



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

Tekniska skrifter - Professional Papers

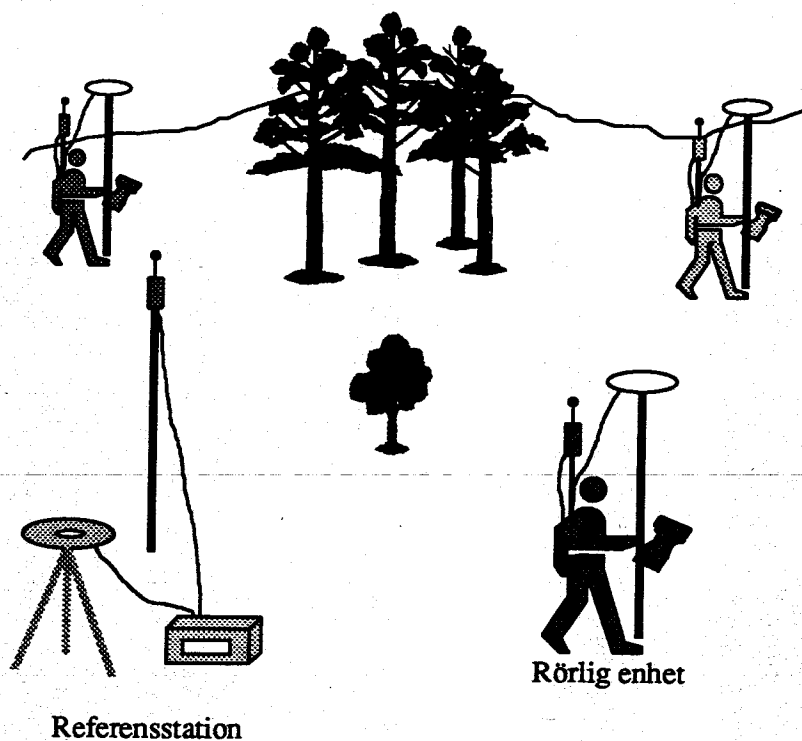
LMV-RAPPORT
1995:23

ISSN 0280-5731

Marknadsundersökning av GPS-utrustning för semikinematisk bärvågsmätning i realtid

- Ashtech, Leica, Trimble -
RTZ, RT-SKI, RTK

Christina Ottoson



Gävle 1995

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 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 stornät.
- 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.
- 1995:16 Norin D & Eurenus B: Fortsatta försök med GPS inom förrättningsmätning.
- 1995:17 Nilsson G: Förrättningsmätning med GPS i AC län.
- 1995:20 Ekman M: Slutberäkningen av Sveriges tredje precisionsavvägning - försök till problem-beskrivning i nordiskt perspektiv.
- 1995:21 Eurenus B: Stornät och metodik för detaljmätning med GPS - nuläge december 1995.

Titel

MARKNADSUNDERSÖKNING AV GPS-UTRUSTNING FÖR
SEMIKINEMATISK BÄRVÅGSMÄTNING I REALTID -
Ashtech, Leica, Trimble - av Christina Ottoson

Huvudinnehåll

Rapporten redovisar resultat från en undersökning av GPS-utrustning för semikinematisk bärvågsmätning i realtid med möjlighet till flygande bestämning av periodobekanta. I undersökningen ingick instrument från Ashtech, Leica och Trimble. Dessutom behandlar rapporten kortfattad beskrivning av teorin för bärvågsmätning i realtid.

LDOK

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförädet
801 82 GÄVLE



FÖRORD

GPS-systemet började utvecklas av det amerikanska försvaret redan 1978 och var utbyggt så att specificerade krav för civila tillämpningar uppfylldes i december 1993. Då uppskjutningar av produktionssatelliterna påbörjades i februari 1989 tog utvecklingen av GPS-utrustning och därefter nya mätmetoder fart. Ett av senare års stora framsteg är att detaljmätning med centimeternoggrannhet kan genomföras med GPS i realtid.

Denna utveckling kommer förmodligen att innebära en ökad efterfrågan på GPS-utrustning. Den allra största fördelen med att utföra bärvågsräkning i realtid är att användaren får en kvalitetskontroll på mätningen direkt i fält. Detta medför att det i högre grad går att anpassa mättiden till förhållandena vid det aktuella måttillfället. Dessutom innebär den nya tekniken att det går att erhålla en färdig koordinatfil efter mätningen, d.v.s. tidskrävande efterberäkningar behövs inte.

Med anledning av den förväntade ökningen i efterfrågan på GPS-utrustning som den relativt nya mätmetoden innebär ansågs det lämpligt med en marknadsundersökning av tillgänglig GPS-utrustning.

I denna rapport ingår resultat från undersökningar av Ashtech Z12, Trimble 4000 SSI och Leica System 300. En förfrågan gick även till Geotronics men deras motsvarande system fanns inte ute på marknaden när testmätningarna utfördes.

Jag vill härmed tacka Ag Com AB, NOAB AB samt Leica AB som alla har ställt upp med demonstrationer, utlåning av utrustning samt svarat på frågor.

Fältförsöken har genomförts av undertecknad och Sofia Björklund, LMV:s geodetiska utvecklingsenheten. För utformningen av rapporten har personal på LMV:s geodetiska utvecklingsenheten samt Västerås stad kommit med värdefulla synpunkter och råd.

Gävle december 1995

Christina Ottoson

Christina Ottoson

SAMMANFATTNING

Under hösten 1995 har geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriverket behandlat ett antal frågor kring Stomnät och METodik för Detaljmätning med GPS, SMED-projektet. Idag finns ett antal leverantörer på den svenska marknaden som marknadsför GPS-utrustning för bärvågsmätning i realtid, vilket möjliggör detaljmätning med centimeternoggrannhet. Inom ramen för SMED-projektet har denna marknadsundersökning över tillgängliga GPS-utrustningar i Sverige utförts.

En förfrågan om deltagande i undersökningen sändes till de leverantörer som vid mättillfället marknadsförde GPS-utrustningar för semikinematisk bärvågsmätning i realtid med möjlighet till flygande bestämning av periodobekanta. De leverantörer som tillfrågades var Ag Com AB (Ashtech), Geotronics Scandinavia AB (Geotracer), Leica AB samt NOAB (Trimble). Geotronics system var dock inte fullt utvecklat när testmätningarna utfördes och ingår därför inte i undersökningen.

Undersökningen behandlar bara systemen med avseende på bärvågsmätning i realtid. Det var inte i första hand noggrannhetsaspekter som skulle belysas i marknadsundersökningen utan mer systemens funktionaliteter. Noggrannheten för de olika systemen förväntades vara i stort sett likvärdiga. Tanken med undersökningen var till stor del att öka kunskapen inom detta område inom Lantmäteriet. Förhoppningsvis ska även flera ha nytta av rapporten som en första informationskälla om GPS-utrustning för bärvågsmätning i realtid.

Fältundersökningen genomfördes under perioden 4 - 18 september. Den första veckan ägnades åt att prova systemens olika funktioner och den andra veckan ägnades åt testmätningar. Därefter har även tillhörande PC-program studerats, mätresultaten analyserats samt efterberäkningar av mätdata utförts. Testmätningarna utfördes under likvärdiga förhållanden längs en förutbestämd mättrunda. Under mättrundan studerades framför allt tidsåtgången för bestämning av periodobekanta.

