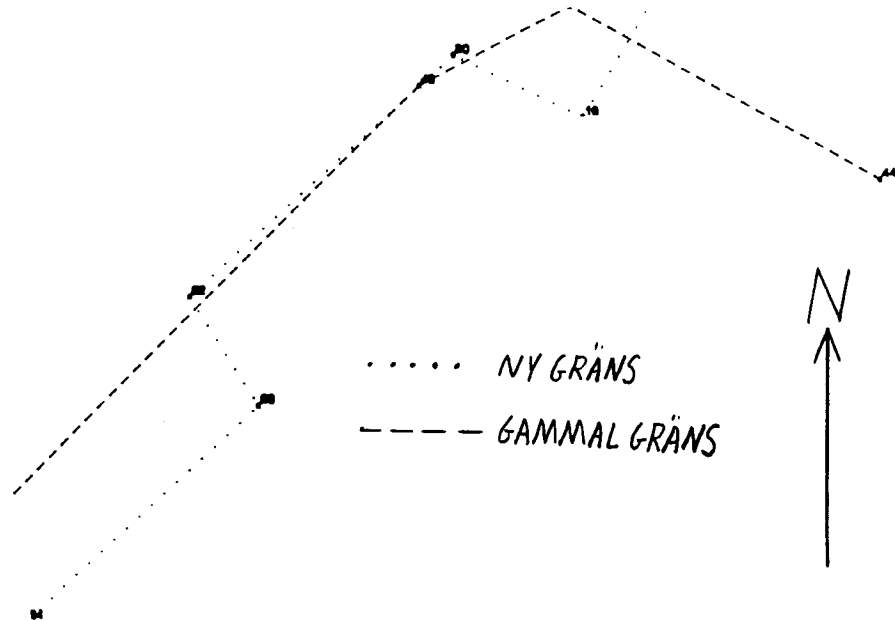
## 6.3 Uppsökning

Uppsökning av förutbestämda positioner med hjälp av GPS-mottagaren testades också.

En del av den nya gränsen sammanföll med en äldre, befintlig gräns. Den befintliga gränsen tolkades från en förrättningskarta från 1924 i skala 1:4000. De tolkade punkterna matchades mot samma punkter i ortofotot och kunde på så sätt passas in i RT90 med koordinattransformering. Därmed gick det att rita upp tolkningen av den nya och den gamla gränsen på

1992-12-15

samma ritning. På så sätt gick det att se var gränserna sammanföll, se figur 7.



Figur 7: En del av den nya gränsen sammanfaller med en äldre gräns.

Koordinaterna för några av dessa punkter transformerades till WGS 84 och lades in i en GPS-mottagare. Med kodmätning kan man söka upp de inlagda positionerna i realtid. GPS-mottagaren anger riktning och avstånd till den sökta punkten. När avståndet går mot 0 (noll) och man går i rätt riktning närmar man sig rätt position.

För att få acceptabel noggrannhet måste mätningen utföras som differentiell GPS-mätning med mottagning av korrektioner i realtid. Korrektionerna ämnades tas emot via mobiltelefon från referensstationen i Mårtsbo. Tyvärr var mottagningsförhållandena så dåliga att detta inte fungerade. Överföringen av korrektioner från Mårtsbo avbröts hela tiden. I försöket fick vi nöja oss med den låga noggrannhet som absolut mätning ger. En starkt bidragande orsak till de dåliga mottagningsförhållandena torde ha varit en intilliggande kraftledning.

#### 6.4 Beräkning

Beräkningarna av bärvågsmätningarna gjordes för en av de fyra GPS-punkterna (GPS-punkt 3) på i princip

1992-12-15

samma sätt som beskrivits i avsnitt 5.4.1. Här användes mätfilen från fält och en mätfil från referensstationen i Mårtsbo. GPS-punkt 3 bestämdes således med baslinjen från Mårtsbo. Då vi hade tillgång till flera GPS-mottagare i fält kunde de övriga GPS-punkterna bestämmas via baslinjer mellan alla fyra punkterna. En hög inre noggrannhet mellan dessa erhöles på detta sätt. Man kan se det som att punkterna bestämdes på ett sätt som liknar stom-mätning, men där endast en känd punkt användes. Med de avstånd som är mellan dessa fyra punkter hade mätningarna mellan dem mycket väl kunna utförts med metoden snabb statistisk mätning, jämför bilaga 2.

Beräkningarna gjordes i GPPS-programmet, som räknar baslinjerna i WGS 84. Därefter transformerades GPS-punkternas WGS 84-koordinater till RT90 (jämför avsnitt 5.4.1).

#### 6.4.1 Inmätning

Polygontåget, som mättes terrestert längs gränsen och anslöts till de fyra GPS-punkterna, räknades i ett lokalt koordinatsystem. Därefter transformerades koordinaterna i det lokala koordinatsystemet till RT90 genom att använda de fyra GPS-punkterna, som var bestämda i båda koordinatsystemen, som gemensamma passpunkter. Koordinattransformation enligt Helmert användes, vilket innebar att gränspunkterna passades in i RT90 även med hänsyn tagen till skalskillnaden mellan det lokala koordinatsystemet och RT90. Denna beräkning gjordes i AutoKa-PC.

#### 6.4.2 Utstakning

Polära utstakningsdata för de grafiskt tolkade punkterna beräknades i fältdatorn varefter de stakades ut och kontrollinmättes från GPS-punkt 2.

#### 6.4.3 Uppsökning

GPS-mottagaren gav riktning och avstånd till den i GPS-mottagaren lagrade punkten ("waypoint"). Som nämnts ovan gick det inte att få korrektionerna från referensstationen i Mårtsbo under mätningens gång.

### 6.5 Resultat

Det största intresset vid försöket med gränsen var uppsökningsdelen, alltså att med hjälp av enbart GPS-mottagaren och korrektioner från en referensstation kunna leta punkter på marken.

