



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

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT
1995:16

ISSN 0280-5731

FORTSATTA FÖRSÖK MED GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING

av

Dan Norin och Bengt Eurenus



Gävle 1995

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1991:18 Jivall L: GPS-beräkning för stomnät. (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 DGPS Network.
- 1992:16 Almgren K & Sandvik L H: Alternativa metoder vid framställandet av orienteringskartor.
- 1992:21 Eurenus B & Norin D: GPS inom förrättningsmätning.
- 1993:1 Ekman M: Geoiden i Sverige och geoidhöjdssystemet RN 92.
- 1993:2 Ottoson C: Undersökning av Wild GPS-system 200 - GPS-mottagare samt tillhörande programvara.
- 1993:4 Jivall L & Ottoson C: Jämförelse mellan Leicas och Ashtechs GPS-System.
- 1993:5 Svensson R: Utvärdering av geodetiska nät-utjämningsprogram på PC.
- 1993:7 Hedling G & Jonsson B: PREF - A Test of a Swedish Network of Reference Stations for Positioning.
- 1994:14 Johnson M: Regionalt studium av riksnäten med GPS - en homogenitets- och transformationsstudie.
- 1994:24 RIX 95 - en utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stomnät.
- 1994:25 Persson K & Persson C-G: Datafångst för GIS med användning av GPS.
-
- 1994:28 Reit B-G: SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem.
- 1995:3 Kurkinen K: Radiolänkar för överföring av GPS-data.
- 1995:4 Persson C-G: Terrestrial Methods in Surveying, Mapping and Establishment of Geographic Data Bases.
- 1995:14 Bergman A & Frisk A: Positionsnoggrannheten för differentiell GPS via EPOS-tjänsten.
- 1995:15 Hedling G & Jonsson B: SWEPOS - A Swedish Network of Reference Stations for GPS.

Titel

FORTSATTA FÖRSÖK MED GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING
av Dan Norin och Bengt Eurenus

Huvudinnehåll

Rapporten är en fortsättning på LMV-rapport 1992:21 GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING och beskriver sex försök utförda i fas två av projektet med samma namn. Försöken behandlar tillämpningar med GPS inom förrättningsmätning och närliggande områden, nämligen gränsutstakning, stakning av alternativa vägsträckningar, gränsutvisning, instrumentutstakning från GPS-bestämda utgångspunkter, gränsuppsökning samt inpassning av lokalt stornät i RT 90.

LDOK

Kg Satellitgeodesi

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE

Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Dan Norin, Bengt Eurenus

1995-09-19

FORTSATTA FÖRSÖK MED GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING

FÖRORD

Våren 1992 påbörjades på Kart- och Fastighetsavdelningarna vid Lantmäteriverket ett gemensamt projekt **GPS inom förrättningsmätning**. Projektet hade som uppgift att studera vilka möjligheter GPS-tekniken ger vid olika slags förrättningsmätningar, samt att utarbeta metoder för detta och försöka föra in dem i förrättningsorganisationen.

Fas 1 av projektet behandlade i första hand olika metoder att ansluta landsbygdsförrättningar till rikets nät i plan (RT 90) i områden utan stornät med användande av fasta referensstationer, men även produktionsmätning i form av gränsarbeten studerades (Eurenus, Norin, 1992). Fas 2 två av projektet har också behandlat förrättningsmätning på landsbygden, främst gränsarbeten, men även andra liknande landsbygdstillämpningar med GPS-teknik har tagits upp.

Projektet avslutas i och med denna rapport, vilken redogör för ett antal försök som har utförts i anslutning till projektets andra fas. Verksamheten bedrivs fortsättningsvis i form av kontinuerligt stöd och hjälp med igångsättning av produktionsmätning.

I projektgruppen ingick personal från geodetiska utvecklingsenheten (LMV-KG) och fastighetsbildningsenheten (LMV-FF) vid Lantmäteriverket i Gävle. I försöken har också annan personal från KG samt personal från ett antal lantmåteridistrikt och lokalkontor (G1, L2K, L3K, U1S, X0, X1, X2, Z2, Z4, BDIL och BD4) medverkat.

Bemanningen har varit enligt följande:

Arbetsgrupp:

Bengt Eurenus	LMV-KG
Dan Norin	LMV-KG
Gunnar Ericsson	LMV-FF

Styrgrupp:

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

1995-09-19

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING	4
1.	INLEDNING	6
1.1	GPS-teknik	7
1.2	Referensstationer	8
1.2.1	SWEPOS - ett nationellt nät av fasta referensstationer	8
1.3	Referenssystem	10
1.4	Utrustning	11
2.	GRÄNSUTSTAKNING VID FÄRNEBOFJÄRDEN	13
2.1	Genomförande	14
2.2	Resultat	15
2.3	Utvärdering	15
2.4	Råd	16
3.	STAKNING AV ALTERNATIVA VÄGSTRÄCKNINGAR I ÖRKELLJUNGA	17
3.1	Genomförande	17
3.2	Resultat	17
3.3	Utvärdering	17
3.4	Råd	18
4.	GRÄNSUTVISNING I STRÖMSUND	19
4.1	Genomförande	19
4.2	Resultat	21
4.3	Utvärdering	21
4.4	Råd	21
5.	INSTRUMENTUTSTAKNING FRÅN GPS-BESTÄMDA UTGÅNGSPUNKTER I KÅBDALIS	22
5.1	Genomförande	22
5.2	Resultat	24
5.3	Utvärdering	24
5.4	Råd	24
6.	GRÄNSUPPSÖKNING I SÖDERHAMN	26
6.1	Genomförande	26
6.1.1	Digitalisering	26
6.1.2	Inmätning av passpunkter	27
6.1.3	Transformation	27
6.1.4	Uppsökning av gränspunkter	28
6.2	Resultat	28
6.3	Utvärdering	28
6.4	Råd	28
7.	INPASSNING AV LOKALT STOMNÄT I RT 90 I HOLM-SVEDEN	29
7.1	Genomförande	29
7.2	Resultat	32
7.3	Utvärdering	34
7.4	Råd	34

1995-09-19

8.	RÅD FÖR GPS-ANSLUTNING AV FÖRRÄTTNINGS- MÄTNINGAR	35
8.1	Anslutning till fasta referensstationer	35
8.1.1	Bärvågsmätning med efterbearbetning på decimeternivå enligt principen i figur 8.1	35
8.1.2	Relativ kodmätning på meternivå	36
8.2	Anslutning till stompunkt med koordinater i regionsystem eller RT 90	36
8.2.1	Avstånd kortare än 5 km till stompunkt och med annan stompunkt som kontrollpunkt enligt principen i figur 8.2	36
8.2.2	Avstånd kortare än 5 km till stompunkt och med fast referensstation som kontrollpunkt enligt principen i figur 8.3	37
8.2.3	Avstånd 5 km eller längre till stompunkt och med annan stompunkt som kontrollpunkt enligt principen i figur 8.4	37
9.	SLUTORD	39
	REFERENSER	40

1995-09-19

SAMMANFATTNING

GPS-tekniken utvecklas i snabb takt. Detta gäller både relativ bärvågsmätning (ger cm- och dm-noggrannhet) och relativ kodmätning (ger meternoggrannhet), där möjligheten att mäta i realtid (s.k. differentiell GPS, DGPS) har förenklats mycket. Vid DGPS sänds korrekationer (egentligen pseudoavståndskorrekationer) från en GPS-mottagare på en känd punkt (referensstation) via en radiolänk till den i fält använda GPS-mottagaren. Nya tillämpningar dyker ständigt upp. I en andra fas av projektet "GPS inom förrättningsmätning" har idéer om hur GPS-tekniken skall kunna användas för gränsarbeten och dylikt lanserats. För att pröva dessa har ett antal försök genomförts, vilka hjälpt metoderna att utvecklas till att bli mer eller mindre produktionsfärdiga.

För att kunna staka ut delar av den tolkade gränsen för den nybildade Färnebofjärdens nationalpark vid Dalälven har DGPS använts. 1-2 km gräns stakades ut per dag och linjen avvek åt endera hållet från den önskade raklinjen med maximalt 2-3 decimeter. Mätta GPS-positioner jämfördes med utstakningsdata i ett referenslinjeprogram i en fältdator, som gav tvärmått i förhållande till gränslinjen. Gränsen har på så sätt kunnat stakas ut, mätas in och markeras samt gränsgatan huggas upp i ett sammanhang.

I Örskelljunga har alternativa vägsträckningar satts ut med DGPS för att möjliggöra geotekniska undersökningar. Ungefär 1,5 km ny vägsträckning sattes ut per dag. Koordinater för punkter på var 20:e meter fanns inlagda i en fältdator. Dessa punkter sattes sedan ut genom att fältdatorn räknade ut avstånd och riktning till dessa med hjälp av mätta GPS-positioner.

DGPS-tekniken kan även användas för att visa ut befintliga, men svårfunna, gränser. I Strömsund har gränser, efter det att några funna råstenar mätts in, kunnat visats ut. Hävder och råstenar har därigenom hittats.

Utsäkning sker normalt med totalstation, där utstakningsdata hämtas från inmätta punkter. Inmätningen av dessa utgångspunkter kan med terrestra metoder bli omfattande, varför GPS-inmätning är ett effektivt alternativ. I Kåbdalis i Lappland har utgångspunkter för instrumentutsäkning av nya gränser i samband med en avstyckning mätts in med snabb statisk GPS-mätning. En rak gränsgata mellan gränsrören kunde därefter huggas upp.

Att hitta äldre gränspunkter kan vara svårt. Har man koordinater på dem kan dessa överföras till en fältdator. Genom en position mätt med DGPS kan avstånd och riktning till punkten erhållas och punkten sökas upp. I Söderhamn har metoden använts för att söka upp gränspunkter som digitaliserades i en laga skiftes-karta. Koordinater på gränspunkterna erhöles genom att i fält först mäta in några punkter som kunde identifieras i laga skiftes-kartan. Samtliga digitaliserade punkter kunde därefter transformerats till RT 90 och uppsökningen påbörjas.

Ett lokalt nät (egentligen ett s.k. specialbladsområde) i Holmsveden i södra Hälsingland anslöts till RT 90 genom att fem punkter GPS-bestämdes med en sammanlagd mättid på två-tre timmar. En punkt inmättes med en GPS-mottagare relativt fasta referensstationer i SWEPOS-nätet med decimeternoggrannhet. Med snabb statisk mätning inmättes övriga punkter med en andra GPS-mottagare relativt den första punkten med centimeternoggrannhet.

1995-09-19

För att underlätta GPS-anslutning av förrättningsmätningar till riksnätet eller stornät som är anslutet till riksnätet har råd för detta utarbetats. Råden behandlar anslutning till både stompunkter (här avses såväl stornätspunkter som riksnätspunkter) och till fasta referensstationer i SWEPOS-nätet.

Slutfasen av fas 2 av projektet "GPS inom förrättningsmätning" har till stor del inneburit att de i denna rapport beskrivna metoderna har sjösatts och sjösätts kontinuerligt vid ett flertal produktionsprojekt inom Lantmäteriet. Man kan vidare räkna med att både metodik och utrustningar kommer att utvecklas samt att nya tillämpningar kommer att introduceras.

1995-09-19

1. INLEDNING

Denna rapport är en fortsättning på LMV-rapport 1992:21 GPS INOM FÖRRÄTTNINGSMÄTNING och beskriver fas två av projektet med samma namn.

I den förra rapporten beskrevs framtida möjligheter med GPS och fasta referensstationer för olika typer av förrättningsmätningar på landsbygden, främst anslutning av förrättningar till RT 90.

Resultaten från försöken i fas 1 visade att bärvågsmätning relativt fasta referensstationer håller en noggrannhetsnivå som gott och väl uppfyller de krav som ställs vid anslutning av landsbygdsförrättningar till överordnat koordinatsystem. För att GPS-anslutning av landsbygdsförrättningar till RT 90 skulle bli ett ekonomiskt alternativ fastslogs det att effektivare metoder för datahantering och beräkning behövdes. Under de senaste åren har sådana metoder kommit, medan kostnaden för GPS-mottagare fortfarande är hög. Däremot fastslogs det att GPS-tekniken redan då var ett tillskott i de situationer där den kan användas även för själva förrättningsproduktionen, t.ex. vid arbeten med långsträckta gränser i skogsterräng. I den förra rapporten redogjordes för tester med positionsbestämning i skogsterräng, uppsökning av givna positioner samt hur grafiska tolkningar från olika kartmaterial kan kombineras med GPS-mätningar. Försöken från fas 1 visade att GPS i dessa tillämpningar kan vara till mycket stor hjälp.

I projektets andra fas som behandlas i denna rapport har huvudsyftet varit att fortsätta studera och utarbeta metoder för förrättningsmätning på landsbygden, men även att belysa andra liknande tillämpningar där GPS-tekniken kan vara effektiv tillsammans med fasta referensstationer. Fas 2 delades inledningsvis in i tre delar. Dessa var:

- Arbetsmetodik för gränsutstakning.
- Uppsökning av gränser.
- Anslutning av lokala stornät, andra oanslutna eller dåligt anslutna nät samt specialbladsområden m.m. till RT 90.