Inga större skillnader mellan systemen kunde konstateras varken i funktionalitet eller i noggrannhet. De skillnader som finns mellan fabrikaten är inte av den art att bärvågsmätning i realtid inte går att utföra eller försvåras i någon större utsträckning. Däremot finns det vissa smärre skillnader i funktionalitet.

Leica är det enda systemet som kan lagra koordinaterna direkt i fält i ett lokalt koordinatsystem. Med de andra två systemen sker transformationen först i samband med överföringen av koordinatfilen till PC.

Vid testmätningarnas genomförande innehöll Leicas resultatfil från realtidsmätningen något knapphändig information. Under december har dock resultatfilen modifierats och innehåller idag utförligare information.

Det finns ingen möjlighet att mäta mot fler än en referensstation i taget med någon av utrustningarna.

Alla mottagarna använder mottagarspecifikt format för överföring av bärvågsdata mellan den rörliga mottagaren och referensmottagaren, men Trimble-utrustningen kan även använda det preliminära tillägget till RTCM version 2.1. Enligt uppgifter förväntas detta bli fastställt i RTCM version 2.2 under våren 1996 och då förväntas alla fabriker att anpassa sig till den.

Ashtechs och Trimbles utrustningar ger ut data (positionsdata, kvalitetsdata m.m.) i ett öppet format via mottagaren RS232-port, vilket t.ex. möjliggör egen utveckling av programvara för fältdator. Formatet för styrkommandon är också öppet.

Med samtliga system kan resultatfilen erhållas i olika filformat för anpassning till karthanteringssystem.

Med Ashtechs och Trimbles utrustningar kan den rörliga enhetens data överföras till referensstationens mottagare. Detta innebär att beräkningen av den rörliga enhetens positioner kan ske på referensstationen.

Ingen signifikant skillnad varken i noggrannhet eller i tid för bestämning av periodobekanta kunde påvisas.

Innehållsförteckning

Förord

Sammanfattning

1.	Inledning _____	6
2.	Vad innebär bärvågsmätning i realtid? _____	8
2.1.	Bestämning av periodobekanta _____	9
2.1.1.	Tidsåtgång för bestämning av periodobekanta _____	10
2.1.2.	Bibehållen låsning av periodobekanta _____	10
2.2.	Positionsbestämning _____	10
2.3.	Systemets räckvidd _____	11
2.3.1.	Beräkningsalgoritmens begränsning _____	11
2.3.2.	Radiolänkens räckvidd _____	12
2.4.	Fördelarna med realtidsmätning _____	13
3.	Intressanta frågeställningar i samband med anskaffning av GPS-utrustning _____	14
4.	Genomförande av undersökningen _____	16
5.	Utrustning _____	19
5.1.	Jämförelse - kommentarer _____	23
6.	Systemspecifikationer _____	25
6.1.	Jämförelse - kommentarer _____	25

7.	Funktionsjämförelser	26
7.1.	Inställningar	26
7.2.	Beräkning och lagring	27
7.3.	Initialiseringsmetoder	29
7.4.	Inmätning - utsättning	29
7.5.	Koordinatsystem	30
7.6.	Kodsättning	32
7.7.	Informationsvisning	32
7.8.	Resultatredovisning från realtidsmätningen	33
7.9.	Övriga funktioner	35
8.	Realtidsresultat och efterberäkning	38
9.	Slutkommentarer	42
10.	Referenslista	45

Bilaga

1	Satellitkonstellationen vid mätningarna
2.a	Fil med realtidsresultat från Ashtech, en s.k. c-fil.
2.b	Fil med realtidsresultat från Ashtech, en s.k. d-fil.
3	Fil med realtidsresultat från Leica.
4	Utdrag ur fil med realtidsresultat från Trimble.
5	Leverantörernas adresser

1. INLEDNING

Under hösten 1995 har geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriverket behandlat ett antal frågor kring Stomnät och MEtodik för Detaljmätning med GPS i SMED-projektet. Idag finns ett antal leverantörer på den svenska marknaden som marknadsför GPS-utrustning för bärvågsmätning i realtid, vilket möjliggör detaljmätning med centimeternoggrannhet. Inom ramen för SMED-projektet har en marknadsöversikt över dessa GPS-utrustningar utförts. Testmätningarna genomfördes under två veckor i september. Resultaten från undersökningen behandlas i denna rapport.

Vid detaljmätning är det en mycket stor fördel om man inte behöver mäta på en känd punkt med den rörliga mottagaren vid initialiseringen (bestämningen av periodobekanta) före mätningen. Därför har bara de utrustningar som klarar av flygande bestämning av periodobekanta utvärderats. De fabrikat som uppfyllde kraven när undersökningen genomfördes var Ashtech, Leica och Trimble. En förfrågan gick även till Geotronics men deras motsvarande system fanns inte ute på marknaden när testmätningarna utfördes. Under arbetes gång har dock Geotronics demonstrerat sin prototyp av utrustning och serietillverkad utrustning finns numera för försäljning. Det bör även påpekas att Sercel har ett motsvarande system men som bara mäter på L1-frekvensen. En av anledningarna att vi inte undersökte denna utrustning var att den inte har återförsäljare i Sverige.

Det är inte i första hand noggrannhetsaspekter som belyses i marknadsundersökningen utan mer systemens funktionaliteter. Noggrannheten för de olika systemen förväntades vara likvärdiga eftersom samma typ av GPS-data för positionsbestämningen används. Dessutom belyses systemens möjligheter att utnyttjas ihop med karthanteringssystem.

Vissa för undersökningen intressanta uppgifter hämtades bl.a. från den enkät som sändes ut till GPS-leverantörerna i samband med en förstudie om detaljmätning med GPS som utfördes våren 1995, [1].

Tanken med undersökningen var till stor del att öka kunskapen inom detta område inom Lantmäteriet. Förhoppningsvis ska även flera ha nytta av rapporten som en första informationskälla om GPS-utrustning för bärvågsmätning i realtid.

Eftersom tekniken är relativt ny inleds rapporten med en grundläggande beskrivning över vad bärvågsmätning i realtid innebär. Att tekniken är relativt ny medför även att utvecklingen av instrumenten sker snabbt. Detta innebär att under de månader som detta arbete har pågått kan det ha inträffat en del förändringar med respektive system. Den information om systemen som redovisas i rapporten är det som gällde då undersökningen genomfördes.