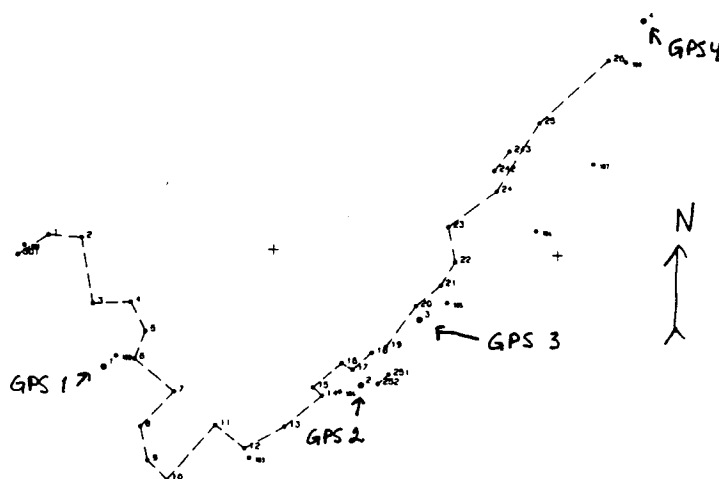
1992-12-15

Den största nyttan av GPS vid gränsarbetet var hjälpen man fick med anslutning och uppstagning av polygontåget.

Kombinationen grafisk tolkning direkt i RT90 och att lägga ut punkter med GPS i samma koordinatsystem och därefter sätta ut punkterna på marken är troligen den tillämpning som ger störst tidsvinst, framför allt vid arbeten med långsträckta gränser.

### 6.5.1 Inmätning

Vid redovisningen av gränsen (och förrättningen) i RT90 gjordes Helmerttransformationsberäkningen i AutoKa-PC, se figur 8. För att få fram fler uppgifter om resultatet har samma beräkning också gjorts i programmet SNOOPY i Prime. Som även nämns i avsnitt 5.4.3 använder SNOOPY och AutoKa-PC samma beräkningsalgoritmer för transformationsparameterberäkningarna.



Figur 8: Gränsen inmätt och transformerad till RT90 med hjälp av de fyra GPS-punkterna.

Resultatet av Helmerttransformationen, där gränspunkterna passades in i RT90 redovisas i tabell 11.  $S(x_{To})$  och  $S(y_{To})$  är medelfel i translationerna och  $S(Vrid)$  är medelfel i vridningen.  $ufel_x$  resp.  $ufel_y$  är största uppskattade fel i  $x$  resp.  $y$ . Skala är skalskillnaden mellan det lokala systemet och RT90.

1992-12-15

$\frac{So}{0.109}$ (m)	$\frac{S(xTo)}{0.054}$ (m)	$\frac{S(yTo)}{0.054}$ (m)	$\frac{S(Vrid)}{0.0041}$ (gon)
$\frac{ufelx}{-0.336}$ (m)		$\frac{ufely}{0.413}$ (m)	$\frac{skala}{-2.7}$ (ppm)

Tabell 11.

6.5.2 Utstakning

De detaljer i närheten av gränsens sträckning som tolkades med digitalisering i ortofotobilden var stenar, hushörn och kraftledningsstolpar.

Efter inmätning och beräkning av de utstakade punkterna beräknades koordinatdifferenser mellan dessa och de i ortofotot digitaliserade punkterna. Tabell 12 redovisar dessa resultat som  $\Delta x$  och  $\Delta y$ , samt radiellt och vilken typ av punkt det är.

<u>Punktnr</u>	<u><math>\Delta x</math></u> (m)	<u><math>\Delta y</math></u> (m)	<u>radiellt</u> (m)	<u>typ</u>
11	0.738	-0.273	0.787	sten
12	-1.231	1.971	2.324	sten
13	-1.320	0.467	1.400	sten
14	5.773	-2.317	6.221	hushörn
15	4.152	0.829	4.234	hushörn
16	1.254	-1.066	1.646	hushörn
17	-1.923	-2.634	3.261	hushörn
18	0.720	1.511	1.674	hushörn
19	-2.164	2.595	3.379	sten
20	7.945	11.454	13.940	stolpe
21	-2.003	-1.355	2.418	stolpe
-----				
22	-4.877	-2.186	5.345	gräns
23	-0.370	4.541	4.556	gräns

Tabell 12.

Förutom att digitalisera rätt punkt kan det också vara svårt att tolka vilken typ av punkt det är. Således tolkades t.ex. punkt nummer 19, en sten som ligger i ett stenröse, som ett hushörn. De relativt stora differenserna för punkt nummer 20 beror antagligen på att det var stolpens skugga och inte stolpen som digitaliserades.



1992-12-15

Punkterna 22 och 23 är brytpunkter i den nya gränsen. Här har alltså en liten del av biotopgränsen tolkats i ortofotot och jämförts med samma del av gränsen som tolkats på marken.

### 6.5.3 Uppsökning

På grund av att mottagningen av korrektioner utsända från Mårtsbo inte fungerade med mobiltelefonen kunde vi vid detta försök endast konstatera att när avståndet i mottagarens display gick ner mot 20 m svängde riktningen 200 gon. Om det hade fungerat att ta emot korrektioner borde vi ha kommit några meter ifrån den sökta punkten.

1992-12-15

## 7.       UTVÄRDERING

### 7.1      Allmänt

Att göra en positionsbestämning av en punkt via bärvågs- eller kodmätning från en referensstation är mätningstekniskt enkelt. Fältmässig utrustning finns, men GPS-mottagare för bärvågsmätning är i dagsläget dyra. En tvåfrekvensmottagare kostar ungefär 150000 - 200000 kr.