Tonvikten har legat på GPS-teknikens möjligheter vid gränsarbeten, eftersom man där kan se klara rationaliseringsvinster. Gränsfrågor har tidigare behandlats i flera projekt (LMV, 1983; LMV, 1984; LMV, 1991). För att kunna fortsätta att genomföra praktiska försök har också utveckling av utrustning bedrivits i nära anslutning till projektet.

Denna rapport redovisar ett antal tillämpningar genom att konkret beskriva hur de realiserats i försöksmätningar eller förrättningsproduktion. Redovisningen innefattar arbetsgång, resultat och erfarenheter samt ger allmänna råd.

Parallellt med projektarbetet har en omfattande informationsspridning i form av publicering av promemorior, föredrag och kursverksamhet ägt rum.

Under projektarbetet har Lantmäteriets ledningsgrupp fastställt en GPS-strategi som skall utgöra underlag för spridning av GPS-tekniken inom Lantmäteriet (LMV, 1994). I strategin ingår tillsättandet av en samverkansgrupp för GPS-frågor, Samverkan-GPS, samt en satsning på kompetensutveckling. Denna görs bl.a. genom utbildning, både breddutbildning och specialistutbildning, av ett antal "GPS-pionjärer" från olika delar av landet (Persson, 1994). Projektet har arbetat i nära anslutning till gruppen Samverkan-GPS och utbildningen av GPS-pionjäreerna.

1995-09-19

Huvuddragen i GPS-strategin är:

- Lantmäteriet bör behålla sin landsledande ställning inom "sina delar" av GPS-området.
- Nuvarande verksamhet förväntas kunna rationaliseras och uppdragsverksamheten öka.
- Rättesnören skall vara effektivitet, ekonomi, kvalitet och helhetssyn, där även konventionell teknik och metodik skall ingå.
- Inkörsporten till GPS för de flesta inom Lantmäteriet torde bli just förrättningsmätning samt detaljmätning.
- Spridningen och användningen av tekniken skall ske i samverkan.
- Utbildningsbehovet är stort, vilket gör att både bredd- och spetskompetens är nödvändiga.

1.1 GPS-teknik

GPS - Global Positioning System - (eg. NAVSTAR-GPS) är ett amerikanskt militärt satellitsystem för navigering och positionsbestämning. Systemet består av 24 produktionssatelliter fördelade på sex banplan, vilket i princip gör det möjligt att från nästan varje punkt på jordytan dygnet runt ta emot samtidiga signaler från minst fyra satelliter. Genom avståndsbestämning mot minst fyra satelliter kan en inbindning i rymden göras och mottagarantennens position kan bestämmas i tre dimensioner.

GPS-systemet förklarades operationellt för civila tillämpningar (Initial Operational Capability, IOC) i december 1993. Därmed garanterar systemleverantören - USA:s försvar - tillgång till en s.k. SPS-tjänst (Standard Positioning Service), som innebär en positionsnoggrannhet för absolut mätning med en GPS-mottagare motsvarande ett punktmedelfel på 100 m i plan (95%) och i höjd 140 m (95%). Dessutom garanteras 48 timmars förvarning om ev. driftstopp.

Signalerna sänds ut på två olika frekvenser, L1 och L2. På L1 sänds två koder, C/A-kod och P-kod. På L2 sänds enbart P-koden, som är krypterad. Grundprincipen för positionsbestämning och navigering är att mäta signalens gångtid från satelliten till GPS-antennen. Ur dessa mätningar beräknas avstånden mellan GPS-antennen och satelliterna, som har kända positioner. För att få dessa avstånd används två olika tekniker, kodmätning (C/A-kod) och bärvågsmätning.

Positionsnoggrannheter på 100 m i plan duger inte för lantmåteritillämpningar. För att förbättra kvaliteten på punktbestämningen görs GPS-mätningarna relativt kända punkter, då två eller flera mottagare samtidigt tar emot signaler från samma satelliter. Beroende på om kod- eller bärvågsmätning används erhålls medelfel i positionsbestämningarna från meternivå (kodmätning) till centimeternivå (bärvågsmätning). Bärvågsmätningen är alltid relativ.

GPS-mätningarna utförs antingen med stillastående mottagare (statisk mätning), eller med rörliga mottagare (kinematisk mätning). Resultaten kan beräknas antingen direkt i fält vid realtidsmätningar, eller genom att observationsdata bearbetas i efterhand. Med statisk mätning avser man vanligtvis bärvågsmätning med långa mättider (en timme eller mer). Under de senaste åren har nya beräkningsalgoritmer kommit, vilka medger

1995-09-19

att korta baslinjer (under 15-20 km) kan beräknas med i stort sett likvärdig kvalitet då mättiderna varit betydligt kortare (5-15 minuter). Metoden kallas snabb statisk mätning (SIS, 1994). Om man kan bära GPS-antennen med bibehållen satellitlåsning mellan de punkter som skall positionsbestämmas kan man begränsa mättiden på dessa till under 10 s, en mätmetod som kallas semikinematisk mätning och bäst kommer till sin rätt med mätning i realtid.

Det finns flera engelskspråkiga läroböcker om GPS-tekniken (Wells, 1986; Seeber, 1993; Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, Collins, 1994) och GPS finns även beskrivet på svenska (Jonsson, 1991; Jivall, 1993; HMK-Ge:GPS, 1993). Det finns också en svensk GPS-terminologi utgiven (SIS, 1994).

1.2 Referensstationer

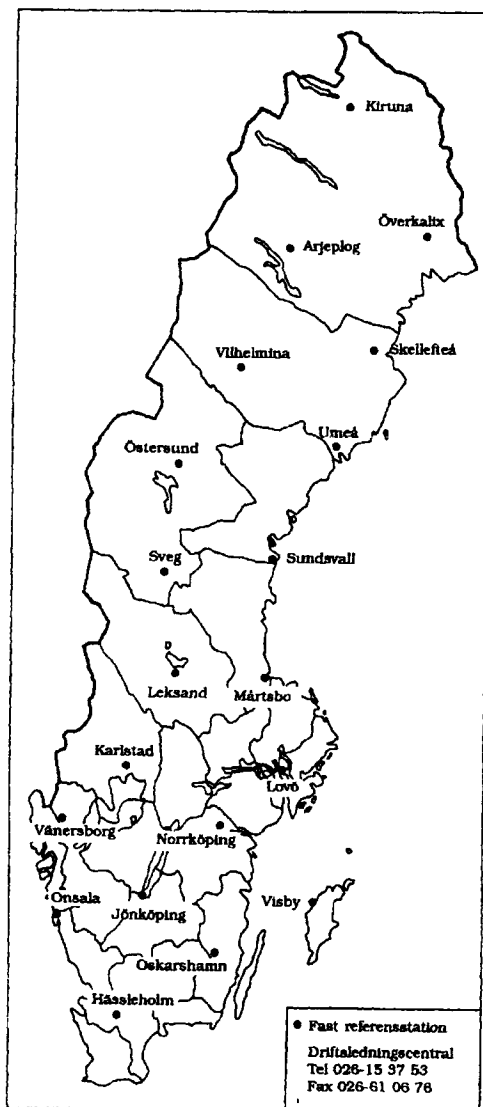
Enligt föregående avsnitt är den noggrannhetsnivå på upp till 100 meter i plan som absolut GPS-mätning med en GPS-mottagare ger inte tillräcklig, utan en relatering av mätningarna till minst en referenspunkt är nödvändig. Vid det speciella relativa mät-förfarande som används vid stommätning med GPS utnyttjas ett flertal referenspunkter (HMK-Ge:GPS, 1993).

En referenspunkt är en punkt med känd position som kan utgöra referens vid relativ GPS-mätning. En referenspunkt övergår till att vara referensstation då en GPS-mottagare utrustad för att utgöra referens vid relativ GPS-mätning placeras över den (Norin, 1994). En referensstation kan antingen vara fast eller tillfällig, där en fast referensstation är en referensstation där GPS-observationer utförs kontinuerligt, medan en tillfällig referensstation utgörs av en referenspunkt som tillfälligt utnyttjas som referensstation.

1.2.1 SWEPOS - ett nationellt nät av fasta referensstationer

I ett samarbetsprojekt mellan Lantmäteriverket, Onsala rymdobservatorium och det numera avslutade projektet "GPS-resurser i Norrbotten" samt med hjälp av länsarbetsnämnden i Gävleborgs län har ett nationellt nät av fasta referensstationer anlagts i Sverige. Nätet kallas SWEPOS och består av 20 stationer (figur 1.1). Målsättningen med införandet av ett nät av fasta referensstationer skall bl.a. vara att underlätta för anslutning till riksnäten i samband med fastighetsbildning på landsbygden. SWEPOS är i långt framskriden försöksdrift och data är fullt användbara för produktionsmätning. En stor del av nätet ingår också i ett vetenskapligt studium av rörelser i jordskorpan (Johansson, 1995). Målsättningen är att nätet skall vara helt operationellt för efterbearbetningstillämpningar 1996 och för realtidstillämpningar med bärvågsmätning 1999 (Hedling, Jonsson, 1995). Data för efterbearbetning är för närvarande kostnadsfria.

1995-09-19



Figur 1.1: SWEPOS, ett nationellt nät av fasta referensstationer.

Driften av nätet sköts från en ledningscentral på Lantmäteriverket i Gävle. GPS-data används vid projekt och försök både i realtid (kodmätning) och med efterbearbetning (kodmätning och bärvågsmätning).

Vid relativa GPS-mätningar där man får resultaten i realtid krävs utrustning för dataöverföring mellan referensstationen och den i fält använda GPS-mottagaren. SWEPOS-nätet kan med fördel användas för relativ kodmätning i realtid, som också kallas differentiell GPS (DGPS). Vid DGPS-mätning sänds s.k. pseudoavståndskorrekationer från referensstationens GPS-mottagare till den i fält använda GPS-mottagaren, som med hjälp av dessa korrigerar sin position. Pseudoavståndskorrekationer, som i fortsättningen bara benämns korrekationer, är skillnaden mellan kodmätta avstånd från satelliterna till referensstationen (pseudoavstånd) och samma avstånd beräknade genom satelliternas och referensstationens kända positioner.

1995-09-19

Överföringen av korrektioner sker i det s.k. RTCM-formatet (RTCM, 1994) och kan göras med olika typer av datalänkar. Ett antal av SWEPOS-nätets fasta referensstationer har en längre tid varit utrustade med uppringbara telefonmodem som sänder korrektioner via telenätet till den i fält använda GPS-mottagaren.

Numera används dessutom 12 av SWEPOS-nätets stationer av Teracom Svensk Rundradio AB för att distribuera korrektioner över det rikstäckande P3-nätet med den s.k. Epos-tjänsten (Teracom, 1994). RDS-kanalen, som är en datakanal på FM-bandet, utnyttjas för denna distribution. Var och en av de 12 stationerna förser ett begränsat geografiskt område, motsvarande ett antal P3-sändares täckningsområden, med korrektioner. En speciell Epos-mottagare tar emot korrektionerna och förmedlar dessa i RTCM-formatet till den anslutna GPS-mottagaren. GPS-mottagaren måste kunna ta emot korrektionerna.

Epos-abonnemang med två olika noggrannhetsnivåer, ± 2 och ± 10 meter, erbjuds. Dessa nivåer har bekräftats vid försök, även vid kinematisk mätning i bil (Bergman, Frisk, 1995). Mätningarnas kvalitet påverkas bl.a. av om GPS-mottagaren kan utnyttja bärvågen (s.k. bärvågsunderstödd kodmätning) och om den har hög upplösning (s.k. noggrann C/A-kodmätning). Med gynnsamma mätförhållanden är det möjligt att göra plana positionsbestämningar väl under metern (95%).

Om man använder en tillfällig referensstation måste man själv se till att utsändningen av korrektioner fungerar. I dessa fall kan t.ex. radiomodem användas; ett sändande modem som är kopplat till den tillfälliga referensstationen och ett mottagande modem på den i fält använda GPS-mottagaren. Man får använda radiomodem med maximalt 1 W effekt utan frekvenstillstånd. Ett modem med så låg effekt har dock inte någon större räckvidd, som längst ca 2 km i blandad terräng och växtlighet.

1.3 Referenssystem

Det referenssystem ("koordinatsystem") som vanligen associeras till GPS är WGS 84 (World Geodetic System 1984). I Europa har WGS 84 via GPS-mätningar realiserats i EUREF 89 (European Reference Frame 1989), vilket kan betraktas som "WGS 84 på marken i Europa". I Sverige har man genom uppbyggnaden av referenssystemet SWEREF 93 (Reit, 1994), där SWEPOS-punkterna ingår som en integrerad del, fått en förtätning av EUREF 89. I likhet med EUREF 89 kan SWEREF 93 liknas vid "WGS 84 på marken i Sverige". Då goda samband finns mellan de tre systemen, kan följande sägas gälla:

$$\text{WGS 84} \approx \text{EUREF 89} \approx \text{SWEREF 93}$$

SWEREF 93 är alltså ett nytt svenskt referenssystem, som har en mycket god global anpassning. Systemet definieras genom i terrängen markerade punkter (SWEREF-nätet), vars inbördes lägen lägesbestäms i nätet med en noggrannhetsnivå på några centimeter. Systemet är främst avsett för GPS-tillämpningar och ersätter den i Sverige tidigare använda WGS 84-realiseringsen kallad WGS 84 (SCANDOC).