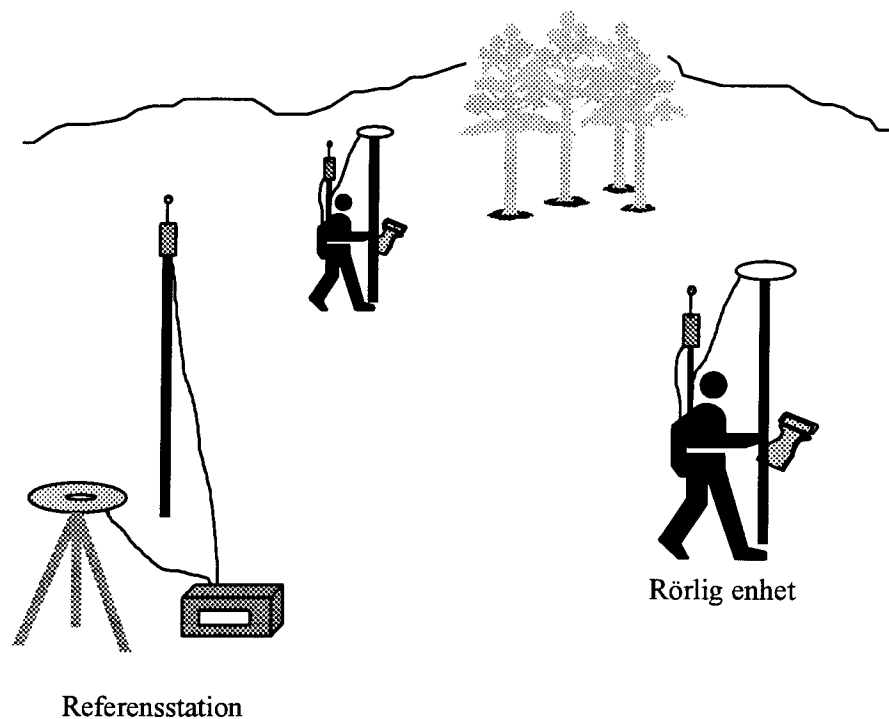
Beskrivningen av systemen i kommande avsnitt sker i bokstavsordning.

I rapporten ges ingen beskrivning av allmänna termer inom GPS-området utan läsaren hänvisas till annan litteratur, t.ex. HMK-Ge:GPS [2] eller Satellitbaserad positionsbestämning GPS - terminologi [4].

2. VAD INNEBÄR BÄRVÅGSMÄTNING I REALTID?

Vid positionsbestämning på centimeternivå används minst två GPS-mottagare som mäter samtidigt på GPS-satelliternas bärvåg (minst 4 gemensamma satelliter).

Den ena mottagaren ställs upp på en känd punkt. Denna uppställning brukar benämnas referensstation. Positionsbestämningen av den rörliga mottagaren sker sedan relativt den kända punkten. För att utföra detta i realtid krävs att mätdata skickas via en radiolänk från den ena GPS-mottagaren till den andra. Dessutom måste åtminstone en av mottagarna (oftast den rörliga) förses med ett inbyggt beräkningsprogram för kinematisk bärvågsmätning. Den rörliga mottagaren förses lämpligen med någon typ av fältdator. Den används för att göra nödvändiga kontroller under mätningens gång samt för att spara punktidentitet, koder, koordinatvärdena, samt information om bl.a. koordinatkvalitén.



Figur 1. Utrustning vid bärvågsmätning i realtid.

I princip kan referensstationens utsända data användas av hur många rörliga mottagare som helst. Däremot kan den rörliga mottagaren idag endast ta emot data från en referensstation, (jämför kap. 7.9).

2.1. Bestämning av periodobekanta

Med periodobekanta menas antalet hela våglängder mellan satellit och mottagare vid bärvågsmätningens början. I princip ska en periodobekant per satellit bestämmas. För att kunna utnyttja bärvågsmätningen för positionsbestämning med hög noggrannhet behöver periodobekanta bestämmas till rätt heltal innan inmätningen eller utsättningen kan börja. Om signallåsningen mot satelliterna tappas måste periodobekanta bestämmas på nytt.

För att bärvågsmätning ska vara intressant vid realtidstillämpningar bör periodobekanta kunna bestämmas på ett relativt snabbt och för användaren enkelt sätt. Hur lång tid det tar beror bl.a. på mottagarens beräkningsprogram.

För att periodobekanta ska kunna bestämmas måste GPS-mottagaren kontinuerligt ta emot data under en viss minimitid (från några tiotal sekunder till några minuter). Mottagaren kan under den tiden placeras på i princip tre olika sätt.

Ett sätt är att placera den rörliga mottagaren över en **känd punkt** tills periodobekanta är bestämda. (Ett s.k. antennbyte är en form av känd punkt.) I det här fallet utnyttjas de kända koordinaterna vid bestämningen av periodobekanta. Om signallåsningen tappas måste man uppsöka en känd punkt eller referensstationen för ett s.k. antennbyte för att bestämma periodobekanta på nytt.

Den andra varianten är att utföra en **snabb statisk mätning** genom att stå stilla några minuter var som helst. Det här sättet innebär visserligen att man slipper gå tillbaka men man måste stå helt still och invänta ny bestämning av periodobekanta.

Ytterligare ett sätt är att GPS-mottagaren utrustas med den relativt nya beräkningstekniken **flygande bestämning av periodobekanta** (On The Fly ambiguity resolution). Detta innebär att bestämning av periodobekanta kan ske även när mottagaren är i rörelse. Givetvis kan mottagaren också stå stilla. Med den här tekniken slipper man tidsödande återbesök på kända punkter.

Vid bärvågsmätning i realtid är det nästan, enligt min mening, ett krav att utrustningen klarar av flygande bestämning av periodobekanta. Eventuellt kan man tänka sig att bestämningen av periodobekanta sker genom snabb statisk mätning. Vilken metod som är mest lämplig beror givetvis på i vilken terräng man utför mätningen. Mäter man i ett område med fri sikt överallt kan man eventuellt nöja sig med en utrustning som enbart kan initialisera på känd punkt, eftersom låsningen mot satelliterna då oftast kan bibehållas. Om

mätningen sker i områden med risk för signalavbrott bör utrustning som klarar flygande bestämning av periodobekanta väljas.

2.1.1. Tidsåtgång för bestämning av periodobekanta

Initialiseringstiden varierar mellan några tiotal sekunder och några minuter beroende på antal satelliter, satellitgeometrin, avståndet mellan referensmottagare och rörlig mottagare samt den beräkningsalgoritm som används i GPS-utrustningen.

Bestämningen av periodobekanta när mottagaren placeras på känd punkt tar i storleksordningen några tiotal sekunder. Snabb statisk mätning medför att bestämningen av periodobekanta tar ungefär en minut. När initialiseringen sker med flygande bestämning av periodobekanta tar det ca. 0,5 - 2 minuter. I gengäld slipper man i de båda sista fallen tidsödande återbesök.

Ju fler tillgängliga satelliter och ju kortare avstånd mellan referensmottagare och rörlig mottagare desto fortare går det att bestämma periodobekanta. För snabbaste bestämning av periodobekanta används tvåfrekvensmottagare som utnyttjar hel våglängd på L2, vilket gäller för samtliga system som ingår i denna undersökning.

För närvarande kan de flesta enfrekvensmottagarna inte utföra flygande bestämning av periodobekanta. Om de kan utföra flygande bestämning av periodobekanta så tar det längre tid än med tvåfrekvensutrustning.

2.1.2. Bibehållen låsning av periodobekanta

Initialiseringsprocessen kräver minst 5 satelliter men när väl periodobekanta är bestämda går det lika bra att mäta när det bara finns 4 satelliter. Om mottagaren har låsning till mindre än 4 satelliter under en längre period (tiotal sekunder?) måste låsning till minst 5 satelliter återfås.