Kodmätning är en enklare punktbestämningsmetod än bärvågsmätning. Kan den lägre noggrannhetsnivån, som erhålls vid kodmätning, accepteras så finns det idag mottagare som är avsevärt billigare än de mottagare som användes i försöken. En mottagare som kan ta emot korrektioner i realtid kostar uppåt 50000 kr. Med all säkerhet kommer det inom en snar framtid att finnas ännu fler sådana mottagare, vilket bör kunna leda till lägre priser än i dagsläget. För att med hjälp av radio, eller som i försöken med mobiltelefon, erhålla resultat i realtid med hjälp av utsända korrektioner finns idag ingen fältmässig utrustning.

Beräkning av GPS-mätningar kräver kunskap om det beräkningsprogram som behövs samt om den nedan diskuterade transformationsproblematiken. Hur dessa beräkningar bäst skall kunna göras i så nära samband med mätningen som möjligt, är organisatoriskt en viktig fråga att utreda för att uppnå kostnads-effektivitet.

Resultaten från våra försök visar att bärvågsmätning relativt fasta referensstationer håller en noggrannhetsnivå på 2 - 3 dm. Det har vi fått bekräftat genom jämförelser mellan GPS-mätningarna och terrestra mätningar samt genom jämförelser av mätningar från olika referensstationer.

Noggrannhetsnivån uppfyller gott och väl de krav som ställs vid anslutning av landsbygdsförrättningar till överordnat koordinatsystem. Man måste dock komma ihåg att noggrannheten i positionsbestämningen inte håller stomnätsnivå. Om markerade punkter lämnas bör dess kvalitet och ursprung dokumenteras.

### 7.2      Anslutning av förrättning till RT90

Låt oss börja analysen av resultaten i kap. 5.5 med att titta på slutningsfelen i trianglarna bildade av samtidigt GPS-mätningar mellan Märtsbo, Lovö och respektive nypunkt vid förrättningsområdena. Dessa påvisar möjligheten att med hög precision bestämma en nypunkt med GPS. Ändå blir koordinatskillnaderna

1992-12-15

mellan punkterna när de är GPS-bestämda och transformerade till rikets nät i plan resp. terrestert bestämda från närliggande polygonpunkter flera decimeter. Varför?

Till och börja med kan vi konstatera en ansevärd skillnad om nypunkten bestäms från Mårtsbo eller Lovö. I kapitel 5.5.1 konstateras att avståndet Lovö-Mårtsbo beräknat ur RT90-koordinater och hämtat ur GPS-mätningar skiljer drygt 30 cm (ung. 2.1 ppm). Sägås kan också att de värden som i försöken räknats fram på baslinjen Mårtsbo-Lovö endast avviker med några få centimeter mot medelvärdet i bilaga 1. Vi har alltså en skalskillnad mellan GPS-beräkningen och RT90, som dock inte är konstant. Dessutom verkar det finnas regionala motsägelser i RT90. Dessa framträder när punkter långt ifrån varandra utnyttjas.

Slutningsfelet i den samtidigt GPS-mätta triangeln Mårtsbo-Lovö-DA1 (Dannemora) är obefintligt. Omskalning av baslinjerna Mårtsbo-DA1 och Lovö-DA1 med ovannämnda skalskillnad mellan RT90 och GPS borde ge entydiga koordinater på punkten DA1. Tabell 1 i kap. 5.5.1 får då följande utseende (koordinat-skillnader mellan GPS-bestämningar och terrestra bestämningar):

	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)
DA1 (bestämd från Mårtsbo)	-0.411	0.155
DA1 (bestämd från Lovö)	-0.429	0.052

Vi får fortfarande inte helt entydiga resultat mellan GPS-bestämningarna från Mårtsbo respektive Lovö. Detta beror på spänningar införda vid transformationen av RT90-koordinaterna på Mårtsbo och Lovö till WGS 84 med den använda transformationsformeln (Hedling, Reit, 1989). Vidare har vi en okontrollerad vridning av GPS-mätningarna, som kan inverka en del på dessa avstånd.

Dessa problem är något som inte påverkar normal stommätning med GPS. Baslinjerna är då mycket kortare och dessutom görs där en lokal Helmert-inpassning på de kända punkterna.

Transformationsproblematiken och ett eventuellt framtagande av en ny transformationsmetodik samt hur mätning mot flera referensstationer bäst beräknas är viktiga frågor att utreda.

Det skall också påpekas att de terrestra mätningar som resultaten i kapitel 5.5 jämförs med, utgår från polygonpunkter med osäker kvalitet. Punkterna ligger ursprungligen inte i RT90, utan har transformerats dit.

1992-12-15

Tvåfrekvensmätningar, som resultatet baseras på, medger till skillnad mot enfrekvensmätningar en kraftig reducering av jonosfärens negativa inverkan. Skillnaden blir påtaglig på baslinjer längre än ett par mil. För en anslutningsmätning där man vid förrättningen använder sig av en GPS-mottagare som bara kan mäta på en frekvens, L1-frekvensen, får man räkna med en försämring jämfört med tvåfrekvensmätning i storleksordningen någon/några decimeter. Konstateras kan att man inte erhåller stomnätskvalitet på punkterna varken med en- eller tvåfrekvensmätning. Det är viktigt att dokumentera tillkomst och kvalitet på ett tydligt sätt när punkterna markeras.

I försöket påvisades flera sätt att erhålla orienteringen av mätningen. Olika metoder testades, främst med känt resp. GPS-nybestämt bakåttobjekt. Att GPS-bestämma ett bakåttobjekt behöver inte betyda något större merarbete. Fel i orienteringen påverkar inte den inre noggrannheten i förrättningsmätningen, utan uppträder som en vridning av den. När kompassriktning används kan vridningen bli så stor att den metoden inte kan rekommenderas.