Vid GPS-mätning kan man arbeta direkt i SWEREF 93. Koordinaterna för de fasta referensstationerna i SWEPOS-nätet är angivna i SWEREF 93 och så är även de korrektioner som beräknas för DGPS-mätning. Vid t.ex. resultatredovisningar finns givetvis behov av en länk till de traditionella rikssystemen. Dessa är RT 90 (Rikets

1995-09-19

koordinatsystem 1990), RH 70 (Rikets höjdsystem 1970) och RN 92 (Rikets geoid-höjdssystem 1992). Tillsammans utgör de det tredimensionella systemet RR 92 (Rikets referenssystem 1992). Ett transformations samband mellan SWEREF 93 och RR 92 har tagits fram av Lantmäteriverket (Reit, 1994).

1.4 Utrustning

I rapporten från projektets första fas påpekades bl.a. behovet av en lättanvänd och fältmässig GPS-utrustning för fortsatta försök. Förslaget i rapporten var att ansluta en GPS-mottagare till Lantmäteriets fältdatorsystem AutoKa-FC och komplettera programmet med rutiner för GPS-mätning. Detta har blivit prototypen AutoKa-FC/GPS, där man kan koppla en GPS-mottagare till fältdatorn för registrering av positioner. Utrustningen har bl.a. använts vid flera försök i fas två av projektet, utbildning samt försök i samverkan med andra organisationer.

Som mätmetod kan man använda absolut kodmätning, men de flesta tillämpningar kräver av noggrannhetsskäl minst relativ kodmätning. Om inget behov av att få resultatet i realtid finns kan efterbearbetning användas. AutoKa-FC/GPS fungerar dock effektivast med differentiell GPS (DGPS) i form av bärvågsunderstödd kodmätning i realtid. Mätningarna korrigeras då i realtid relativt en referensstation och positionsbestämning med ett medelfel i plan på 0,5 - 3 m kan erhållas, beroende på vilken typ av GPS-mottagare som används. Man kan även använda sig av relativ bärvågsmätning i realtid och då under vissa förutsättningar erhålla centimeternoggrannhet. Hela utrustningen består av en GPS-mottagare, en fältdator med AutoKa-FC/GPS och en datalänk för överföring av korrektioner. Tre olika datalänkar har använts:

- Mobiltelefon med telefonmodem och sändning på NMT-näten.
- Radiomodem med utsändning från tillfällig referensstation.
- Epos-tjänsten med sändning på P3-nätets RDS-kanal.

Utrustningen kan t.ex. användas så att GPS-mottagaren bärs i en ryggsäck, GPS-antennen liksom datalänkens antenn fästs på ryggsäcken. I säcken finns batteri och datalänk. Fältdatorn håller man i handen eller sätter fast på en magplatta som fästs i ryggsäcken. Ett exempel på hur det kan se ut i fält finns i figur 1.2.

Prototypprogrammet AutoKa-FC/GPS består, förutom av rutiner för konventionell mätning, av tre GPS-delar:

- Inmätning av punkter och linjer.
- Uppsökning/utsättning av punkter.
- Utsättning av linjer (referenslinje).

1995-09-19



Figur 1.2: Exempel på differentiell GPS-mätning i fält.

Vid realtidsmätning registreras GPS-mottagarens korrigerade position i fältdatorn och transformeras från latitud, longitud och höjd över ellipsoiden i SWEREF 93 till x, y och höjd i RT 90 respektive RH 70. Registrering och transformation sker kontinuerligt. Vid inmätning medeltalsbildas positionerna som presenteras i fältdatorns bildfönster tillsammans med PDOP (som talar om hur bra satellitkonfigurationen är), standardavvikelse i plan och höjd samt antal registreringar. Positionen lagras tillsammans med punktidentitet, koder och ev. attribut.

Vid uppsökning eller utsättning av punkter och linjer måste man mäta differentiellt, dvs. få mätningarna korrigerade i realtid. Punkter och linjer som skall sökas upp eller sättas ut finns lagrade i fältdatorns punktbas som x, y och höjd i RT 90/RH 70. Här liksom vid inmätning måste GPS-mottagaren ta emot korrektionerna från referensstationen via datalänken. Den korrigerade positionen transformeras till RT 90/RH 70. Programmet beräknar därefter avstånd och riktning från den aktuella punkten (där man står) till den punkt som skall sökas upp eller sättas ut.

Vid utsättning av linjer beräknar programmet GPS-antennens läge längs och tvärs linjen, funktionen liknar alltså ett traditionellt referenslinjeprogram. När tvärmåttet är 0 (noll) är man alltså mitt på linjen.

Med en väl fungerande datalänk bör man alltid kunna använda realtidsmätning. Då slipper man efterbearbetningsdelen och därmed kan tidsbesparingar göras.

1995-09-19

2. GRÄNSUTSTAKNING VID FÄRNEBOFJÄRDEN

Ett mycket intressant användningsområde för relativ kodmätning i realtid (DGPS) är vid gränsarbeten, främst på landsbygden samt i andra områden utan stornät eller där det är långt mellan stompunkterna. Vid sådana gränsarbeten kan utläggning av utgångspunkter för terrester mätning och den terrestra mätningen i sig bli omfattande. T.ex. skall linjer stakas ut och röjas. En idag vanligt förekommande metod vid gränsutstakning är att ett mätlag och ett huggarlag jobbar tillsammans med gränsen. De senare styrs av mätlaget, som med instrumentutstakning ger riktningar, både när röjningen görs i samband med utstakningen och när röjning görs efter utstakning. Lagen blir beroende av varandra, t.ex. måste mätlaget vänta på att kvistning och aptering gjorts innan nästa riktning kan ges, och skogsarbetarna måste vänta på att få nya riktningar.

GPS-utrustningen bör vid gränsutstakning innefatta en fältdator, som kan transformera GPS-antennens position från SWEREF 93 till det koordinatsystem som används. Dessutom skall givetvis fältdatorn ha funktioner som kan beräkna utstakningsdata i form av avstånd och riktning till en punkt och ett referenslinjeprogram som ger längs- och tvärmått till en linje. Vid utstakning av en linje försöker man hålla sig så nära den planerade linjen som möjligt, alltså så att tvärmåttet är i närheten av 0 (noll). När mätning görs i skog är man givetvis styrd av var någonstans det går att få positioner, med tanke på att träden många gånger hindrar sikten till tillräckligt antal satelliter; minst fyra stycken med bra inbördes geometri krävs ju för positionsbestämning. På grund av detta måste man då och då söka sig till öppnare platser, som ibland kan ligga relativt långt vid sidan av linjen. När position och nya referensmått erhållits på en sådan uppställning mäter man sig in till linjen med den längd som tvärmåttet anger och markerar med t.ex. läkt eller snitsel.

I en förstudie under vintern 1994 över hur metodiken skulle kunna användas stakades en 600 m lång linje ut i skog i närheten av Gävle. Linjen var redan upphuggen och genom att ett tjugotal läkter sattes ut och mättes in med totalstation kunde en jämförelse göras. GPS-mottagaren var en Ashtech Dimension (som inte har noggrann C/A-kodmätning) och datalänken bestod av mobiltelefon och telefonmodem uppkopplade mot SWEPOS-stationen i Märtsbo. Mobiltelefonlänken fungerade i detta område bra, vilket annars kan vara ett problem. De flesta läkten hamnade inom en meter på sidan av den befintliga linjen. Den största avvikelser i tvärled var ca 3 m, då positionen togs med den för dagen sämsta satellitgeometrin. I de flesta fall är detta givetvis för mycket, men försöket visade att tekniken kan användas t.ex. där breda rågångar skall röjas och stora markeringar anläggas. Vidare finns det numera GPS-mottagare med noggrann C/A-kodmätning, vilket förbättrar noggrannheten.

Den nybildade Färnebofjärdens nationalpark omfattar en del av den nedre delen av Dalälven. Lantmäterikontoret i Sala svarade för en del av fastighetsbildningen som innefattade utstakning av ca 65 km gräns, vilken genomfördes under vintern 1995. Gränserna skulle gå i områden utan stornät eller där det var långt till stompunkter och rågångarna skulle bli ungefär två meter breda. Gränserna tolkades till största delen i fält och fördes därefter över till flygbilder och kartor i skala 1:20 000 och koordinat-sattes till slut i RT 90 genom digitalisering. Ingen markering längs de nya gränssträckningarna utfördes innan mätningarna påbörjades. En inventering och utmärkning av befintliga gränser gjordes däremot.

1995-09-19

Vid planeringsmöten innan arbetets början diskuterades bl.a. förutsättningarna för gränsutstakningen. Man diskuterade vilka olika mätmetoder som var tänkbara med hänsyn främst till vegetationen, men även till vilken typ av fastighet som parken gränsade och att det var vinter med snö och kyla m.m.. I förutsättningarna ingick även att gränssträckningarna kunde ändras under arbetets gång, då det var naturvården som skulle styra. Därför fanns en sakkunnig från länsstyrelsens naturvårdsenhet med i fält i stort sett hela tiden.

DGPS-tekniken med mätning relativt en station i SWEPOS-nätet med Epos-tjänsten valdes i första hand. Som alternativ till DGPS, om den tekniken inte kunde användas på alla ställen, kunde stompunkter läggas ut med statisk eller snabb statisk mätning för vidare utstakning och inmätning med terrestra metoder. Planeringsarbetet inbegrep även en rekognosceringstur längs kritiska delar av gränsen för att testa satellittillgänglighet, radiomottagningsförhållanden och vilken typ av antenn som fungerade bäst till Epos-mottagaren. Ett första mål var att avverka 1 km per dag.

2.1 Genomförande

Arbetet började med utbildning av personal direkt på plats. Utrustningen bestod av en GPS-mottagare (Ashtech Z-12) som utförde DGPS-mätning med korrekationer mottagna via en Epos-mottagare och dess antenn. GPS-mottagaren bars i en väska på sidan och GPS-antennen var fastsatt högst uppe på en ryggsäck, se figur 1.2. Naturligare hade varit att ha GPS-mottagaren nere i ryggsäcken, men man ville i displayen kunna kontrollera vissa uppgifter om korrektionernas kvalitet, som man inte vid tiden för försöket kunde se i fältdatorn. Fältdatorn med prototypprogrammet AutoKa-FC/GPS var fastsatt på en magplatta och batterierna bars i ryggsäcken. Då det tidvis var kallt (ner mot 20 minusgrader) bars Epos-mottagaren innanför overallen. I utrustningen ingick även en teleskopstång för att kunna hissa upp Epos-mottagarens antenn och underlätta korrekionsmottagningen.

Gränspunkternas digitaliserade RT 90-koordinater hade förts över till fältdatorn före fältarbetet. Varje mätt GPS-position transformerades till RT 90 i fältdatorn. Innan positionerna registrerades kontrollerades kvaliteten genom PDOP för att se att det var god satellitgeometri och genom det förväntade medelfel som GPS-mottagaren kontinuerligt levererar. Ibland fick man stå still upp till fem minuter innan positionen registrerades för att det förväntade medelfelet skulle sjunka ordentligt, vilket indikerade att bärvägsunderstödet av kodmätningen hade kommit till sin fulla rätt och att effekterna av flervägsfel var små. Därefter beräknade fältdatorn längs- och tvärmått samt riktning till linjen. Med mätband och kompass märktes linjens sträckning och brytpunkterna ut. De nya brytpunkterna markerades med rör. Tvärmåttet fick inte vara för långt, helst under tio meter, eftersom riktningmätningen gjordes med kompass.

Optimalt bestod mätlaget i detta fall av fyra man, två som skötte mätningarna och två som röjde och märkte ut gränsen provisoriskt med snitslar och färg. Avståndet mellan varje utmärkt markering var 20-60 meter beroende på terräng och vegetation. Ett huggarlag på två till tre personer låg ca en kilometer efter och högg upp gränsen. Efter mätarbetet kompletterades gränsen med pålar, rösen, målning och skyltar. De nya gränspunkternas digitaliserade RT 90-koordinater (utstakningsdata) fungerade som slutliga koordinater. Det antal decimeter som dessa positioner avviker från de verkliga positioner där gränspunkterna med DGPS-tekniken hamnade, var för förrättnings-

1995-09-19

mannen och sakägarna noggrannhetsmässigt helt godtagbara. Någon ytterligare inmätning av punkterna gjordes alltså inte.

2.2 Resultat

Linjens raket kontrollerades hela tiden med vinkelprisma. Det var viktigt att med de fyra-fem första snitslarna få linjen så rak som möjligt. Ibland fick man gå tillbaka och justera. Genom att på detta sättet "såga" sig fram och utföra mätningarna med stor omsorg erhöles en linje som avvek åt endera hållet från den önskade raklinjen med maximalt 2-3 decimeter, vilket var fullt tillräckligt. Vid bra mätförhållanden blev linjen rak, alltså mycket små variationer i sidled.