2.2. Positionsbestämning

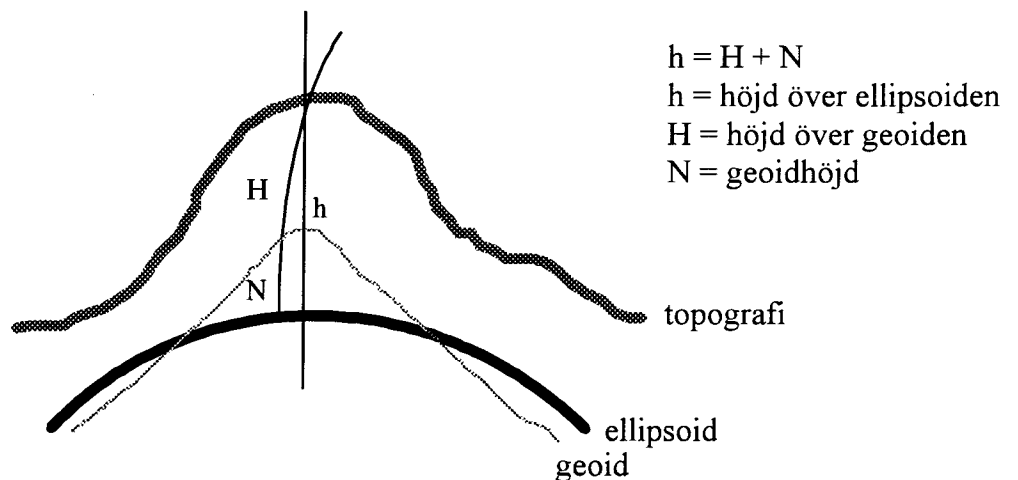
Bärvågsmätning i realtid innebär att positionen beräknas direkt i mottagaren. Vidare krävs att tiden för dataöverföringen och beräkningen för varje mätning är i samma storleksordning som uppdateringsintervallet, som bör vara 1-2 sekunder för högsta noggrannhet.

När väl periodobekanta är bestämda räcker det att mäta på en punkt i några sekunder för att erhålla centimaternoggrannhet. Den noggrannhet man kan

förvänta sig ligger på någon till några centimeter i alla tre dimensionerna för baslinjelängder upp till 10 km.

Man bör vara medveten om att positionsbestämningen sker i ett koordinatsystem anpassat för GPS-mätningar, t.ex. WGS 84 eller SWEREF 93. Om man vill ha koordinaterna i något annat system direkt i fält måste fältdatorprogrammet klara av att transformera koordinaterna. I annat fall får transformationen ske i efterhand på kontoret.

Med höjd menas normalt avståndet längs lodlinjen från geoiden (höjd över havet), men i samband med GPS-mätningar anges höjden över en referensellipsoid. Detta innebär att man måste veta geoidhöjden, N , i alla lägen för att utifrån GPS-mätta höjder kunna erhålla höjden över havet, se figur 2. Eftersom databasen med alla värden på de geoidhöjder som finns i Sverige kräver relativt mycket dataminne är det inte alldeles enkelt att få in databasen i sin fältdator. Däremot kan man t.ex. använda en polynomapproximation av geoidhöjden framtagen av LMV, [3]. För mer analyser av hanteringen av höjden i samband med detaljmätning med GPS se [5].



Figur 2. Skillnaden mellan höjd över geoid och höjd över ellipsoid.

2.3. Systemets räckvidd

Systemets räckvidd begränsas dels av beräkningsalgoritmen och dels av använd radiolänk.

2.3.1. Beräkningsalgoritmens begränsning

De flesta systemen anger en räckvidd på 10 km. På längre avstånd än 10 km blir bestämningen av periodobekanta alldeles för komplicerad. Dessutom är

noggrannheten vid bärvågsmätning troligen avståndsberoende. Avståndsberoendet brukar anges till ungefär 1-2 ppm. 1 ppm är 1 cm på 10 km. Om man är intresserad av noggranna mätningar i realtid ska alltså inte mätningen utföras med allt för stort avstånd mellan referensstationen och den rörliga mottagaren.

2.3.2. Radiolänkens räckvidd

För att kunna utföra bärvågsmätning i realtid krävs en lämplig radioutrustning som klarar av att föra över data tillräckligt snabbt samt har en specificerad räckvidd. En radioutrustning består huvudsakligen av två delar, nämligen modem och antenn.

För att utnyttja den maximala räckvidden på 10 km för bärvågsmätning i realtid behövs alltså en radiolänk som klarar av sådana avstånd. Mängden data som sänds är relativt stor, därför behövs en överföringshastighet i storleksordningen 4800 - 9600 bps. Vidare ska radioutrustningen vara fältmässig, d.v.s. vara vattentät, tålig mot kyla och värme samt helst också liten och lätt.

De flesta nordiska modellerna av radiomodem har en maximal sändareffekt på 0,5 - 1,0 W. Detta beror på att det krävs särskilt tillstånd för utsändning med högre effekt. Tyvärr räcker denna effekt normalt inte för utsändning upp till 10 km utan bara 0,5 - 5 km.

Radioutrustningens räckvidd är inte bara beroende av uteffekten utan även till stor del i vilket typ av terräng utsändningen sker. Räckvidden blir mycket större i öppen och flack terräng än i kuperade skogsområden. Radioantennens typ och placering är också viktiga faktorer för räckvidden. Riktade radioantennor är nästan ett krav för riktigt långa avstånd. För bästa resultat placeras radioantennen så högt som möjligt med kortast möjliga antennkabel till radiomodemet, eftersom dämpningen i kabeln är betydande. Kabeln mellan GPS-mottagare och radiomodem kan dock vara längre, upp till 15 meter. Förmodligen krävs ca. 10 W för 10 kilometers räckvidd i de flesta terrängtyper.

Radioutrustningar med låg uteffekt gör oftast ingen skillnad på sändardel och mottagardel. Radioutrustningar med hög uteffekt medför att sändaren blir tyngre och drar mera ström. Mottagardelen kan dock fortfarande vara liten.

Post- och Telestyrelsen har tillsammans med motsvarande myndigheter i våra grannländer tagit fram ett frekvensband som ska kunna användas för just GPS-data. För närvarande finns ett försökstillstånd på frekvensen 409,025 MHz. Tyvärr är denna en multipel av L2-frekvensen och kan därför störa

GPS-utrustningen och är därför inte särskilt användbar. För att kunna använda denna frekvensen 409,025 MHz krävs dock ett tillstånd från Post- och Telestyrelsen. Har man ett sådant tillstånd får man använda radioutrustning med högre uteffekt än 1 W.

Som information kan nämnas att företaget Alpha System i Göteborg har ett tillfälligt frekvenstillstånd för sin utveckling av en radiolänk för utsändning av GPS-data. Deras utrustning består av vanliga radiomodem på 0,5 W med ett effektsteg så att uteffekten kan varieras mellan 5 eller 25 W. Frekvenstillståndet går ut årsskiftet 96 / 97.

2.4. Fördelarna med realtidsmätning

Den stora fördelen med att utföra bärvågsmätningen i realtid är att man under mätningens gång kan kontrollera kvalitén på data, framför allt om periodobekanta är bestämda eller inte. Vetskapen om att periodobekanta är bestämda eller inte innebär en mycket stor tidsvinst eftersom det är detta som till stor del styr hur lång observationstiden måste vara för att erhålla en hög noggrannhet.