En jämförelse mellan anslutning med GPS och med digitalisering från ortofotokarta visar att den sistnämnda metoden också är användbar, speciellt när det finns bra kart- och bildmaterial att utgå ifrån. Att bestämma tidsåtgången då digitalisering idag använts är svårt, då den verkar variera mycket från fall till fall.

Om noggrannhetsförbättringen som GPS-anslutning med bärvågsmätning kan ge inte är eftersträvad, så har metoden idag svårt att ekonomiskt vara ett alternativ till anslutning med digitalisering. Fältmässigt är GPS-utrustningen lätthanterlig. Vad som krävs är utveckling av effektiva metoder för datahantering och beräkning. Med kodmätning blir datahantering och beräkning delvis enklare, men som bäst får man nöja sig med meternoggrannhet. För att bestämma den optimala GPS-anslutningsmetoden krävs insikter från flera olika håll.

Den här typen av mätning avseende positionsbestämning av enstaka punkter har möjlighet att användas vid många andra tillämpningar utanför förrättningsmätning. Nämnas kan positionsbestämning av vägar, byggnader, provytor, virkesupplag, skogsbestånd samt platser där geotekniska undersökningar eller andra liknande mätningar skall göras eller har gjorts.

1992-12-15

### 7.3 Gränsarbeten

Vid inmätning och utstakning för gränsbestämningar av den typ som gjordes i Båtfors, med långsträckta gränser i skogsterräng, visade vårt försök att GPS många gånger är till stor hjälp. När det inte finns tillgång till kända utgångspunkter behöver man inte anlägga nya sådana genom att mäta polygontåg fram till gränsen och kanske också längs gränsen.

Erfarenheter från andra håll, bl.a. från Piteå lantmäteridistrikt, visar också att GPS-tekniken i vissa fall är i det närmaste ovärderlig i dessa sammanhang. Vid utstakning av en 2 - 3 km lång gränslinje skiljde sig läget i den bortre ändpunkten mindre än 5 cm från det i förväg markerade läget. Detta utan att man hade lagt ut stomnät mellan ändpunkterna eller att någon provstakning tidigare hade gjorts.

Att använda GPS-tekniken för att få utgångspunkter vid gränsarbeten i skogsterräng bör alltså vara mer rationellt än att anlägga dessa punkter terrestert på vanligt sätt. Arbetsmetoden bör också med fördel kunna användas t.ex. för att staka nya vägsträckningar, kraftledningsgator etc.

#### 7.3.1 Inmätning

Personalen från C2 tyckte att största nyttan med GPS var att kunna lägga ut punkter för att på ett relativt enkelt sätt ansluta och staga upp polygontåget som gränsen mättes in från. Med den uppläggning av arbetet som C2 valt för inmätning av gränsen var dessutom GPS-punkterna de enda utgångspunkter som fanns. På köpet kunde också gränsen redovisas direkt i RT90.

Eftersom syftet enbart var att lägesbestämma gränsen mellan olika biotoper, så eftersträvades inte någon högre noggrannhet vid mätningen av polygontåget. Däremot erhöles en hög inre noggrannhet mellan de fyra GPS-punkterna. Vid Helmerttransformationen passades de terrestert bestämda polygonpunkterna på GPS-punkterna. Därmed fick man ett relativt bra resultat av gränsredovisningen i RT90. För att få ett ännu bättre resultat borde man ha lagt ut fler GPS-punkter; åtminstone en längst i väster och en vid gränsens sydligaste del. Det hade dock inneburit väsentligt mer arbete med GPS-mätningarna; eventuellt hade man fått röja eller använda master på grund av skogen.

1992-12-15

### 7.3.2 Utstakning

Resultaten från utstakningsdelen, där grafiskt tolkade punkter sattes ut från GPS-bestämda punkter, visar att denna metod är värd att utveckla mera. Redan idag finns den utrustning som behövs för att arbeta på detta sätt; nämligen GPS-mottagare, digitaliseringsutrustning och ortofoton/ekonomiska kartor. Som nämns i avsnitt 7.1 så saknas dock i dagsläget beräkningskompetens för GPS-delen.

GPS-delen vid utstakning syftar till samma sak som vid inmätning, dvs. att få punkter att utgå ifrån för det fortsatta mätarbetet. Tolkningen av punkter från olika kartmaterial bör också kombineras med tolkning på platsen. Förrättningskartor som innehåller gränsers längder kan t.ex. användas för att, även direkt på plats, hitta passpunkter som används när olika kartor ska passas på varandra.

Här inverkar naturligtvis också problemen med att tolka rätt punkter. Om tolkning också hade gjorts på platsen eller i fotogrammetrisk utrustning hade med all säkerhet t.ex. biotopgränsen kunnat tolkas bättre än som nu blev fallet (radiella "fel" på 5.345 m resp. 4.556 m för två punkter).

Våra resultat från denna del borde alltså ha blivit bättre om vi också hade tolkat direkt i terrängen, vilket tyder på att det med denna metod definitivt finns rationaliseringsvinster att göra.

### 7.3.3 Uppsökning

Denna teknik blir mycket intressant när det finns bättre och mer fältmässig utrustning för sändning och mottagning av korrektioner än vad som var fallet vid våra försök. En möjlig tillämpning är att återfinna de provytor som används vid skogs-taxering.

Den pågående utbyggnaden och förfiningen av mobiltelefonnät och utrustningar bör kunna leda till att mobiltelefon med modem blir mer användbart för detta ändamål, framför allt när näten blir mer rikstäckande än vad de är idag.

## 7.4 RT90:s betydelse

Användandet av data från fasta referensstationer bör ske i ett för Sverige enhetligt koordinatsystem, nämligen rikets system i plan RT90. Att använda regionsystemen är inte bara olyckligt utan rent av felaktigt. Önskas koordinater i ett regionsystem

1992-12-15

eller i ett lokalt system måste en transformation av framräknade RT90-koordinater ske.