Ett genomsnittligt dagsverke var en dryg kilometer utstakad gräns med rörmarkeringar i de nya brytpunkterna. Vissa dagar med skarsnö och goda mottagningsförhållanden för GPS- och radiosignaler avverkades drygt två kilometer.

De besvärligaste partierna var i 10-15 år gammal tät tallskog, där det var svårt att få bra positioner. För det mesta var det lättare att få kontakt med GPS-signalerna än med radiosignalerna för Epos-tjänsten. Ofta fick man "söka" med Epos-mottagarens antenn i handen för att få in signaler. DGPS-tekniken har dock kunnat användas nästan hela tiden. Knappt 2 av de 65 kilometrarna stakades med konventionell teknik.

2.3 Utvärdering

Utbildningen av personal direkt i fält var lyckad och antagligen det bästa sättet då tekniken var ny. Mätpersonalen var också motiverad att pröva på något nytt, vilket underlättade igångsättandet.

Erfarenheterna från mätningarna var att DGPS är mycket rationell för denna typ av mätning. Likvärdiga alternativ är svåra att hitta, inte minst ur ekonomisk synpunkt. Uppskattningsvis gick arbetet dubbelt så fort som med terrestra metoder. Erfarenheter från en liknande utstakning av Storblaikens domänreservat inom Lycksele lantmäteridistrikt talar om ännu större tidsvinst. I detta projekt som omfattade ca 80 brytpunkter över ett ungefär 10 gånger 30 km stort område monterades utrustningen på en snöskoter.

Om man antar att röjningen tar lika lång effektiv tid vare sig utstakning med DGPS eller traditionell instrumentutstakning används och att man har relativt fri sikt till minst fyra satelliter, bör följande "rationaliseringsvinster" kunna förväntas där DGPS kan användas för utstakning i skogsmark:

- Prismaföraren behövs inte (förutsätter att mät- och huggarlag ej utgörs av samma personer).
- Mätlag och röjlag blir inte beroende av varandra (väntetider o.dyl.).
- Det går fortare att staka ut med DGPS än med konventionellt instrument och det kräver inte lika mycket utrustning.
- Om inte utstakningen stämmer överens med sakägarens önskemål kan utstakningen göras om direkt utan att något onödigt röjningsarbete, som fördyrar förrättningen, behövs.

1995-09-19

Förbättringar kan framförallt göras på utrustningssidan. En kompaktare GPS-utrustning än den använda hade t.ex. varit att föredra, numera används t.ex. en lättare och strömsnålare GPS-mottagare som helt styrs från fältdatorn. Vidare vore det bra med en förbättrad utrustning för mottagningen av korrektionerna. Nya antenner till Epos-mottagaren har efter försöket provats med bättre resultat.

2.4 Råd

Linjeutstakning med DGPS-teknik innebär att linjen kan stakas ut innan definitiv markering görs. Om noggrannheten i positionsbestämningarna accepteras och markvärdena tillåter det kan även de definitiva markeringarna, som i det beskrivna fallet, anläggas och koordinatbestämmas direkt i samband med DGPS-mätningen. Ett annat sätt är att kombinera DGPS-mätning och någon form av statisk mätning, där den förra används för utstakningen och den senare mätmetoden används för den slutliga inmätningen av markeringarna.

Ett riktningsfel vid instrumentutstakning innebär att den utstakade linjens avvikelser från den tänkta linjens sträckning ökar med avståndet från första instrumentuppställningen. Vid utstakning med DGPS uppkommer inte detta fenomen då de utsatta punkterna är oberoende av varandra.

Vid användning av DGPS-mätning för denna och liknande tillämpningar kan generella råd sammanfattas i tre punkter:

1. Ett krav vid DGPS-mätning är att kommunikationen med referensstationen fungerar för överföringen av korrektionerna. Överföringen måste innehålla korrektioner för samtliga satelliter som man mäter mot, eller för åtminstone fyra (helst fem) av dem. Det är här viktigt att kontrollera att korrektionerna inte är för gamla, vilket uppkommer då tiden det tar för korrektionerna att föras över från referensstationen till GPS-mottagaren är för stor (äldre än ca 10 s). I sådana fall och då det är helt stopp i överföringen kan GPS-utrustningen använda sig av korrektioner som inte är aktuella och då ge dåliga positioner, vilket man bör ha uppsikt över.
2. Trots att det nu finns så många satelliter att positionsbestämning i princip är möjlig dygnet runt är det, särskilt när mätningarna skall göras i skog, ändå viktigt att före mätningen se efter vilka tider på dagen det finns tillräckligt antal satelliter över mätområdet. Vid mätning i skog bör man ha tillgång till minst fem satelliter, eftersom det är risk att träden skymmer en eller ett par satelliter. Satelliterna skall även ha en god inbördes geometri, vilket beskrivs av PDOP. Att PDOP är lågt (helst under ca 4) bör kontrolleras både före och under mätningen.
3. Man bör försäkra sig om att mätningarna är pålitliga, vilket i försöket gjordes med hjälp av det förväntade medelfel som GPS-mottagaren levererade. Man kan även få en uppfattning om detta genom att göra flera mätningar på samma ställe och se att positionen inte varierar allt för mycket.

1995-09-19

3. STAKNING AV ALTERNATIVA VÄGSTRÄCKNINGAR I ÖRKELLJUNGA

En tillämpning som liknar gränsutstakning är stakning av vägar. DGPS-tekniken kan här vara användbar vid t.ex. provstakning av olika alternativa sträckningar för bl.a. geotekniska undersökningar.

För att kunna göra geotekniska undersökningar längs delar av alternativa vägsträckningar av E4:an och RV24 förbi Örkelljunga önskade Vägverket få dessa delar stakade i november 1994. Noggrannhetsmässigt låg kraven på nivån 2-5 meter i plan, varför DGPS ansågs vara en lämplig teknik.

3.1 Genomförande

Två GPS-mottagare användes för stakningen av vägsträckningarna, där den ena etablerades som tillfällig referensstation på polygonpunkter i mätområdets omedelbara närhet. Denna tillfälliga referensstation sände via ett radiomodem ut korrektioner till den andra GPS-mottagaren som tog emot dessa med ett likadant radiomodem. Utrustningen bars i ryggsäck av en person tillsammans med en fältdator (Husky FS/2) med prototypprogrammet AutoKa-FC/GPS.

Fältdatorn försågs med koordinater i RT 90 2,5 gon V för punkter på var 20:e meter av de tänkta vägsträckningarna. Dessa punkter sattes sedan ut (på stora delar dock bara på var 40:e meter) med hjälp av uppsökningsfunktionen i fältdatorprogrammet. Med funktionen jämförs en mätt och korrigerad GPS-position som är transformerad till RT 90 2,5 gon V med den inlagda för den punkt som skall sättas ut. Funktionen anger avstånd och riktning till punkten, som sedan kan sättas ut med hjälp av mätband och kompass.

Mätförhållandena var relativt svåra, ganska tät och hög skog, framför allt barrträd. För bästa mottagning av korrektionerna skickades det mottagande radiomodemet upp med en 3,5 meter hög förlängningsstång.

För att få en kontroll på utsättningen mättes också varje punkt in i 30 sekunder. Beräkning skedde sedan i efterhand relativt SWEPOS-stationen i Hässleholm. En beräkning som, trots tvåfrekvensdata, inte borde ge bättre kvalitet än realtidsmätningen med DGPS, utan bara skulle fungera som en kontroll av grova fel.

3.2 Resultat

Efter en del initiala problem med utrustningen sattes ca 1,5 km vägsträckning ut per dag. Inga grova fel kunde hittas genom efterbearbetningen.

3.3 Utvärdering

Vägverket var mycket nöjt med utsättningen, både vad gäller noggrannheten och hastigheten. Ingenjörerna från Lantmäteriet som deltog vid mätningen bedömde att det skulle ta ca fyra gånger längre tid att göra utsättningen med totalstation.

I stället för radiomodemen hade förstas Epos-tjänsten kunnat användas som datalänk för korrektionerna, men Epos var bara i provdrift vid tiden för försöket. Försök gjordes dock att ändå använda Epos, men mottagningen var dålig, delvis beroende på en dålig

1995-09-19

antenn till Epos-mottagaren. Försök med andra och bättre antenner har sedan gjorts, men det finns fortfarande problem med mottagningen av korrektionerna via Epos i vissa områden.

3.4 Råd

Vid utsättning bör man försöka stå så nära punkten som möjligt. Ett fel på 2° i utgångsriktningen vid utsättning på ett avstånd av 50 meter ger ett fel i sidled på 1,7 meter.

Generella råd för DGPS-mätning i denna och liknande tillämpningar finns sammanfattade i kapitel 2.4.

1995-09-19

4. GRÄNSUTVISNING I STRÖMSUND

Då det råder osäkerhet om var gränser går och gränspunkter finns så kan dessa visas ut. Gränsutvisning skall dock inte förväxlas med gränsbestämning, som är en legal förrättningsåtgärd. Att på motsvarande sätt som att staka ut gränser med DGPS, kan tekniken även användas för att visa ut befintliga gränser.

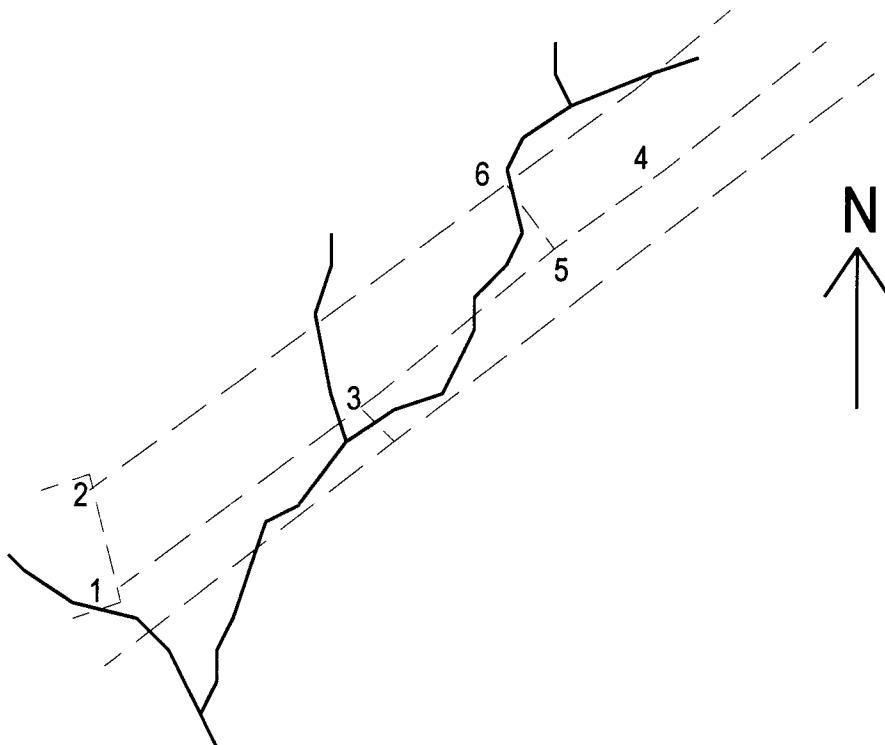
På några skogsfastigheter inom Strömsunds lantmäteridistrikt i Jämtland har fastighetsägarna låtit gränserna växa igen och helt förfalla. Skälet till detta verkar vara att den privata ägaren på den ena fastigheten och tjänstemannen på bolagsskogen på den andra fastigheten idkat någon form av samutnyttjande av skogen under några årtionden. Den nuvarande privata fastighetsägaren har tillsammans med skogsbolaget på grannfastigheten inte haft möjlighet att utreda gränssträckningen. Inägorna har hägnats in med gärdesgårdar och några hundratal meter markeras av stenröse (Holmgren, 1994).

4.1 Genomförande

Skogsbolaget önskade således att Lantmäteriet skulle visa ut gränserna. Båda parter fann det intressant att se hur GPS-tekniken skulle kunna användas för detta. Utvisningen av gränserna genomfördes i september 1994 med DGPS och den utrustning som användes utgjordes av två stycken GPS-mottagare (Ashtech Z-12), två radiomodem för lokal överföring av korrektioner samt en fältdator med AutoKa-FC/GPS kopplad till den i fält använda GPS-mottagaren. Den andra GPS-mottagaren placerades som tillfällig referensstation drygt 2 km från arbetsområdets ytterkant. Den i fält använda GPS-mottagaren användes för att ge positioner till fältdatorn, som därefter beräknade läget i förhållande till den gränslinje som skulle visas ut.

En rekognoscering för att finna kända punkter såsom råstenar, hävder och dylikt genomfördes innan instrumenten sattes i drift. Tre råstenar hittades varav två låg på den gräns som skulle visas ut. Dessa två råstenar (1 och 3) koordinatbestämdes med den bärbara GPS-utrustningen (figur 4.1). Trots att mätningen gjordes i skogsterräng var det inga problem att få signaler från tillräckligt många satelliter med god satellitgeometri samt korrektioner.