Dessutom medför bärvågsmätning i realtid att man slipper tidsödande efterberäkningar. Efter mätningen har man punkternas koordinater tillsammans med attributdata samlade i en fil.

Eftersom mottagarna idag bara kan ta emot data från en referensstation i realtid innebär det att man utför en polär mätning, helt utan någon kontrollerbarhet. Metoden lämpar sig därför inte för t.ex. stommätning där det ställs höga krav på noggrannhet och tillförlitlighet (kontrollerbarhet). Men man bör dock inte tveka att använda metoden för tillämpningar som inte ställer så höga krav på kontrollerbarhet, t.ex. detaljmätning. Mätförfarandet innebär att närnoggrannheten mellan de punkter som mäts in blir något sämre än vad det skulle bli om mätning skedde direkt mellan punkterna. För att få kontroll på koordinatvärdena vid realtidstillämpningar bör en lämplig mätstrategi väljas. Denna kan innehålla en del återbesök på redan inmätta punkter antingen med samma referenspunkt eller, kanske att föredra, en annan referenspunkt.

I detaljmätningssammanhang är metoden särskilt användbar i områden där detaljerna ligger utspridda och med låga sikthinder som medför många uppställningar vid användning av t.ex. totalstation.

3. INTRESSANTA FRÅGESTÄLLNINGAR I SAMBAND MED ANSKAFFNING AV GPS-UTRUSTNING

När man ska välja utrustning måste man först och främst ställa upp sina krav på systemet. Vad vill jag kunna göra, vilka funktioner anser jag vara de viktigaste, vilka kan jag klara mig utan? Hur ska utrustningen fungera för att den ska passa det system jag har redan idag utan allt för mycket extra arbete. Givetvis spelar också kostnaden en viktig roll i valet av olika system men den kommer inte att tas upp här.

Nedan följer ett antal frågeställningar som kan vara intressanta vid val av utrustning. Några av dessa frågor samt ytterligare några kommer att behandlas i kommande avsnitt.

En viktig faktor är tidsåtgången för mätningen och då framför allt hur lång tid det tar att bestämma periodobekanta. Därför är det av intresse att veta om det är någon skillnad mellan de olika utrustningarna i fråga om att bestämma periodobekanta. Dessutom bör man ha en viss kontroll på noggrannheten. Det är viktigt att det finns någon form av kvalitetstal tillsammans med koordinatvärdena.

En följdfråga till ovanstående är hur lång tid det tar att bestämma periodobekanta på olika avstånd från referensstationen. Det brukar i regel ta längre tid ju större avståndet till referensstationen är.

Några andra viktiga frågeställningar i vårt fall var om fältdatorerna klarar av inmätning, utsättning och referenslinje på liknande sätt som vårt nuvarande fältdatorsystem AutoKa-FC gör. Kan koordinaterna lagras i olika lokala koordinatsystem och i så fall vilka? Hur hanteras geoidhöjden; används ett polynom, rutnät eller kanske någonting annat? Kan man lägga in någon egen geoidmodell? Visar fältdatorn all den information man behöver veta?

Av intresse är också att kontrollera användarvänligheten hos mottagarna, främst de funktioner som rör detaljmätning. Kan man t.ex. knappa in referensstationens koordinater i den s.k. rörliga mottagaren? (Kan vara bra om man glömt eller knappat in fel koordinater på referensstationen) Går det på ett enkelt sätt att byta referensstation? Finns det någon risk att få in data från en annan GPS-mottagare som befinner sig i samma område?

I vissa fall är det av intresse att kunna göra efterberäkning av mätdata. Går det över huvudtaget att göra efterberäkning? Stämmer resultaten överens med realtidsmätningen?

Är det möjligt att använda i stort sett vilken radioutrustning som helst?
Uppstår det några komplikationer? Måste man använda en speciell radioutrustning som hör till GPS-utrustningen?

Det är också intressant att studera de olika systemens möjligheter att föra över data till och ta emot data från andra karthanteringsystem. Hur mycket merarbete krävs för att få det att fungera?

4. GENOMFÖRANDE AV UNDERSÖKNINGEN

Undersökningen genomfördes med utrustning från Ashtech, Leica och Trimble. Noggrannheten för de olika systemen förväntades vara likvärdiga eftersom samma typ av GPS-data för positionsbestämningen används. Därför beslutades att tyngdpunkten på undersökningen skulle läggas på att studera systemens funktionaliteter. Systemen utvärderades till viss del med utgångspunkt från i första hand Lantmäteriets behov och förutsättningar, med tanke på att kunna utnyttja systemet ihop med Lantmäteriets karthanteringssystem AutoKa.

Framförallt var det intressant att undersöka vad de olika fältdatorerna kan. Går det att utföra allt som vi kan med det fältdatorprogram (AutoKa-FC) som vi har idag? Finns det ytterligare funktioner som verkar intressanta?

Fältundersökningen genomfördes under perioden 4 - 18 september 1995. Därefter har även tillhörande PC-program studerats, mätresultaten analyserats samt efterberäkningar av mätdata utförts.

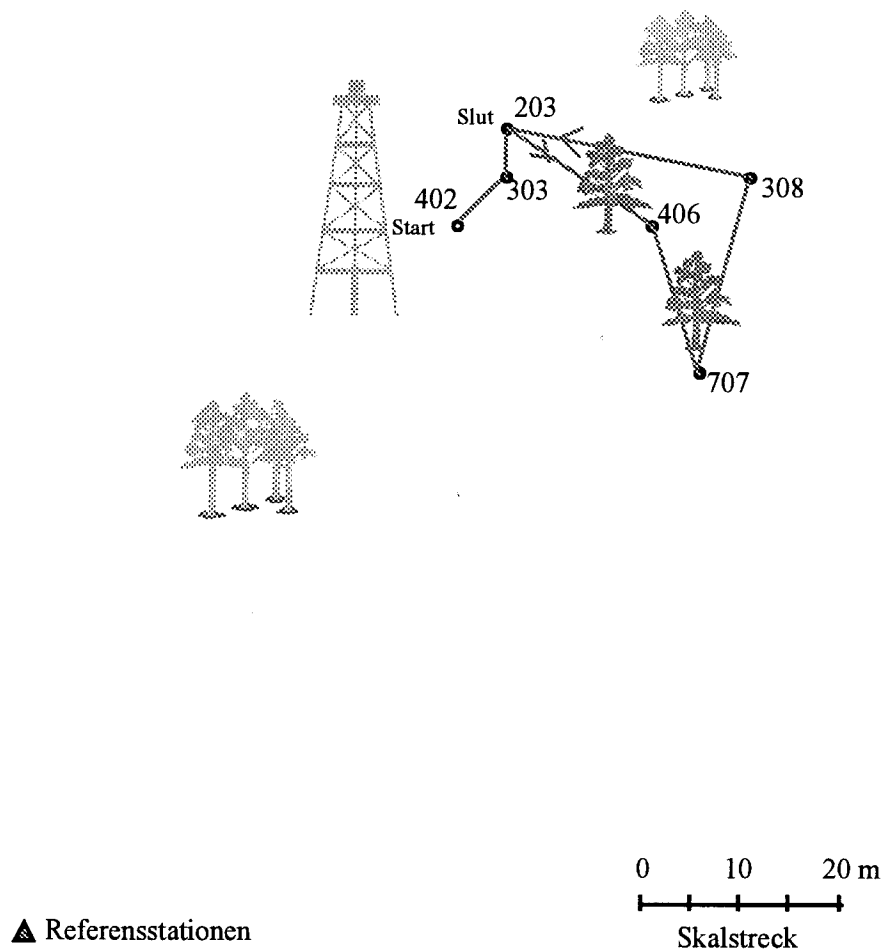
Hela den första veckan ägnades i stort sett åt att bekanta sig med de olika utrustningarna. Detta för att försöka minimera problemen som kan uppstå p.g.a. felaktigt handhavande av användaren. Under den första veckan demonstrerade leverantörerna respektive system. Malte Högström från Leica tillbringade 1,5 dag med oss. Hans Strandberg från NOAB, återförsäljare av Trimble, var på LMV en dag men, vi ägnade ytterligare en dag för oss själva åt detta system. Första veckans sista dag ägnades åt demonstration av Björn Ågårdh från Ag Com AB, återförsäljare av Ashtech. Ytterligare en dag i den andra veckan användes för Ashtechs utrustning.