I många områden sker all mätverksamhet i region-system eller lokala system. Förrättningsproduktionen måste primärt ligga i dessa system även fortsättningsvis, varefter resultaten i någon form skall kunna redovisas i RT90. Detta innebär att vi måste lära oss mer om hur frågor förknippade med detta skall hanteras och hur en succesiv övergång till bättre lösningar kan göras.

Införandet av den digitala registerkartan samt uppbyggnaden av geodatabanken och GSD har ökat behovet av ett enhetligt koordinatsystem och kommer att öka ännu mera. För framtiden bör det understrykas hur viktigt det är att fastighetsbildning i Sverige genomförs i RT90.

1992-12-15

## 8. FRAMTID

Försöken visar att det finns rationaliseringsvinster att göra genom att använda GPS-tekniken inom förrättningsmätning. Däremot finns det i dagsläget inte tillräckligt beprövade metoder, ingen riktigt ändamålsenlig utrustning och inte tillräcklig kompetens för att i större utsträckning utnyttja tekniken för förrättningsmätning.

Vi vet dock att utrustningarna (GPS-mottagare, datorer, radio- och telefonutrustningar) blir billigare och mindre till sina format, mer fältmässiga och därmed antagligen också lättare att hantera. Detta sköter utrustningstillverkarna.

Lantmäteriets uppgift för att förbättra möjligheterna med GPS inom förrättningsmätning blir att avsluta anläggandet av SWEREF-nätet, utveckla nya samt förbättra befintliga mätmetoder och höja vår egen kompetens inom området.

Metodutvecklingen bör fortsätta med fler försök med GPS-mätning, främst för anslutningsmätning med hjälp av fasta referensstationer men även för annan förrättningsproduktion. Praktiska försök för att avgöra hur förrättningsorganisationen bäst kan använda GPS vid anslutningsmätning bör belysa tidsaspekter och ekonomi kontra noggrannhet.

På längre sikt (2 - 4 år) krävs programvara som, både i fält och på kontoret kan ta hand om mätdata, beräkna och presentera resultat i RT90 på ett automatiserat sätt vid mätning med GPS. Här ingår att utreda hur data från flera referensstationer bäst används samt hur transformationsberäkningarna mellan WGS 84 och RT90 skall göras.

På lite kortare sikt (1 - 2 år) planeras bl.a. försök med att ansluta GPS-mottagare till befintligt fältdatorsystem (AutoKa-FC) för inmätning. I det sammanhanget bör också fler försök med och utveckling av metoder för kinematisk detaljmätning med GPS (bärvågsmätning och bärvågsunderstödd kodmätning) göras.

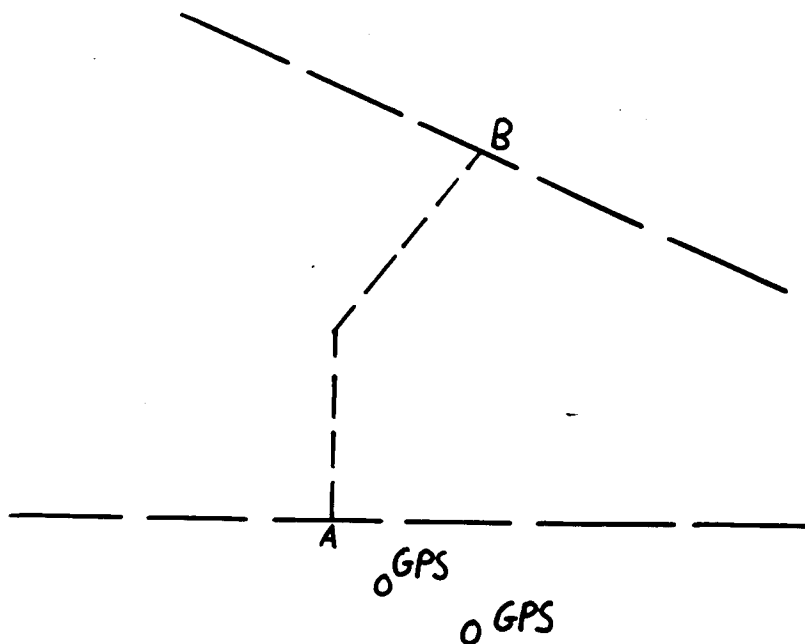
För att utveckla metoder för gränsbestämningar kan redan idag försök påbörjas, där befintlig GPS-utrustning används. Ett scenario för gränsarbeten där GPS-teknik och grafisk tolkning används kan se ut på följande sätt, jämför figur 9.

Mellan två befintliga gränser skall en ny gräns mellan två ommarkerade punkter (A och B) läggas ut. Den nya gränsen tolkas grafiskt. I närheten av punkt A GPS-bestäms två punkter. Från den ena punkten sätts punkt A ut, där utgångsriktning erhålls via



1992-12-15

den andra GPS-bestämda punkten. Gränsen kan nu sättas ut med hjälp av den grafiska tolkningen.