1995-09-19



Figur 4.1: Befintliga gränser som visades ut. Skala 1:13 000.

Därefter påbörjades sökning av fler markeringar längs gränsen genom att använda fältdatorns referenslinjeprogram, där råstenarna (1 och 3) användes för att definiera linjen. Utgående från råstenen (3) gick man i en extrapolerad riktning åt nordost och hittade efter ca 900 meter rester efter en gärdesgård och efter ca 1135 meter ytterligare en råsten (4). Den extrapolerade riktningen från råsten (3) pekade ca 10 meter sydost om råstenen (4). En ny referenslinje definierades mellan de två närmaste råstenarna (3 och 4) och sökandet efter en brytpunkt som skulle ligga ca 370 meter nordost om råstenen (4) fortsatte. Där kunde ingen sten hittas. Efter ca 5 timmars mätning utan batteribyte hade tre råstenar hittats på gränsen. Trots mycket tät granskog fungerade mätningen mycket bra.

Arbetet fortsatte nästa dag med att en referenslinje mellan råstenarna (3 och 4) definierades och gränsen började snitslas mot sydväst från råstenen (4). Skogsbolagets målning på träden stämde väl med den linje GPS-mätningen gav. Efter ca 200 meter svängde den målade gränsen dock kraftigt mot nordväst samtidigt som det var stor höjdskillnad. Efter knappt 400 meter från råstenen (4) hittades ytterligare en råsten (5), som markerade en tvärgående gräns i riktning sydost/nordväst för den privata fastigheten. Råstenen (5) låg ca 2 meter nordväst om den definierade linjen, vilket innebar att en ny linje måste definieras mellan råstenarna (5 och 4) och en justering av snitslingen utfördes. Arbetet avslutades med att visa ut den tvärgräns som gick från råstenen (5). I ägostyckningshandlingen fanns ett mått på 36 meter från vägen angivet men där hittades ingen råsten (6). Denna punkt (6) föranleder en gränsbestämningsåtgärd för att få legal status. Förrättningen i form av gränsbestämning kan begäras av sakägarna i ett senare skede. Trots mycket tät skog kunde punkten (6) mätas in och en ny linje mot råstenen (5) definierades. Denna tvärgående gräns går genom mycket tät

1995-09-19

skog där inga GPS-signaler kunde erhållas, varför linjen fick snitslas på var sida om en intilliggande väg.

4.2 Resultat

Sammanfattningsvis kan konstateras att i detta fall fungerade kodmätning med användning av en tillfällig referensstation mycket bra. Telemetrilänken fungerar bra upp till ett avstånd på ca 2-2,3 km i denna terräng med tät granskog. Det medger en arbetsyta på ca 16 kvadratkilometer runt referensstationen.

Med denna typ av GPS-mottagare är medelfelet i den plana positionsbestämningen under 1 m, vilket är tillräckligt för många tillämpningar. Under förutsättning att man hittar utgångspunkter i form av råstenar, diken, pålar eller andra hävder bör man klara att markera, t.ex. med snitsel, 2-5 km per dag.

4.3 Utvärdering

Det bör påpekas att den tillfälliga referensstationen koordinatbestämde enbart relativt satelliterna med absolut kodmätning och alltså inte relativt någon känd punkt, vilket innebar ett medelfel i plan för positionsbestämningen på 50 - 100 m. De hävder i form av råstenar, gärdesgårdar och dylikt man mätte in med DGPS relativt referensstationen erhöll dock den betydligt bättre noggrannhetsnivån på under metern relativt denna. Man kan säga att de inmätta hävderna utgjorde referenssystem i detta fall. Dessutom tjänades ungefär en arbetsdag in därför att referensstationens läge inte behövde beräknas relativt någon känd punkt, t.ex. en fast referensstation.

4.4 Råd

Försöket visade att det går bra att visa ut gränser utan att från början ha några som helst koordinater på de punkter som definierade gränserna (referensstationen hade inte heller några koordinater utan fick det genom absolut kodmätning). Detta förutsatt att man kan hitta ett par punkter i terrängen utgående från det kartmaterial man har. Finns det koordinater använder man förstås dessa. Koordinaterna måste då vara i ungefär samma koordinatsystem som de som GPS-mätningen ger. Koordinater på punkter kan också erhållas genom digitalisering. I detta sammanhang kan en metod med digitalisering i okänd skala och koordinatsystem samt inpassning på "terrängen" användas. Denna metod beskrivs närmare i ett i kapitel 6 beskrivet gränsuppsökningsförsök. Man bör också tänka på att försöka arbeta mellan de två punkter som definierar linjen. När man går förbi en av dessa punkter extrapoleras riktningen, vilket innebär att det kan "peka fel".

Generella råd för DGPS-mätning i denna och liknande tillämpningar finns sammanfattade i kapitel 2.4.

1995-09-19

5. INSTRUMENTUTSTAKNING FRÅN GPS-BESTÄMDA UTGÅNGSPUNKTER I KÅBDALIS

Ett sätt att använda GPS-tekniken är att med GPS koordinatbestämma utgångspunkter, som används för utstakning, röjning och inmätning med terrestra metoder. Tillfälliga punkter GPS-bestäms i gränsens ändpunkter och eventuellt även längs gränsen. Från dessa mäter man sedan in gränsen eller tar ut riktningar för utstakning och röjning. Ytterligare punkter kan mätas in terrestert från de GPS-bestämda punkterna för att underlätta arbetet. Om inmätningen görs i ett lokalt koordinatsystem, i form av t.ex. ett polygontåg, kan också GPS-punkterna användas för anslutning av tåget samt inpassning i t.ex. RT 90.

Ett annat sätt är att tolka gränsens läge grafiskt ur olika kartmaterial, t.ex. ortofotokartor, ekonomiska kartor och äldre förrättningskartor. Tolkningen ger, ev. efter transformation, koordinater i RT 90 och gränsen kan instrumentutstakas genom utsättning från GPS-bestämda punkter, som redovisats i RT 90. Dessa punkter kan anläggas som parpunkter i gränsens ena ände för att få riktning vid instrumentutstakningen. Sådana parpunkter kan givetvis också användas vid inmätning av gränsen.

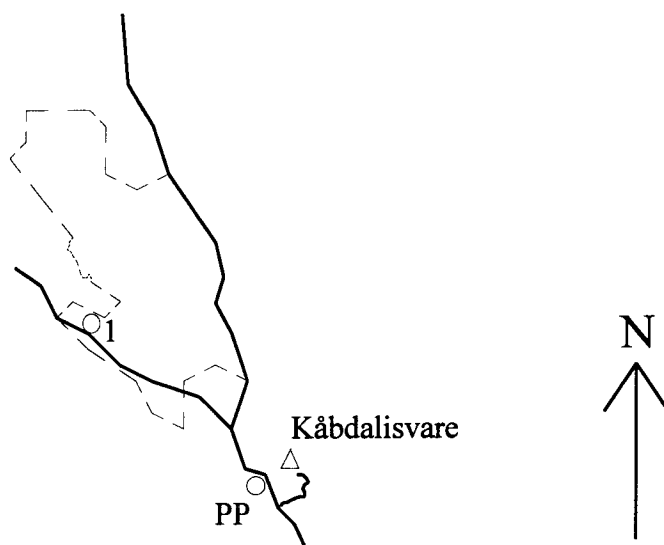
Genom att med GPS bestämma ett antal utgångs- och kontrollpunkter vid en gräns kan man alltså undvika att med konventionella metoder rekognoscera, markera och mäta långa tåg till och i gränsområdet, för att få tillgång till kända punkter för det egentliga gränsarbetet.

Ungefär 5 mil söder om Jokkmokk i Norrbottens län ligger Kåbdalis. Här skulle en större avstyckning av ett ca 7000 ha stort fritids- och rekreationsområde vid Kronogård göras. Gränserna sammanföll på stora delar med befintliga eller naturliga gränser, men det fanns också delar som skulle nymarkeras. Efter att de nya gränspunkterna hade markerats utifrån ett kartmaterial var nu uppgiften att mäta in dessa så att gränserna mellan markeringarna kunde huggas upp med hjälp av instrumentutstakning.

5.1 Genomförande

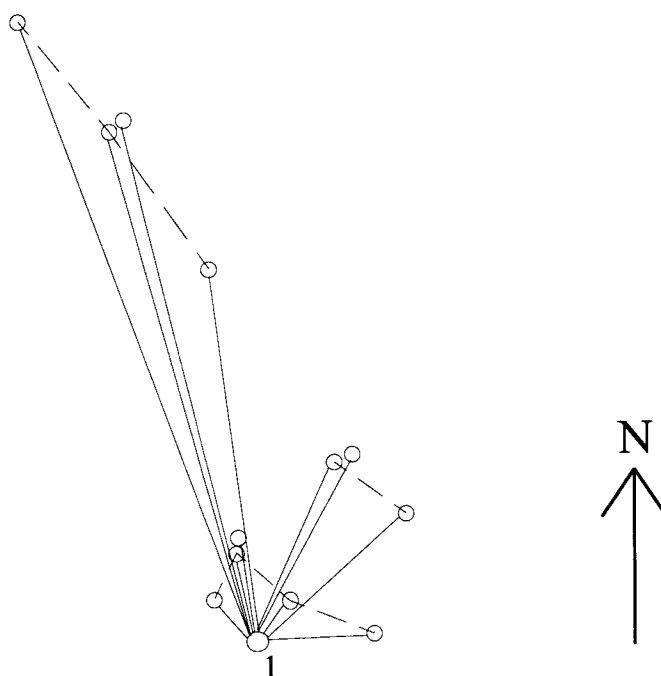
För att kunna genomföra röjningen av de nymarkerade delarna behövde utgångspunkter mätas in. Då området saknade stornät användes GPS och närliggande triangelpunkter, som dock var tämligen svårtillgängliga. Mätningarna genomfördes i september 1993. Då det endast fanns två GPS-mottagare (tvåfrekvensmottagare användes) till förfogande mättes först en nymarkerad och lättåtkomlig punkt (punkt 1) in med statisk mätning, vilket skedde relativt triangelpunkten Kåbdalisvare (Δ). För kontroll mättes punkt 1 även in relativt en av Vägverkets GPS-bestämda polygonpunkter (PP). Se figur 5.1.

1995-09-19



Figur 5.1: Området som skulle avstyckas utanför Kåbdalis. Skala 1:400 000.

Punkt 1 fungerade sedan som tillfällig referensstation i och med att en GPS-mottagare var placerad på stativ över punkten under hela mättiden. Den andra GPS-mottagaren bars mellan de nypunkter som skulle mätas in. På nypunkterna användes också stativ och mättiden per punkt var 15-20 minuter, vilket gott och väl skulle räcka för snabb statisk mätning (figur 5.2). Nypunkterna var både gränsrör och tillfälligt markerade punkter ämnade för utgångsriktningar för instrumentutstakningen.



Figur 5.2: Nypunkterna (både gränsrör och tillfälligt markerade punkter) vid de ny-markerade delarna av gränsen (streckade linjer) mättes med snabb statisk mätning (heldragen linje) relativt punkt 1. Skala 1:90 000.

1995-09-19

Beräkningen skedde i två steg. Först användes den beräknade baslinjen mellan triangelpunkten Kåbdalisvare och punkt 1 för att få koordinater på den senare. Dessa användes sedan för att beräkna baslinjerna från punkt 1 ut till nypunkterna. De slutliga koordinaterna transformerades avslutningsvis till RT 90 2,5 gon O.

Med koordinaterna som utgångsdata kunde gatorna mellan de nya gränsrören (upp till två km långa) huggas upp med hjälp av totalstation.

5.2 Resultat

GPS-beräkningen resulterade i fixlösningar för samtliga baslinjer, vilket medförde centimeternoggrannhet. Röjningen lyckades så tillvida att nästföljande gränsrör "prickades" inom någon decimeter.

5.3 Utvärdering

GPS-mätningen blev både fysiskt krävande och tidskrävande i och med att utrustningen fick bäras långa sträckor i den delvis väglösa terrängen. Detta faktum innebar också att terrester mätning hade blivit *mycket* omfattande. Inmätningen av nypunkterna genomfördes av diverse orsaker som "polär" mätning utan överbestämning. Noggrannhetsmässigt är det i detta fall fullt tillräckligt, men då man inte har någon kontroll annat än beräkningsprogrammets noggrannhetsangivelser är dessa extra viktiga. Mättiderna var även väl tilltagna och samtliga punkter tämligen goda ur mätsynpunkt, med låg och gles tallskog.

Ingenjörerna som utförde GPS-mätningarna påpekade att planeringen av mätningarna är viktig samt att tidsvinster i detta fall hade kunnat göras om mätningarna hade utförts under snöskotersäsongen (Isaksson, 1994). Mätning under vintern hade dock försvårat hittandet av markeringarna, som alltså redan var utlagda då GPS kom in i planeringen. Om GPS hade kommit in tidigare hade ytterligare tidsvinster kunnat göras. Förrättningen blev nu väldigt utdragen i tiden och problem uppkom också med att hitta markeringarna då dessa kunde ligga 100 meter från på kartan angivet läge, vilket dock inte spelade någon roll för just denna förrättning. En extra svårfunnen punkt var t.ex. markerad vid fel sjö! Denna punkt var det dock nödvändigt att flytta.