Utvärderingen av de rent praktiska handhavandena av utrustningarna tillgodosågs till stor del under den första veckan, d.v.s. de dagar som leverantörerna demonstrerade sina respektive utrustningar. Demonstrationerna och de egna mätningarna genomfördes dels utanför Lantmäteriverket (LMV) och dels vid LMV:s geodetiska observatorium i Mårtsbo som ligger ca. 10 km söder om Gävle.

Den andra veckan ägnas åt egna testmätningar vid observatoriet i Mårtsbo. I anslutning till observatoriet har f.d. SIB (Statens Institution för Bygghforskning) anlagt ett provfält med ett nät av fasta och väl bestämda punkter, vilka användes vid testmätningarna. Det är mycket viktigt att testerna genomförs på ett så likvärdigt sätt som möjligt. Därför utfördes testerna under samma förhållande vad gäller satellitkonfiguration, antennhöjder samt "mätområde". Antennhöjden valdes till 1,900 meter för samtliga system.

På provfältet finns det gott om kända punkter, ca. 70 st., och variationer i siktförhållanden uppåt. Punkterna som är terrestert bestämda på någon tiondels millimeter kan i det här sammanhanget betraktas som felfria.

Mätrundan utgjordes av 7 punkter, vilka ägnades 5 eller 6 minuter vardera, och tog totalt ca. 40 minuter, se figur 3. Mellan några av punkterna passerades träd för att kontrollera vad som händer med bestämningen av periodobekanta. Avståndet till referensstationen var 100 - 150 meter. Likadana mätningar utfördes tre gånger under en dag för varje instrument. Mättiderna var noga planerade. För var dag startade mätrundorna fyra minuter tidigare än dagen före, med anledning av att satelliterna kommer fyra minuter tidigare nästkommande dag p.g.a. jordens rörelse kring solen. Varje punkt som mättes in hade bestämda tidpunkter för när man skulle komma dit och när den skulle lämnas för att gå vidare till nästa mätpunkt.



Figur 3. Skiss över "mätrundan" på provfältet.

För att även få en uppfattning om hur lång tid det tar att bestämma periodobekanta på större avstånd från referensstationen valdes två olika avstånd på vilka mätningar utfördes. Även här var utgångspunkten provfältet i Mårtsbo. Radioutrustningar med effekten 0,5 W användes. Till alla systemen användes liknande radioutrustningar. Trots att mätsträckan innehöll rätt så mycket öppna fält kom vi inte längre än 1200 meter med något av systemen, beroende på radioutrustningen. Avstånden valdes till 850 meter respektive 1200 meter.

Efter fältförsöken användes observationsdata för efterberäkning. Beräkningarna har genomförts i respektive fabrikants program och ett försök gjordes i ett "neutralt" program, nämligen i Geotronics beräkningsprogram (version 2.1), Geotracer GPS Software. Geotronics program var dock vid beräkningstillfället inte helt kompatibelt med alla utrustningarna för den aktuella mätmetoden, vilket vi inte observerade i förväg.

Det bör poängteras att undersökningen inte ger en helt fullständig bild av systemen men att det mesta ändå belyses mer eller mindre ingående. Eftersom systemen utvecklas hela tiden anges i vissa fall även fabrikantens framtidsplaner för en viss funktion. Alla funktionerna har inte testats helt och hållet utan i dessa fall anges ord som "det ska gå" eller "enligt information". För en mer fullständig utvärdering krävs en betydligt större arbetsinsats vid fältförsöken.

Undersökningen av systemen berör enbart det som rör bärvågsmätning i realtid och framför allt fältdatorns olika funktioner. Dessutom ingår efterberäkning av data som lagrats i samband med realtidsmätning.

5. UTRUSTNING

Ashtech:

på referensstationen:	Ashtech Z12, programvara 1F00-1C72, extern antenn, Sateline radiomodem (0,5 W), batteri (Ashtech, 8 Ah) samt tillhörande kablar och stativ
på den rörliga enheten:	Ashtech Z12 (3,6 kg), programvara 2J00-1C63, extern antenn (0,9 kg), fältdatorn Husky FS/2 med programmet GPSTopo (0,8 kg, version 1.0, version 2.1.OOM av PNAV), Sateline radiomodem (0,5 W, 0,3 kg), batteri (Ashtech, 8 Ah, 3,2 kg), ryggsäck (5,3 kg), stång med
hållare	för fältdatorn (1,4 kg) samt tillhörande kablar

Total vikt för den rörliga enheten: ca. 15,5 kg

Stången har fasta enheter om 50 cm som kan skruvas ihop till önskad längd, 2 meter som standard. Hållaren är i viss mån ställbar både vad gäller fästet till stången och till fältdatorn både vad gäller tjockleken och placeringen av dessa. Dessutom sitter det en kompass på hållaren.

Efterberäkningsprogram:

Ashtechs beräkningsprogram PRISM (version 2.1.OOP av PNAV).