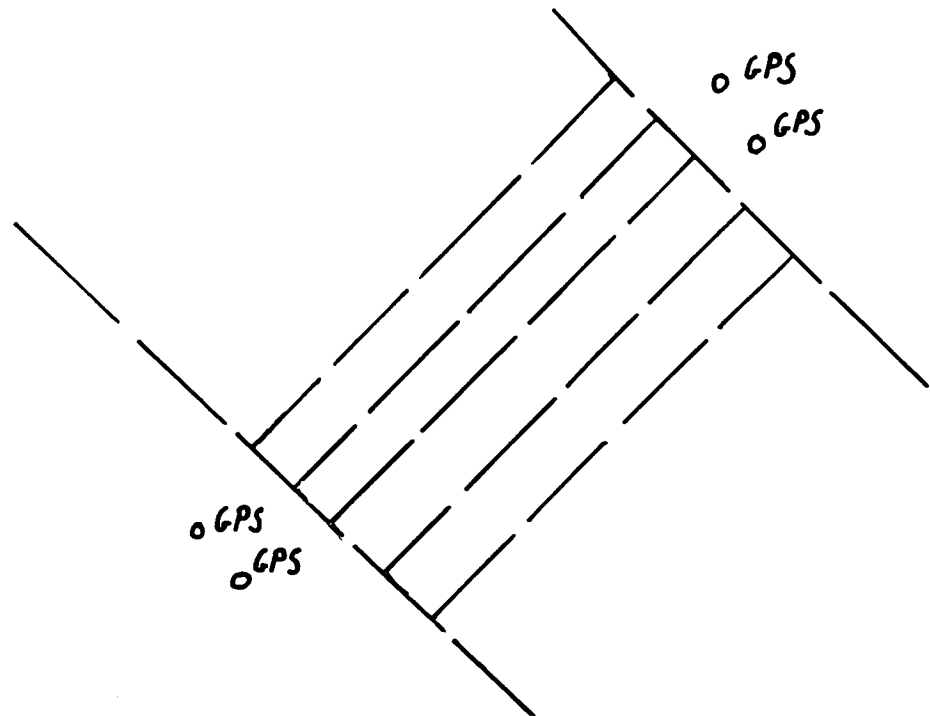


Figur 9: Scenario för utstakning av ny gräns med hjälp av GPS och grafisk tolkning.

En annan situation är att långsträckta befintliga gränser som ej går att återfinna i terrängen skall huggas upp, jämför figur 10. Om ändpunkterna går att återfinna mäts de in från GPS-bestämda punkter. Annars kan en kombination med grafisk tolkning av gränserna göras. Från utgångspunkterna letar man efter befintliga markeringar i gränslinjen genom att staka ut den. Därefter kan man hugga upp mellan gränsmarkeringarna.

De båda förslagen innebär att man slipper rekognosera, röja, mäta och markera ett polygontåg fram till och längs gränsen, eller anlägga ett stomnät i gränsområdet för att få utgångspunkter och därefter röja och markera gränsen. I stället börjar man direkt med utstakning, röjning och markering av gränsen. Dessutom kan man justera tolkning av en ny gräns direkt i fält.

1992-12-15



Figur 10: Scenario för upphuggning av gamla gränser med hjälp av GPS och ev. grafisk tolkning.

Speciellt i det andra scenariot med långsträckta gränser är det viktigt att GPS-bestämningen är noggrann. Det är alltså frågan om bärvågsmätning.

Har man tillgång till två eller flera GPS-mottagare kan man lokalt mäta mellan GPS-punkterna med centimeternoggrannhet. RT90-koordinater (som även behövs på ett antal meter när för att GPS-beräkningen skall fungera) förs in på en punkt via fasta referensstationer. Alternativt kan koordinater tolkas grafiskt.

Har man tillgång till bara en GPS-mottagare GPS-bestäms varje enskild punkt i förhållande till fasta referensstationer (alternativt en lokal referensstation). Man får då räkna med lite sämre noggrannhet lokalt.

1992-12-15

**REFERENSER**

- Förrättnings-MBK, 1991: Rapporter från Förrättnings-MBK-projektet. Lantmäteriverket.
- Geodesi 90, 1990: Rapport från utredningsarbetet om geodesin i Sverige på 1990-talet. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1990:1.
- Hedling G, Reit B-G, 1989: Transformationssamband mellan WGS 84 och RT90. Lantmäteriverket, PM.
- IT4-GPS, 1992: Slutrapport för delprojekt referensstationer. IT4, IT4-projekt nr 3120 GPS-satellitnavigering.
- Jivall L, 1991: GPS-försök inom förrättnings-MBK hösten 1990. Lantmäteriverket, intern-PM.
- SIS, 1992: Satellitbaserad positionsbestämning-GPS. SIS-Standardiseringskommissionen i Sverige, svensk standard SS 63 70 01 utgåva 1.

1992-12-15

## GPS-BERÄKNING MED KORTA MÄTTIDER

Den här bilagan har för avsikt att belysa hur noggrannheten vid beräkningen av bärvågsmätningar för en lång baslinje varierar med tiden man har mätt. I undersökningen har mätdata från de fasta referensstationerna i Mårtsbo och på Lovö använts. Dessa referensstationer är utrustade med Ashtech fullständiga tvåfrekvensmottagare (P-kod på både L1- och L2-frekvenserna). Mätdata består av sex tretimmarssessioner med goda mätningar från olika dagar och tidpunkter 25/3-18/4 1992. Mätintervall var 15 s och elevationsgränsen är satt till 15° över horisonten. Vid beräkningarna har Ashtechs programvara (GPPS) använts.

Först beräknades baslinjen Mårtsbo-Lovö (längd samt baslinjekomponenter i WGS 84) så noggrant som möjligt. Här användes fullständiga tvåfrekvensdata från de sex tretimmarssessionerna. Medelvärdena av resultaten i WGS 84 och standardavvikelserna blev:

## Fixlösning:

(m)

$\frac{1}{}$	$\frac{\Delta X}{}$	$\frac{\Delta Y}{}$	$\frac{\Delta Z}{}$
143655.4516	106028.3394	66931.9784	-70106.9918
0.036	0.038	0.022	0.032

## Flyttalslösning:

(m)

$\frac{1}{}$	$\frac{\Delta X}{}$	$\frac{\Delta Y}{}$	$\frac{\Delta Z}{}$
143655.4448	106028.3252	66931.9742	-70107.0032
0.027	0.040	0.020	0.024

För en fixlösning har antalet hela våglängder (periodobekant) mellan satellit och GPS-mottagare fixerats till ett heltal. För en flyttalslösning har de lösts ut som ett flyttal.