5.4 Råd

I förrättningsproduktionen har GPS använts i flera år för att anlägga utgångspunkter för instrumentutstakning och röjning samt för koordinatbestämning av flygsignalerade brytpunkter i skog och fjällområden (Ståhl, 1992; Hamrin, 1993; Isaksson, 1994). Det rör sig här om markering, mätning och röjning av många och långa gränser. Att använda traditionella metoder innebär ofta att arbetet blir enormt tidskrävande och besvärligt.

Vid dessa arbeten har statisk bärvågsmätning relativt tillfälliga referensstationer (triangelpunkter) oftast använts. Beräkningar relativt fasta referensstationer i SWEPOS-nätet har också utförts. Några erfarenheter från denna typ av jobb är:

- Använd parpunkter med väl tilltagna mellanrum, vilka anläggs med GPS-teknik i gränsens ena eller båda ändar för att få riktningar för utstakning, röjning och

1995-09-19

inmätning. Om det vegetationsmässigt är möjligt att mäta in själva gränsröret med GPS så utgör det ena punkten, annars anläggs parpunkterna så att gränsröret kan mätas in.

- Beroende på skogens täthet kan master behöva användas om man inte väljer att röja kring GPS-punkterna. Ibland kan både master och röjning behövas.
- För att arbetet inte skall ta för lång tid bör man vid gränser som är längre än ca 2 km även lägga ut GPS-punkter på halva sträckan för att kunna kontrollera utstakningen.
- Vid längre sträckor bör tvångscentrering användas vid instrumentstakningen.
- SWEPOS-stationer kan i många fall användas som referenspunkter vid GPS-mätningen. Då "vinner" man en GPS-mottagare och en triangelpunkt.

1995-09-19

6. GRÄNSUPPSÖKNING I SÖDERHAMN

Att söka upp punkter (t.ex. gränspunkter) är en tillämpning som DGPS passar utmärkt till, då man i realtid snabbt kan få positioner med tillräcklig noggrannhet (meternoggrannhet). De sökta positionerna finns vid uppsökning lagrade i en fältdator som x , y i RT 90 (och ev. höjd i RH 70). När man mätt in den punkt man står på transformeras den till RT 90/RH 70. Den mätta positionen jämförs med den för den sökta punkten och avstånd och riktning till den erhålls. Sedan är det bara att närma sig punkten med hjälp av kompass och stegning. När man mätt fler än en punkt skulle man även kunna få den sökta punktens läge i förhållande till den referenslinje som bildas mellan de två senast mätta punkterna. Dessa mått (a och b) anges som den sökta punktens läge längs resp. tvärs referenslinjen, se figur 6.1.



Figur 6.1: Uppsökning av punkten P med polära och ortogonala mått.

Problem uppstår förstås om man ej har koordinater på de punkter man vill uppsöka. Ett försök där noggranna koordinater för gränspunkter erhöles på ett lite udda sätt (via en laga skiftes-karta) har genomförts.

I Styfje strax norr om Söderhamn har personal från Bollnäs lantmäteridistrikt (X2) letat upp och signalerat gränser i samband med flygsignalering. Ett antal gränspunkter (både funna och ej funna) skulle uppsökas i detta område.

6.1 Genomförande

Arbetet genomfördes i maj 1993 och bestod av fyra olika delar. Dessa var digitalisering av passpunkter och gränspunkter i laga skiftes-kartan, inmätning med GPS av passpunkter i RT 90, transformation av gränspunkterna samt uppsökning. Digitaliseringen gjordes på kontoret i AutoKa-PC medan resten gjordes direkt i fält med GPS- och fältdatorutrustningarna. Utrustningarna bestod av GPS-sensorn Ashtech Dimension kopplad till fältdatorn Husky FS/2 med prototypprogrammet AutoKa-FC/GPS, vilken har en funktion för uppsökning.

6.1.1 Digitalisering

Punkter på gamla gränser digitaliserades i AutoKa-PC från laga skiftes-kartan från 1800-talet. Svårigheten med digitaliseringen var att kartan saknade rutnät, stornät och dylikt. Ett löst rutnät användes för digitaliseringen och skalan angavs till ca 1:4000, som dock inte var rätt. Proportionerna mellan de digitaliserade punkterna var i alla fall bra.

1995-09-19

Resultatet blev en karta i ungefärlig skala 1:3900 -1:4000 med 46 digitaliserade och kodade gränspunkter och andra detaljer man trodde sig kunna återfinna i terrängen. Arbetet tog ca en halv dag att utföra. Se figur 6.2.

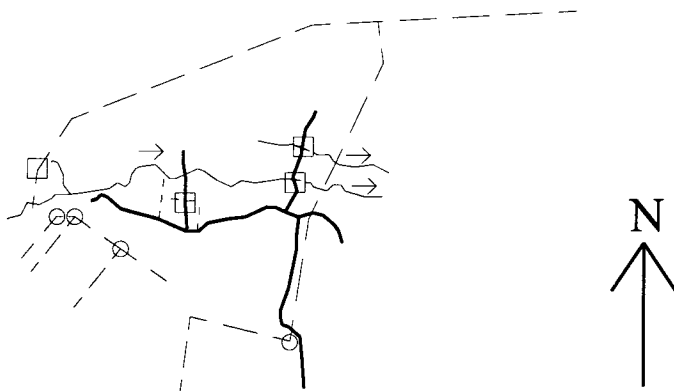
De digitaliserade gränspunkterna tankades över från AutoKa-PC till fältdatorn och lagrades där i en koordinatfil.

6.1.2 Inmätning av passpunkter

Det egentliga fältarbetet började med att med hjälp av laga skiftes-kartan, en äldre ekonomisk karta och den nya gula kartan hitta ett antal av de digitaliserade punkterna, vilka kunde användas som passpunkter för att beräkna transformationsparametrarna. Punkter (4-5 st) som omgav området eftersträvades. Det lyckades dock inte beroende på alltför tät skog i områdets södra delar. Fyra passpunkter i relativt öppen terräng hittades dock; två stycken i den östra delen, en mitt i området och en längst i väster. Tyvärr blev konfigurationen inte den bästa, jämför med figur 6.2.

Passpunkterna mättes med differentiell GPS och registrerades efter transformation i fältdatorn som x, y och höjd i RT 90/RH 70. Mättiden på varje punkt var i detta försök ca två minuter. Korrektionerna för DGPS-mätningen mottogs med en mobiltelefon NMT 450 med telefonmodem, vilken kopplades upp mot SWEPOS-stationen i Märtsbo.

GPS-sensorn fästes på en kort prismastav som satt fast på en ryggsäck. I ryggsäcken fanns batteri (vanligt uppladdningsbart instrumentbatteri) och telefonutrustning. Ryggsäcken bar man på ryggen och i handen höll man fältdatorn.



Figur 6.2: Digitaliserad karta över försöksområdet utanför Söderhamn. Skala 1:25 000.

□ = Punkter som användes för beräkning av transformationsparametrarna.
o = Gränspunkter som söktes upp.

6.1.3 Transformation

Med hjälp av de fyra GPS-inmätta punkterna och samma punkter från digitaliseringen beräknades transformationsparametrarna och alla 46 gränspunkterna kunde transformeras till RT 90. Transformationen gjordes direkt i fält i fältdatorn enligt Helmert så att de digitaliserade punkterna kunde skalförändras.

1995-09-19

6.1.4 Uppsökning av gränspunkter

Fyra punkter valdes ut att söka upp. Tre av dessa fanns i kanten på ett hygge och den fjärde inne i skogen, se figur 6.2.

Uppsökningsfunktionen i fältdatorn gav avstånd och riktning från mätt position till den aktuella gränspunkten. Kompass och stegning användes sedan för att söka sig fram mot punkterna med uppdatering av positionen med jämna mellanrum.

6.2 Resultat

Helmerttransformationen tog ca 20 sekunder. Grundmedelfelet för transformationen blev 1,496 m, vridningen -564,2 mgon och skalan 5916 ppm (5,9 m per km).

Uppsökningarna gick bra. Alla fyra punkterna återfanns med 2-3 meters avvikelse. Den första punkten var svårfunnen och hade tidigare inte hittats. Det gick också bra att göra mätningar i skogen. Vid mätning i skog kan man annars söka sig till öppnare platser, göra mätningen där och ta ut riktning och avstånd till den sökta punkten. För att få en jämförelse mellan uppsökt och inmätt punkt prövades det att mäta in den sist uppsökta punkten. Detta misslyckades dock på grund av att mobiltelefonens batteri då var nästan tomt.

6.3 Utvärdering

Ingenjören från X2 var imponerad av metoden, men påpekade att främst telefonutrustningen inte var fältmässig, framför allt inte vintertid. Vid tiden för försöket fanns inte Epos-tjänsten för utsändning av korrekationer.

Metodikmässigt så finns det en initialkostnad för digitalisering (en halv dag i detta fall) och inpassning i terrängen. Därför bör det nog vara ett antal gränspunkter inom ett och samma område som skall uppsökas för att metoden skall vara effektiv och konkurrenskraftig.

6.4 Råd

En förutsättning för att använda denna metod, med mätning i äldre kartmaterial, för uppsökning med DGPS är att det fortfarande finns kvar detaljer (både naturliga detaljer och gränspunkter kan användas) som kan användas som passpunkter vid transformationen. Laga skiftes-kartan valdes därför att gränser m.m. antogs vara bättre lägesredovisade där än i ekonomiska kartan.

Digitaliseringen underlättas om den som digitaliserar också är van att arbeta med äldre kartor och gränsuppsökning.

Generella råd för DGPS-mätning i denna och liknande tillämpningar finns sammanfattade i kapitel 2.4.

1995-09-19

7. INPASSNING AV LOKALT STOMNÄT I RT 90 I HOLMSVEDEN

I samband med digital karthantering och bebyggelsestillväxt är områden med stomnät i lokala koordinatsystem (typ 1000/1000-system), andra oanslutna eller dåligt anslutna nät och s.k. specialbladsområden ett problem. Att föra över stomnätet, och de mot detta utförda detalj- och förrättningsmätningarna, till RT 90 är ofta önskvärt, men kostsamt. Med GPS kan ett antal av stomnätets punkter koordinatbestämmas i RT 90 och ett transformationssamband mellan systemen kan tas fram. Samtliga punkter kan därefter transformeras över till RT 90.

För att belysa tekniken valdes ett specialblad över Holmsveden inom Bollnäs lantmäteridistrikt (X2) ut. Ett enkelt sätt att ansluta ett sådant här område är förstås genom grafisk anslutning mot kartdetaljer, men försöket var också ämnat att beskriva en teknik för att GPS-ansluta lokala stomnät.

Specialbladet är ritat i skala 1:2000 i RT 38 2,5 gon V. Bladet har digitaliserats i detta system med den noggrannhet digitalisering ger. I området har även mätning i samband med fastighetsbildning utförts av Söderhamns kommun. Dessa mätningar är via polygontåg anslutna till riksnätet i plan. På detta sätt har kommunen skaffat sig akter och byggt upp en punktbas vilka ligger i RT R10 2,5 gon V.

7.1 Genomförande

Det digitaliserade specialbladet har sedan tidigare transformerats till RT R10 2,5 gon V. Detta genom att 12 gemensamma passpunkter (gränspunkter) i specialbladet och Söderhamns kommuns punktbas definierat en Helmertinpassning. Inpassningen gav ett grundmedelfel på 0,585 m och ett maximalt radiellt inpassningsfel på 1,145 m.

I försöket som genomfördes i juni 1993 avsågs att med GPS-mätning bestämma ett antal av specialbladets gränspunkter i RT R10 (efter transformation från RT 90). Detta för att kunna definiera en inpassning av det i RT 38 digitaliserade specialbladet till RT R10. Då en inpassning redan var definierad enligt Söderhamns punktbas kunde man med rådande förutsättningar i detta försök jämföra de båda metoderna.

Inom specialbladet GPS-bestämdes fem passpunkter. Av dessa sammanföll fyra med och en låg i närheten av passpunkter som användes för att bestämma sambandet till Söderhamns punktbas. Punkterna behövde inte bestämmas med stomnätskvalitet (HMK-Ge:GPS, 1993), då kraven på noggrannhet och framförallt tillförlitlighet i punktbestämningen inte var lika stora som vid stommätning, så GPS användes på ett enklare sätt. Den centralt belägna punkten 1 bestämdes med relativ bärvågsmätning mot SWEPOS-stationerna i Mårtsbo och Leksand.