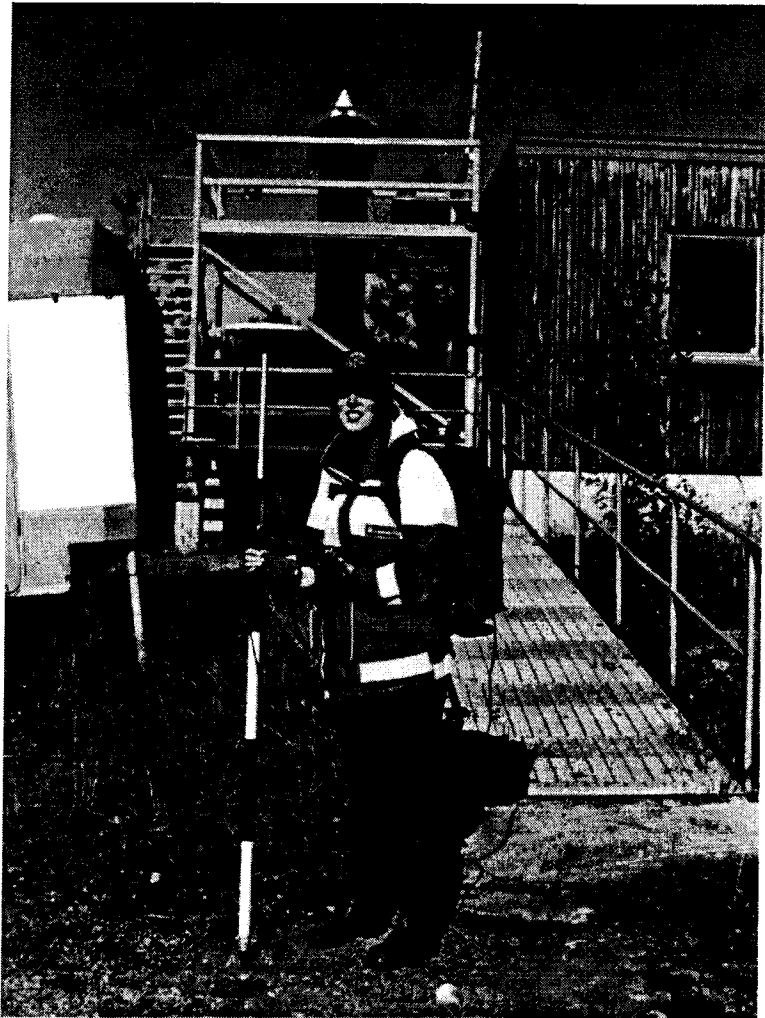
PC-program för hantering av realtidsfilen:

GPSTopo för PC som är en del av Ashtechs CAD-program Terramodel (version 8.34).

Utrustningen mäter på båda frekvenserna och använder hel våglängd på L2-frekvensen.

Mottagarens interna programvara:

Referensstationens GPS-mottagare var utrustad med en programvara som är Ashtechs standard för denna typ av mottagare. Det är samma programvara som används vid all annan typ av mätning, d.v.s. den är inte speciell för realtidsmätning på bärvågen. Den rörliga enheten var utrustad med en programvara som gör att positionsbestämningen kan göras i realtid med bärvågsmätning. GPS-mottagare med denna programvara kan även användas vid annan typ av mätning. Möjligheten till flygande bestämning av periodobekanta ingår i programvaran.



Figur 4. *Ashtechs utrustning för bärvågsmätning i realtid, i Mårtsbo. Referensstationen med GPS-antennen på pelaren syns i bakgrunden. Obs! Stången kommer inte från Ashtech.*

Leica:

- på referensstationen: CR344 kontrollenhet, SR399 sensor med intern antenn, Sateline radiomodem (0,5 W), batteri (GEB 71, 7 Ah), mjukvaran RT-SKI (version 3.20) samt tillhörande kablar och stativ
- på den rörliga enheten: CR344 kontrollenhet (1 kg), SR399E sensor (2 kg) (speciell sensor för extern antenn), extern antenn (0,6 kg), Sateline radiomodem (0,5 W, 0,3 kg), batteri (GEB 71, 7 Ah, 3 kg), mjukvaran RT-SKI (version 3.20), ryggsäck (2,3 kg), aluminiumstång med hållare för kontrollenheten (ca. 1 kg) samt tillhörande kablar

Total vikt för den rörliga enheten: ca. 10,2 kg.

Stången som är av aluminium har fasta enheter (2 st. med olika längder) som kan skruvas ihop till 1,90 meter. Dessutom finns skarvbitar på 1 meter för förlängning av stången. Hållaren passar väl till kontrollenheten.

Efterberäkningsprogram:

Leicas beräkningsprogram SKI (version 1.09B).

PC-program för hantering av realtidsfilen:

Leicas beräkningsprogram SKI (version 1.09B). Dessutom fanns ett CAD-program (LISCAD) men detta användes inte i undersökningen.

Utrustningen mäter på båda frekvenserna och använder hel våglängd på L2-frekvensen.

Mottagarens interna programvara:

Båda GPS-utrustningarna måste utrustas med samma programvara som möjliggör bärvågsmätning i realtid. Denna programvara kan även användas vid annan typ av mätning. Som tillval till programvaran finns möjlighet till flygande bestämning av periodobekanta. Tillvalet behövs bara på den rörliga enheten.



Figur 5. Leicas utrustning för bärvågsmätning i realtid, i Mårtsbo.

Trimble:

på referensstationen: Trimble SSi, (programvara 7.01), antenn med jordplan, Niros radiomodem (0,5 W), batteri (2,3 Ah, uppdelat på fyra stycken) samt tillhörande kablar och stativ

på den rörliga enheten: Trimble SSi (3,1 kg, programvara 7.01), antenn utan jordplan (0,9 kg), fältdatorn TDC1 (0,7 kg) med programmet Survey Controler (version 3.03), Niros radiomodem (0,5 W, 0,7 kg inkl. antenn), batteri (2,3 Ah, 0,7 kg, uppdelat på fyra stycken), ryggsäck (3,1 kg), stång (1,1 kg) med hållare för fältdatorn samt tillhörande kablar

Total vikt för den rörliga enheten: ca. 10,3 kg

Stången är steglöst höj- och sänkbar upp till 2,5 meter som standard. Hållaren till fältdatorn var dock inte helt perfekt eftersom fältdatorn gled ur hållaren ibland.

Efterberäkningsprogram:

Trimbles beräkningsprogram GPSurvey (version 2.0)

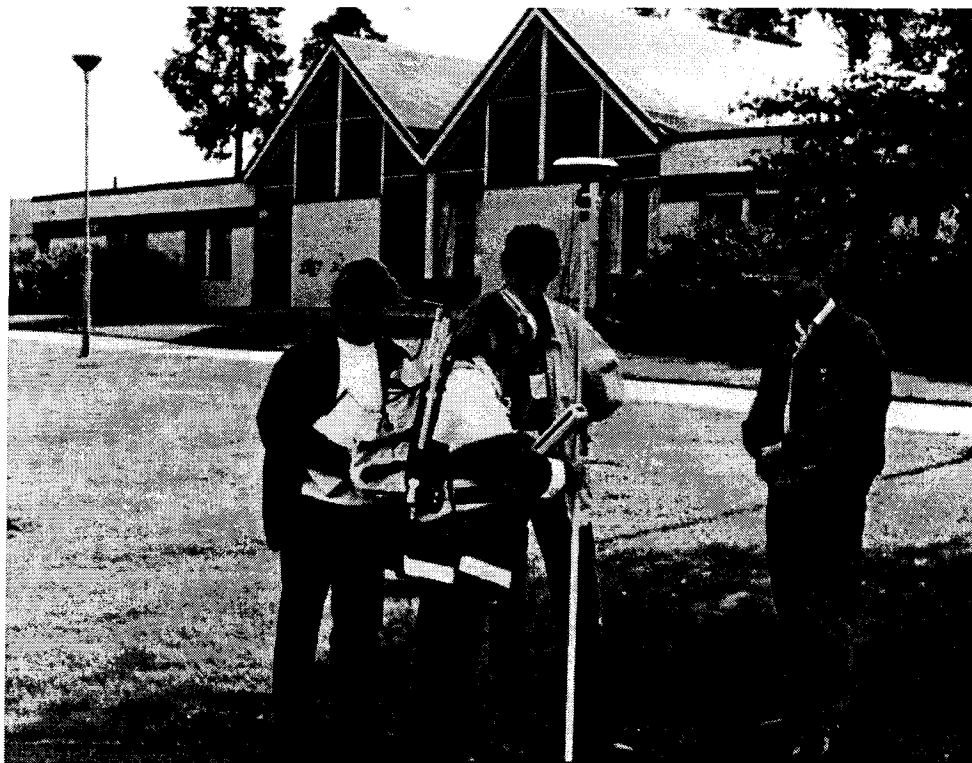
PC-program för hantering av realtidsfilen:

Trimbles CAD-program Trimcad (version 5.5).