Nedan visas resultaten av tvåfrekvensberäkningar med kortare mättider hämtade från ovannämnda sessioner. För mättider kortare än 60 minuter används bara resultaten från fyra av sessionerna. Resultaten presenteras som skillnader mellan värdena från beräkningarna med kortare mättider och de ovan angivna medelvärdena. För fixlösningar är jämförelsen gjord mot den ovan angivna fixlösningen och för flyttalslösningar mot den ovan angivna flyttalslösningen. Det av beräkningsprogrammet framräknade RMS:et är också medtaget.

1992-12-15

## Fixlösningar baserade på tvåfrekvensmätningar:

<u>Dag</u> (m)	<u>l</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>RMS</u>
90 min:					
085	0.025	-0.002	0.018	-0.035	0.017
101	-0.054	-0.084	0.121	0.098	0.016
104	0.027	0.011	0.019	-0.014	0.018
099	-0.066	0.002	-0.075	0.065	0.025
093	0.057	0.054	0.060	0.022	0.018
109	0.030	0.024	0.064	0.035	0.027
60 min:					
085	0.052	0.040	0.037	-0.011	0.015
101	-0.072	-0.056	0.037	0.097	0.014
104	0.073	0.060	0.079	0.017	0.011
099	-0.019	0.005	-0.055	-0.007	0.023
093	-	-	-	-	-
109	0.239	0.250	0.138	0.018	0.016
30 min:					
085	-0.137	-0.107	-0.162	-0.034	0.012
101	-	-	-	-	-
104	0.085	0.079	0.084	0.024	0.010
099	-0.042	-0.024	-0.011	0.038	0.012

- betyder att beräkningsprogrammet inte kunde räkna fram någon fixlösning.

## Flyttalslösningar baserade på tvåfrekvensmätningar:

<u>Dag</u> (m)	<u>l</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>RMS</u>
90 min:					
085	0.019	0.010	0.013	-0.011	0.015
101	0.018	-0.005	0.115	0.026	0.013
104	0.063	0.062	0.048	0.010	0.016
099	-0.013	-0.002	-0.005	0.018	0.016
093	0.095	0.101	0.060	0.015	0.018
109	0.057	0.059	0.030	0.002	0.016
60 min:					
085	0.048	0.042	0.050	0.001	0.014
101	0.029	0.008	0.130	0.076	0.012
104	0.068	0.058	0.085	0.031	0.011
099	-0.022	0.009	-0.046	0.013	0.013
093	0.219	0.225	0.150	0.034	0.017
109	0.207	0.218	0.135	0.035	0.015
30 min:					
085	-0.11	-0.07	-0.11	0.01	0.011
101	-0.03	-0.03	0.12	0.13	0.012
104	0.03	0.03	0.08	0.05	0.009
099	-0.04	-0.01	-0.01	0.05	0.012

1992-12-15

15 min:

085	-0.24	-0.17	-0.33	0.08	0.010
101	0.02	0.08	0.18	0.25	0.012
104	0.05	0.04	0.18	0.00	0.008
099	-0.10	0.00	-0.05	0.16	0.011

10 min:

085	-0.25	-0.14	-0.39	-0.06	0.008
101	-0.02	0.08	0.07	0.22	0.012
104	0.02	-0.12	0.17	-0.09	0.008
099	-0.06	0.05	0.13	0.32	0.009

5 min:

085	-0.61	-0.52	-0.61	-0.12	0.007
101	0.18	0.28	0.14	0.19	0.011
104	-0.21	-0.44	-0.05	-0.28	0.007
099	-0.04	0.18	0.08	0.43	0.008

3 min:

085	0.11	0.00	0.13	-0.10	0.008
101	0.26	0.55	0.04	0.34	0.010
104	-0.31	-0.47	0.23	0.15	0.006
099	-0.04	0.14	-0.07	0.23	0.006

En GPS-mottagare som bara kan mäta på L1-frekvensen är självfallet billigare än en tvåfrekvensmottagare. För att se hur noggrant enfrekvensmätning blir har enfrekvensberäkning gjorts med kortare mättider på samma sätt som ovan. Resultaten från beräkningen med enfrekvensdata blev:

Flyttalslösningar baserade på enfrekvensmätningar (P-kodskorrelering):

Dag (m)	<u>l</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>RMS</u>
180 min:					
085	-0.398	-0.297	-0.313	0.065	0.131
101	-0.079	0.087	-0.122	0.174	0.099
104	-0.173	-0.129	-0.207	-0.039	0.103
099	-0.300	0.594	0.079	1.587	0.444
093	-0.456	-0.369	-0.332	0.058	0.075
109	-0.188	-0.265	-0.238	-0.244	0.083
90 min:					
085	0.033	0.102	0.159	0.238	0.105
101	-0.287	-0.076	-0.117	0.360	0.070
104	-0.375	-0.495	-0.273	-0.242	0.078
099	-0.386	0.464	0.261	1.718	0.321
093	-0.630	-0.478	-0.447	0.105	0.065
109	-0.161	-0.210	-0.139	-0.120	0.089

1992-12-15

## 60 min:

085	-0.953	-1.020	-0.496	0.012	0.068
101	0.086	0.093	0.331	0.280	0.058
104	-0.445	-0.572	-0.148	-0.099	0.067
099	-0.647	0.509	0.112	2.202	0.239
093	0.286	0.628	0.185	0.541	0.050
109	-1.389	-1.749	-0.964	-0.722	0.075

## 30 min:

085	-0.742	-0.971	-0.375	-0.307	0.053
101	0.707	0.179	1.176	-0.056	0.035
104	-0.224	-0.241	0.088	0.178	0.042
099	-0.816	-0.698	0.467	1.069	0.131