1995-09-19

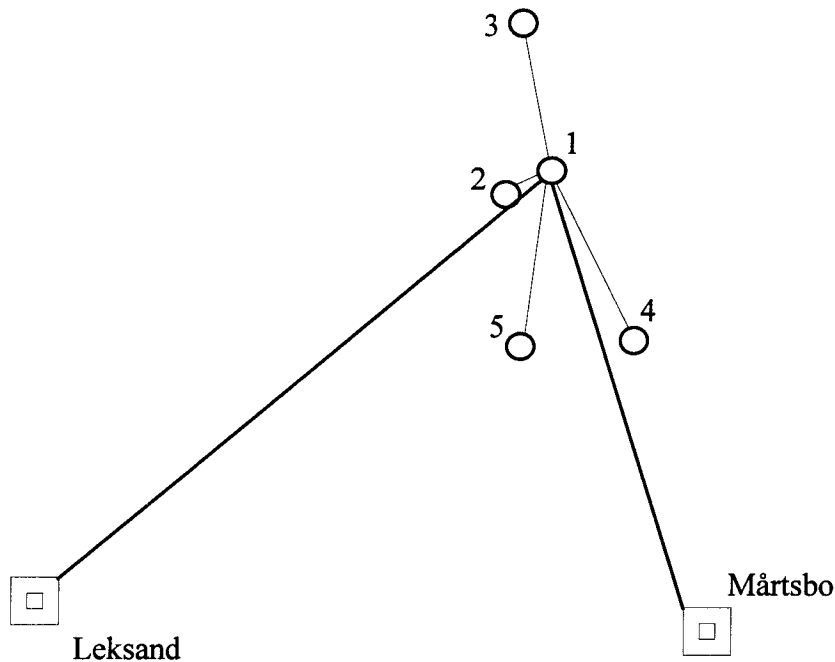


Figur 7.1: Holmsveden, med de fem GPS bestämda passpunkterna. Skala 1:15 000.

GPS-mottagaren som användes på punkt 1 var en Ashtech P-12, vilken kan mäta på både L1- och L2-frekvensen, och mätningen pågick under en längre tidsperiod (över en och en halv timme). Data från fält och från referensstationerna kombinerades i Ashtechs PC-beräkningsprogram GPPS, vilket ledde till att koordinater för punkt 1 kunde räknas fram relativt Mårtsbo respektive Leksand (se figur 7.2). Då avståndet till Holmsveden är betydligt kortare från Mårtsbo än från Leksand (6,5 resp. 11 mil) användes beräkningen relativt Leksand endast som en kontroll (se tabell 7.1). Koordinaterna erhöles i den försöksversion av SWEREF 93 som fanns vid tiden för försöket. Efter försöket har det studerats mer hur en anslutning mot fasta referensstationer bäst utförs (Norin, 1994; Jivall, 1994). Dessa studier har lett fram till råd för hur man kan ansluta förrättningsmätningar med GPS till såväl fasta referensstationer som stompunkter, vilka finns utförligt beskrivna i kapitel 8.

Under tiden som GPS-mottagaren stod uppställd över punkt 1 mättes övriga fyra punkter (punkt 2-5) in relativt denna (figur 7.2). Metoden kan benämnas polär mätning (HMK-Ge:GPS, 1993).

1995-09-19



Figur 7.2: Schematiskt förfarande för GPS-mätningen. Punkt 1 var bestyckad med en tvåfrekvensmottagare och mättes in relativt de fasta referensstationerna i Mårtsbo och Leksand. Samtidigt mättes punkt 2-5 in relativt punkt 1. På Punkt 2-5 användes både en tvåfrekvensmottagare och en enfrekvensmottagare.

Inmätningen av punkt 2-5 gjordes med två olika typer av GPS-mottagare, dels med samma modell som stod uppställd över punkt 1 (P-12) och dels med en enklare (och billigare) mottagare som bara kan mäta på L1-frekvensen kallad Ashtech Dimension. Med P-12:an utfördes snabb statisk mätning, vilken medger att baslinjer upp till ca 15 km kan bestämmas med stornätskvalitet med mättider under 15 minuter. I detta fall pågick mätning i ca 12 minuter på varje punkt och observationsintervallet var satt till 5 sekunder. Dimensionmottagaren stod uppställd i 20-30 minuter på varje punkt. Observationsintervallet var här 15 sekunder för punkt 2 och av misstag 20 sekunder för övriga punkter. Allmänt om punkterna kan sägas att sikten mot satelliterna var god utom för punkt 3 som låg under en stor tall.

SWEREF 93-koordinater för punkt 2-5 beräknades genom att mätdata från dels snabb statisk mätning (P-12:an) och dels enfrekvensmätning (Dimensionmottagaren) kombinerades med mätdata från P-12:an på punkt 1. För de fasta koordinaterna på punkt 1 användes resultatet av den ovan beskrivna beräkningen av punkt 1. Efter beräkningen transformerades samtliga punkter från SWEREF 93 till RT 90 med det försöksförfarande för transformationen som fanns vid tiden för försöket.

För att kunna jämföra koordinaterna med Söderhamns punktbas räknades de slutliga RT 90-koordinaterna även om till RT R10 2,5 gon V.

Ett Helmertinpassningssamband mellan det digitaliserade specialbladet och RT R10 bestämdes slutligen med de fem GPS-bestämda punkterna som passpunkter.

1995-09-19

7.2 Resultat

Tabell 7.1 visar resultatet av GPS-bestämningen av den centralt belägna punkt 1, dels bestämd relativt den fasta referensstationen i Mårtsbo och dels relativt den i Leksand. CONTRAST-värdet för bestämningen relativt Mårtsbo blev 100,00 % och relativt Leksand 98,84 %. CONTRAST-värdet anger med vilken säkerhet periodobekanta är fixerade och bör vara över 95 %. I det fortsatta arbetet har endast bestämningen relativt Mårtsbo använts. Observera att förfarandet inte sammanfaller med de råd för anslutning av förrättningsmätningar till fasta referensstationer som numera finns (se kapitel 8.1).

	φ	λ	h
1 (Mårtsbo)	61°07'02",09775	16°43'15",15922	116,515 m
1 (Leksand)	61°07'02",09799	16°43'15",16758	116,402 m
Skillnad	0",00024=0,007 m	0",00836=0,125 m	-0,113 m

Tabell 7.1: SWEREF 93-koordinater beräknade relativt de fasta referensstationerna i Mårtsbo och Leksand.

Med punkt 1 (beräknad relativt Mårtsbo) som tillfällig referensstation bestämdes övriga punkter i SWEREF 93 med snabb statisk mätning (P-12-mottagare) och enfrekvensmätning (Dimensionmottagare). Samtliga punkter transformerades till RT 90/RH 70 (se tabell 7.2-7.3).

(m)	x	y	H	CONTRAST (%)
1	6778273,528	1549366,694	83,771	
2	6778201,638	1549303,325	90,987	99,91
3	6778465,388	1549279,174	86,731	99,99
4	6777924,265	1549552,202	91,706	100,00
5	6777890,576	1549347,744	97,793	99,97

Tabell 7.2: GPS-bestämda RT 90-koordinater (och RH 70-höjder) beräknade med snabb statisk mätning.

(m)	Δx	Δy	ΔH	CONTRAST (%)
2	-0,014	0,012	-0,068	99,83
3	-0,107	-0,025	0,016	85,87
4	0,009	0,006	0,013	100,00
5	-0,003	0,007	-0,031	99,83

Tabell 7.3: Skillnader mellan GPS-bestämda RT 90-koordinater (och RH 70-höjder) beräknade med enfrekvensmätning från Dimensionmottagare och beräknade med snabb statisk mätning.

Koordinater enligt Söderhamns kommuns punktbas i RT R10 2,5 gon V presenteras i tabell 7.4. En jämförelse mellan dessa och GPS-bestämda koordinater görs i tabell 7.5.

1995-09-19

(m)	x	y
1	6778273,520	1549366,550
2	6778201,730	1549303,140
3	6778465,430	1549278,980
4	6777924,340	1549551,970
5	6777890,660	1549347,580

Tabell 7.4: Koordinater i RT R10 2,5 gon V enligt Söderhamns kommuns punktbas.

(m)	Δx	Δy
1	-0,026	0,045
2	0,074	0,004
3	0,024	-0,006
4	0,057	-0,043
5	0,065	0,025

Tabell 7.5: Skillnader mellan koordinater enligt Söderhamns kommuns punktbas och GPS-bestämde koordinater. Punkt 1 är GPS-bestämd relativt Mårtsbo och punkt 2-5 är GPS-bestämde med snabb statisk mätning. Jämförelsen är gjord i RT R10 2,5 gon V.

I specialbladet digitaliserade koordinater i RT 38 2,5 gon V finns i tabell 7.6.

(m)	x	y
1	6778269,231	1549358,558
2	6778196,317	1549294,943
3	6778460,290	1549270,557
4	6777920,143	1549546,153
5	6777883,439	1549340,930

Tabell 7.6: Digitaliserade koordinater i RT 38 2,5 gon V.

Den sedan tidigare via 12 passpunkter bestämda Helmertinpassningen av i RT 38 digitaliserade koordinater (tabell 7.6) på RT R10-koordinater i Söderhamns kommuns punktbas (tabell 7.4) gav följande resultat:

Grundmedelfel: 0,585 m

Skala: 0,9966301

Maximalt radiellt passfel: 1,145 m

Helmertinpassningen av de i RT 38 digitaliserade koordinaterna (tabell 7.6) på de fem i RT R10 GPS-bestämde passpunkterna gav följande resultat:

Grundmedelfel: 0,722 m

Skala: 0,9971219

Maximalt radiellt passfel: 1,129 m

1995-09-19

7.3 Utvärdering

Om man inte som under försöket testat olika GPS-mottagare och metoder tar själva mätningen för att bestämma fem punkter drygt två timmar. Annat antal än fem kan självklart vara lämpligt beroende på förutsättningarna. För beräkningen testades också en del varianter. Att komma ner på en acceptabel tid på ett par timmar för denna är dock möjligt. För detta krävs dock att hantering av data från fält och referensstationer samt användning av olika program förenklas och effektiviseras, vilket också har skett sedan tiden för försöket.

Noggrannhetsmässigt gav snabb statisk mätning och enfrekvensmätning med Dimensionmottagaren till stor del likvärdiga resultat (tabell 7.3). Det skall sägas att Dimensionmottagaren var 2-3 gånger billigare än en P-12-mottagare. Klart störst radiell skillnad hade punkt 3 med 0,110 m. Beräkningen av enfrekvensmätningen hade här lite problem (indikerat av lågt CONTRAST-värde) p.g.a. punktens belägenhet under en stor tall. Kvaliteten i Söderhamns kommuns punktbas var god, då överensstämmelsen med GPS-bestämda koordinater var mycket bra (tabell 7.5). Detta ledde till att den sedan tidigare och den i försöket framtagna inpassningen blev likvärdiga.

7.4 Råd

I försöket har RT 90-koordinater förts in via mätning relativt fasta referensstationer. Man kan naturligtvis också tänka sig att man relaterar mätningarna (på en eller flera punkter) till närliggande stompunkt(-er) om sådan(-a) finns, men detta blir mer tidskrävande i fält.

Den snabb statiska mätningen har i försöket utförts utan överbestämningar relativt en tillfällig referensstation. För att kunna kontrollera mätningarna är därför beräkningsprogrammets noggrannhetsangivelser extra viktiga. För att öka kontrollerbarheten kan man mäta baslinjerna två gånger. Om resurser finns skulle även ett mätförfarande med två tillfälliga referensstationer kunna användas.

För en mindre noggrann anslutning än den i försöket kan alla passpunkter bestämmas med endast en GPS-mottagare relativt fasta referensstationer, vilket ger en punktbestämning med decimeternoggrannhet (Norin, 1994). Man skulle t.o.m. kunna tänka sig relativ kodmätning med meternoggrannhet. Geometrin i det lokala stomnätet eller specialbladet är normalt i sådana fall bättre än i GPS-mätningarna, varför en unitär inpassning (utan skalförändring) rekommenderas i dessa fall. Även i många andra fall är en unitär inpassning att föredra då man vill behålla det ursprungliga nätets geometri. Med en Helmertinpassning får man dessutom förändringar av arealer m.m..

Man skall också tänka på att få en god spridning av passpunkterna och undvika att de ligger på linje, vilket kan vara problematiskt vid långsträckta nät. Punkterna bör också vara sådana som man bedömer har varit stabila.

Om man för anslutningsmätning i ett område liknande det i försöket väljer mellan terrester mätning och GPS-mätning är GPS-mätning tidsmässigt att föredra. En blandning av GPS-mätning och terrester mätning är självklart möjlig. I vilken omfattning och med vilken noggrannhet GPS-mätning bör ske bedöms från fall till fall.

När man skall ansluta lokala nät bör man tänka på om man har närliggande nät man önskar god överensstämmelse med och hur mätning i så fall genomförs.

1995-09-19

8. RÅD FÖR GPS-ANSLUTNING AV FÖRRÄTTNINGSMÄTNINGAR







Nedan ges råd för GPS-anslutning av förrättningsmätningar till riksnätet eller stomnät som är anslutet till riksnätet. I HMK-Ge:GPS finns råd utarbetade för stommätning med GPS. Nedanstående råd bygger på råden i HMK, men har anpassats till förrättningsmätning, som inte är stommätning.