## 15 min:

085	-0.395	-0.944	0.326	-0.296	0.025
101	0.934	0.438	0.934	-0.359	0.022
104	-0.486	-0.164	-0.359	0.405	0.036
099	-0.713	-1.337	1.187	0.571	0.081

## 10 min:

085	0.064	-0.567	0.880	-0.150	0.020
101	1.155	0.412	1.447	-0.362	0.016
104	-0.454	0.019	-0.341	0.641	0.021
099	-0.545	-1.639	1.870	0.422	0.059

## 5 min:

085	0.584	-0.024	1.373	0.078	0.016
101	0.960	0.418	1.298	-0.096	0.009
104	-0.234	0.334	-0.186	0.808	0.007
099	0.223	-1.922	2.980	-0.521	0.029

## 3 min:

085	0.505	-0.027	1.133	0.004	0.008
101	2.225	1.536	1.805	-0.514	0.007
104	-0.193	0.435	-0.646	0.436	0.003
099	0.497	1.954	2.914	-1.192	0.016

Vid bärvågsmätning används någon av koderna för att korrelera bärvågen. För resultaten av enfrekvensmätningarna ovan har P-koden använts. Motsvarande beräkning har gjorts (för 180, 30 och 3 minuters mätdata) då C/A-koden har använts och visas nedan:

Flyttalslösningar baserade på enfrekvensmätningar (C/A-kodskorrelering):

Dag (m)	<u>1</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>RMS</u>
180 min:					
085	-0.402	-0.302	-0.317	0.065	0.131
101	-0.076	0.088	-0.123	0.172	0.099
104	-0.173	-0.129	-0.208	-0.039	0.103
099	-0.301	0.594	0.076	1.586	0.443
093	-0.454	-0.369	-0.333	0.056	0.075
109	-0.186	-0.264	-0.238	-0.246	0.083

1992-12-15

## 30 min:

085	-0.746	-0.975	-0.378	-0.308	0.053
101	0.707	0.177	1.178	-0.055	0.036
104	-0.221	-0.238	0.086	0.175	0.042
099	-0.814	-0.706	0.475	1.054	0.130

## 3 min:

085	0.555	-0.022	1.279	0.050	0.009
101	2.382	1.683	1.880	-0.542	0.007
104	-0.217	0.461	-0.703	0.470	0.003
099	0.530	-1.956	2.906	-1.269	0.016



1992-12-15

**SNABB STATISK GPS-MÄTNING**

Ashtechs programpaket GPPS har under 1992 givits möjligheten att beräkna snabb statisk mätning. Observationstider på 10 till 20 minuter skall vara fullt tillräckligt. Noggrannhetsmässigt skall metoden ge nästan samma resultat som sedvanliga metoder under vissa begränsningar. Kraven som Ashtech ställer är:

- Att man använder tvåfrekvensmottagare med P-kod på åtminstone L2-frekvensen.
- Att baslinjerna är högst 10 km.
- Att satellitgeometrin är god. Konkret skall PDOP-värdet under mätningen vara mindre än 5.
- Att man har mätt i 10-20 min (beroende på baslinjelängden).
- Att mätintervallet är 5 eller 10 sekunder.

Två baslinjer från anslutningsmätningens försök har undersökts. Dessa är DA1-DA2 (230 m) och Mårtsbo-GA1 (17 km). För att erhålla noggrant bestämda värden utfördes enfrekvensberäkning av en och en halv timmes mätdata från DA1-DA2 och tvåfrekvensberäkning av en och en halv timmes mätdata från M-GA1. Beräkningarna gav följande WGS 84-värden (längd,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) i meter:

DA1-DA2: 227.8177      66.8432      205.1439      73.1360  
 M-GA1: 16860.8654    -6187.4266    15671.6512    635.5176

Vid beräkningen av snabb statisk mätning har mätdata som uppfyller kraven plockats ut. De parametrar som varierats vid beräkningen är observationstiden (2-20 min) och mätintervallet (5 eller 10 s). Längdens och WGS 84-baslinjekomponenternas ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) avvikelser från ovan angivna värden anges i uppställningarna nedan.

**DA1-DA2:**

(m)	<u>l</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
<u>10 min, 5 s:</u>	0.001	-0.018	0.005	-0.006
<u>10 min, 10 s:</u>	0.002	-0.020	0.005	-0.007
<u>5 min, 5 s:</u>	-0.002	-0.016	0.002	-0.004
<u>3 min, 5 s:</u>	-0.004	-0.014	-0.003	-0.007
<u>2 min, 5 s:</u>	2.072	1.012	1.897	-0.207

Här kunde man klart konstatera att en av satelliterna försämrade resultatet. Om den ströks erhöles:

0.033      0.007    -0.014    0.072

1992-12-15

MÄRTSBO-GA1:

Vid beräkningen påverkade en av satelliterna här samtliga beräkningar mycket negativt, varför den om inte annat anges är struken.

(m)	<u>l</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
<u>20 min, 5 s:</u>	-0.003	0.005	-0.002	0.012
<u>20 min, 10 s:</u>	0.001	0.002	0.002	0.008
<u>10 min, 5 s:</u>	Först är ovannämnda satellit medtagen, sedan struken.			
	-0.410	-0.139	-0.495	-0.044
	-0.007	0.007	-0.005	0.012
<u>10 min, 10 s:</u>	-0.007	0.006	-0.005	0.011
<u>5 min, 5 s:</u>	-0.558	-0.190	-0.670	-0.127
<u>5 min, 10 s:</u>	Gick ej att beräkna.			

Resultaten bör endast ses som en vägledning hur stora avvikelserna blir. Konstateras skall att resultatet varierade ganska mycket beroende på vilket tidsintervall man plockade ut och om någon satellit ströks.