Metodvalet styrs av förhållandena kring förrättningsområdet. Om det finns stomnät i ett lokalt koordinatsystem som man vill ansluta till, sker det lämpligast med terrestra metoder. Likaså när anslutningen görs på angränsande gränspunkt i ett s.k. sammanhållningsmätt område, dvs. ett område som är ihopmätt successivt utan stomnät.

Råden behandlar anslutning till både stompunkter (här avses såväl stomnätspunkter som riksnätspunkter) och till fasta referensstationer i SWEPOS-nätet. I råden ingår att alltid göra kontroll av anslutningen mot en annan punkt, som antingen är en stompunkt eller en fast referensstation. Kontrollen är till för att upptäcka grova fel, t.ex. fel koordinater eller fel punkt. Nypunkterna, som kan användas för den terrestra mätningen, mäts in polärt med GPS från en tillfällig referensstation. Detta kan göras med snabb statisk eller semikinematisk mätning. För att öka kontrollerbarheten på dessa mätningar bör dubbelmätning göras.

Förfaringssättet blir olika beroende på om man gör anslutning till stompunkter eller SWEPOS-punkter (Jivall, 1994).

Symbolerna i figurerna nedan har följande betydelser:

-  Stompunkt.
-  Stompunkt som fungerar som kontrollpunkt.
-  Stompunkt som fungerar som tillfällig referensstation.
-  Fast referensstation (SWEPOS-station).
-  Tillfällig referensstation ej sammanfallande med befintlig stompunkt.
-  Nypunkter, som bl.a. kan användas för terrester mätning.

8.1 Anslutning till fasta referensstationer

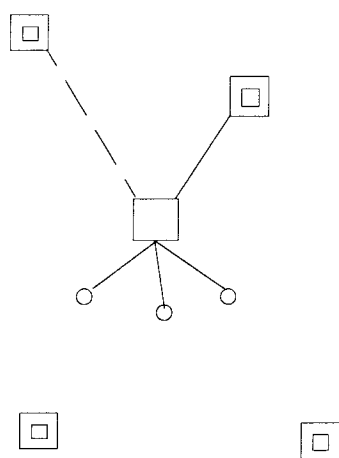
8.1.1 Bärivåsmätning med efterbearbetning på decimeternivå enligt principen i figur 8.1

En tillfällig referensstation anläggs på avstånd kortare än 5 km från mätområdet. Vid GPS-mätningen bestäms denna station i SWEREF 93 med statisk mätning relativt den närmaste SWEPOS-stationen. I samband därmed bestäms även SWEREF 93-koordinater för ytterligare en SWEPOS-station relativt den tillfälliga referensstationen. Denna SWEPOS-station fungerar som kontrollpunkt. Nypunkterna bestäms relativt den tillfälliga referensstationen, t.ex. med snabb statisk eller semikinematisk mätning. Kontrollpunktens beräknade koordinater jämförs med de officiella SWEREF 93-koordinaterna.

1995-09-19

Nypunkternas beräknade SWEREF 93-koordinater transformeras därefter till RT 90 med transformationssambandet SWEREF 93 - RR 92.

För att kompensera för de restfel som transformationssambandet SWEREF 93 - RR 92 ger (Reit, 1994) görs en plan Helmertinpassning med fyra omgivande SWEPOS-punkter som passpunkter. Därför transformeras fyra SWEPOS-punkters officiella SWEREF 93-koordinater, varav två kan vara den närmaste SWEPOS-stationen och SWEPOS-stationen som fungerar som kontrollpunkt, till RT 90. På detta sätt finns fyra passpunkter med officiella, resp. ur transformationen beräknade RT 90-koordinater och den plana Helmertinpassningen av nypunkterna till "officiellt" RT 90 kan göras.



Figur 8.1:

8.1.2 Relativ kodmätning på meternivå

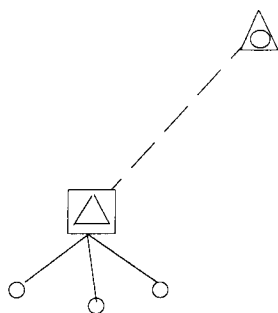
En tillfällig referensstation anläggs på avstånd kortare än 5 km från mätområdet med relativ kodmätning i realtid mot en SWEPOS-station, genom medeltalsbildning av ett antal mätningar. Nypunkterna bestäms relativt den tillfälliga referensstationen och deras koordinater transformeras till RT 90 med sambandet SWEREF 93 - RR 92.

8.2 Anslutning till stompunkt med koordinater i regionsystem eller RT 90

8.2.1 Avstånd kortare än 5 km till stompunkt och med annan stompunkt som kontrollpunkt enligt principen i figur 8.2

Stompunkten skall ha koordinater i ett regionsystem eller RT 90. Dessa transformeras till SWEREF 93 med transformationssambandet SWEREF 93 - RR 92. GPS-beräkningen för nypunkterna och kontrollpunkten görs relativt stompunkten. Kontrollpunktens nyberäknade koordinater transformeras tillbaka och jämförs med dess utgångskoordinater. Överensstämmelsen mellan dessa och de nyberäknade koordinaterna beror på förhållandet mellan stompunkten och kontrollpunkten. När beräkningarna för nypunkterna och kontrollpunkten godkänts transformeras nypunkternas koordinater till regionsystem eller RT 90 med sambandet SWEREF 93 - RR 92.

1995-09-19

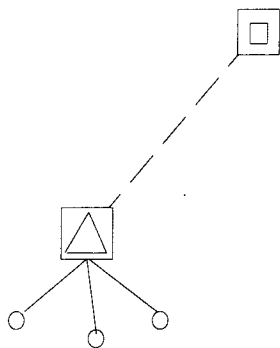


Figur 8.2:

8.2.2 Avstånd kortare än 5 km till stompunkt och med fast referensstation som kontrollpunkt enligt principen i figur 8.3

Mätningarna och beräkningarna relativt stompunkten görs på samma sätt som beskrivs i kapitel 8.2.1 ovan. Om stompunktens koordinater är i ett regionsystem måste dock dessa först transformeras till RT 90 innan de transformeras till SWEREF 93 för att kontrollmätningen mot den fasta referensstationen skall stämma. Beräkningen avslutas i detta fall med att nypunkternas RT 90-koordinater transformeras till regionsystemet.

Alternativt kan kontrollmätningen mot den fasta referensstationen göras med relativ kodmätning på meternivå, enligt kapitel 8.1.2 ovan.

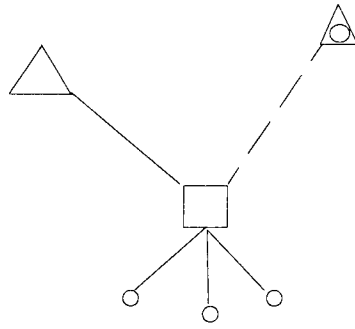


Figur 8.3:

8.2.3 Avstånd 5 km eller längre till stompunkt och med annan stompunkt som kontrollpunkt enligt principen i figur 8.4

En tillfällig referensstation anläggs på avstånd kortare än 5 km från mätområdet. Vid GPS-mätningen bestäms denna station relativt stompunkten och används för att bestämma nypunkterna och kontrollpunkten. I övrigt samma tillvägagångssätt som enligt kapitel 8.2.1 ovan.

1995-09-19



Figur 8.4:

1995-09-19

9. SLUTORD

Hur det är möjligt att använda GPS-tekniken för förrättningsmätning har belysts i denna rapport genom att ett antal försök konkret har redovisats. Självklart är det möjligt att tänka sig ett stort antal varianter på metoderna. De specifika förutsättningarna för ett mätprojekt styr också i stor utsträckning och det är författarnas förhoppning att rapporten kan tjäna som inspirationskälla och idégivare till GPS-användare i många liknande tillämpningar.

Antalet GPS-användare ökar ständigt runt om i Sverige. Inom Lantmäteriet används GPS nu på ett flertal ställen (både centralt och inom samtliga fem divisioner), där förrättningsmätning nu blivit ett område där tekniken funnit fotfäste. Lantmäteriets nya organisation efter 1 januari 1996 börjar nu ta form och GPS kommer att användas vid förrättningsmätning även i denna.

Utvecklingen går också framåt, både vad gäller utrustning (GPS-mottagare, fältdatorer m.m.) och mjukvara (efterbearbetningsprogram och program för fältdatorer). Epost-tjänsten har lanserats som ett effektivt sätt att utnyttja DGPS-tekniken. Fältnässiga penndatorer har vidare börjat dyka upp på marknaden. Under det senaste året har det vidare kommit utrustning för bärvågsmätning i realtid (Ottoson, 1995), vilket öppnar nya möjligheter för t.ex. detaljmätning. Utsändningen av data från en referensstation (ännu så länge används bara tillfällig referensstation) via en datalänk är här ännu mera kritisk än i kodmätningfallet (Kurkinen, 1995). Tekniken har även prövats inom Lantmäteriet (Eurenius, 1995; Jansson, 1995).

Slutfasen av fas 2 av projektet "GPS inom förrättningsmätning" har till stor del inneburit att de i denna rapport beskrivna metoderna har sjösatts och sjösätts kontinuerligt vid ett flertal produktionsprojekt inom Lantmäteriet. Man kan vidare räkna med att både metodik och utrustningar kommer att vidareutvecklas samt att nya tillämpningar kommer att introduceras.

1995-09-19

REFERENSER

- Bergman A, Frisk A, 1995: Positionsnoggrannheten för differentiell GPS via EPOS-tjänsten. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1995:14.
- Eurenius B, Norin D, 1992: GPS inom förrättningsmätning. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1992:21.
- Eurenius B, 1995: GPS-försök mätning av va-detaler med realtids bärvågsmätning i Emmaboda. Lantmäteriverket, PM.
- Hamrin P-A, 1993: Utstakning av skogsgränser med hjälp av GPS. Lantmäteriet, Kramfors lantmäteridistrikt, PM.
- Hedling G, Jonsson B, 1995: SWEPOS - A Swedish Network of Reference Stations for GPS. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1995:15 presenterad vid 4:e internationella konferensen om Differential Satellite Navigation Systems (DSNS 95) i Bergen 24-28 april 1995.
- HMK-Ge:GPS, 1993: Handbok till mätningkungörelsen - Geodesi, GPS. Lantmäteriverket.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J, 1994: GPS Theory and Practice, third, revised edition. Springer-Verlag, Wien New York.
- Holmgren B-G, 1994: Gränsutvisning i Österkålen. Lantmäteriverket, PM.
- Isaksson M, 1994: GPS-inmätning av utgångspunkter för gränsröjning i Kåbdalis. Lantmäteriet, LM Industrimätning Luleå, PM.
- Jansson R, 1995: GPS-mätning i Emmaboda. Lantmäteriet, Kalmar lantmäteridistrikt, PM.
- Jivall L, 1993: GPS - Global Positioning System. ULI-Information 1993:1.
- Jivall L, 1994: Anslutning av förrättningsmätning med GPS. Lantmäteriverket, PM.
- Johansson J M, 1995: Femhundra dagars SWEPOS-resultat och deras konsekvens för geodynamisk forskning. Onsala rymdobservatorium, PM presenterat vid Lantmäteriverkets GPS-seminarium i Gävle 21-22 mars 1995.
- Jonsson B, 1991: Kort introduktion till GPS. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1991:4.
- Kurkinen K, 1995: Radiolänkar för överföring av GPS-data. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1995:3.
- LMV, 1983: MBK i glesbygd, delrapport från SALLT-projektet. Lantmäteriverket.
- LMV, 1984: Gränsutvisning, rapport från Kövraprojektet, delrapport från SALLT-projektet. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1984:6.
- LMV, 1991: Förrättnings-MBK, rapporter från Förrättnings-MBK-projektet. Lantmäteriverket.
- LMV, 1994: GPS-strategi för Lantmäteriet. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1994:8.
- Norin D, 1994: Användning av data från fasta referensstationer. Lantmäteriverket, PM presenterat vid Kartdagarna i Borlänge 17 mars 1994.

1995-09-19

Ottoson C, 1995: Bärstågsmätning i realtid med GPS. Lantmäteriverket, PM presenterat vid Lantmäteriverkets GPS-seminarium i Gävle 21-22 mars 1995.

Persson C-G, 1994: GPS-strategi, Samverkan-GPS och GPS-pionjärer. Lantmäteriverket, Kartavdelningen informerar 1994-06-08.

Reit B-G, 1994: SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1994:28.

RTCM, 1994: RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service, version 2.1. RTCM Special Committee No. 104, Washington DC, USA.

Seeber G, 1993: Satellite Geodesy. Walter de Gruyter & Co, Berlin.

SIS, 1994: Satellitbaserad positionsbestämning – GPS – terminologi. SIS – Standardiseringen i Sverige, svensk standard SS 63 70 01 utgåva 2.

Ståhl J, 1992: Svar på förfrågningar om GPS-inmätning av punkter för gränsutstakning I Holmträsk och Pålträsk. Lantmäteriet, Piteå lantmäteridistrikt.

Teracom, 1994: Epos ger dig exakt position. TERACOM Svensk Rundradio AB, Teracom teknikinformativ-november 1994.

Wells D red, 1987: Guide to GPS positioning. Canadian GPS associates.