Utrustningen mäter på båda frekvenserna och använder hel våglängd på L2-frekvensen.

Mottagarens interna programvara:

Båda GPS-utrustningarna måste utrustas med samma programvara som möjliggör bärvågsmätning i realtid. Programvaran är speciell för bärvågsmätning i realtid men kan även kombineras med program för annan typ av mätning. Som tillval till programvaran finns möjlighet till flygande bestämning av periodobekanta. Tillvalet behövs bara på den mottagare som ska utföra beräkningen.



Figur 6. *Trimbles utrustning för bärvågsmätning i realtid, utanför LMV.*

5.1. Jämförelse - kommentarer

På den rörliga enheten användes för samtliga system en något mindre antenn än vad som brukar användas vid statisk GPS-mätning. Det är nästan ett måste eftersom det annars kan bli tungt och vingligt med antennen på stängen.

Den rörliga enhetens totala vikt varierade en del mellan de olika systemen. Det skilde ca. 5 kg mellan Ashtechs och Leicas utrustningar. Enbart deras ryggsäckar varierade med 3 kg. I Trimbles utrustning ingår batterier på endast 2,3 Ah jämfört med 8 Ah i Ashtechs utrustning, vilket självfallet minskar Trimbles totala vikt. Förmodligen (förhoppningsvis) kommer utrustningarnas vikt att minska en hel del i framtiden.

Vad gäller stängerna är det en smaksak vad som är bäst, en med fasta enheter eller en som är steglöst höj- och sänkbar. Fördelen med en stång med fasta enheter är att stängen inte kan glida ner. Fördelen med en höj- och sänkbar stång är att antennhöjden går att variera på ett smidigt sätt. Det går givetvis att använda vilken stång som helst till utrustningarna.

Alla systemen har ett eget CAD-program. Normalt har man förmodligen redan ett annat karthanteringsprogram och då är frågan snarare hur enkelt det är att överföra data till det egna karthanteringsystemet.

De tekniska förutsättningarna att samtliga system utnyttjar båda frekvenserna samt använder full våglängd på L2 ger en antydning om att den förväntade noggrannheten och initialiseringstiderna i stort sett ska vara likvärdiga.

Leica och Trimble har valt att den interna programvaran måste uppgraderas på både referensstationen och den rörliga mottagaren för att kunna använda dem för bärvågsmätning i realtid. Med Ashtechs utrustning är det däremot bara nödvändigt att uppdatera den mottagare (oftast den rörliga) som utför beräkningen i realtid. Samtliga fabrikanter tar dock ut en extra kostnad för realtidstillvalet.

6. SYSTEMSPECIFIKATIONER

För att uppnå den specificerade noggrannheten som fabrikanterna anger måste några förutsättningar uppfyllas. Nedan följer fabrikanternas egna rekommendationer och specificering av noggrannheten.

Mottagare	Ashtech	Leica	Trimble
Satelliter	≥ 5	≥ 5	≥ 5
DOP-värde	PDOP ≤ 4	GDOP ≤ 5	PDOP ≤ 5
Räckvidd	10 km	10 km	10 km
Noggrannhet (rms) vid bärvågs-mätning i realtid	vid inmätning: 1 cm, horisontellt 1,7 cm, vertikalt under rörelse: 3 cm, horisontellt 5 cm, vertikalt	1 cm + 2 ppm, baslinje	1 cm + 2 ppm, horisontellt 2 cm + 2 ppm, vertikalt
Fördröjning (se förklaring nedan)	ca. 1,5 s, vid inmätning 0,5 s under rörelse	ca. 1,5 s	ca. 1,5 s utan fältminne 1 s med fältminne
Obs.intervall	1 s	1 s	1 s

6.1. Jämförelse - kommentarer

Förutsättningarna och specificerad noggrannhet är i stort sett desamma för samtliga system. Vid detaljmätning bör observationsintervallet vara 1-2 sekunder för att erhålla högsta noggrannhet. För att uppnå den maximala räckvidden förutsätts en radioutrustning med hög uteffekt.

Med fördröjning menas den tid det tar från mätning tills positionen är beräknad. Då är även dataöverföringen via radiolänk inkluderad. Med Ashtechs utrustning är fördröjningen olika beroende på hur mottagaren är inställd. Under rörelse är fördröjningen kort, ca. 0,5 sekunder, men noggrannheten är då något sämre och vice versa. Då man inte använder Ashtechs fältdatorprogram kan man dock välja själv hur förhållandet med fördröjning och noggrannhet ska vara. Leicas och Trimbles utrustningar har samma fördröjning hela tiden.

7. FUNKTIONSJÄMFÖRELSER

7.1. Inställningar

Ashtech:

Om fältdator används vid mätningen görs inställningarna av GPS-mottagaren via fältdatorn. Då ingen fältdator används görs givetvis inställningarna direkt i mottagaren. Om mottagaren använts för annan typ av mätning måste man göra om inställningarna. För att sända över fältdatorns alla inställningarna måste ett fåtal menyer i fältdatorn uppdateras.

Det finns möjlighet att ställa in uppdateringsintervall och antal mätningar vid varje inmätning. Dessutom är det möjligt att ställa in en gräns för vad rms (rms = root mean square, en form av noggrannhetsmått) i plan och i höjd får vara för att mätningen ska godkännas. Om rms-värdet för mätningen överstiger gränsvärdet lagras inte de mätvärdena. I stället fortsätter mätproceduren tills rms-värdet understiger gränsvärdet.

Man kan själv välja i vilka lägen som varningsmeddelandena ska komma. Meddelandena kan fås som enbart ljud, enbart visuellt, en kombination av båda eller inget alls. De olika lägena för alarm är bl.a. när DOP-värdena överstiger ett gränsvärde, om rms-värdena överstiger ett visst värde, om minnet i fältdatorn eller mottagaren håller på att ta slut, om det är för få satelliter, om basens koordinater verkar vara helt fel eller om man knappar in fel parametrar på fältdatorn.

Det är även möjligt att påverka beräkningen i form av olika parametrar. Det går bl.a. att ställa in olika grad av förväntat flervägsfel och med vilken ungefärlig hastighet man rör sig. Hur mycket de olika inställningarna påverkar beräkningen är dock oklart. Är man osäker kan man använda de fabriksinställda värdena.

Leica:

Det första som ska göras är att välja en uppsättning inställningsparametrar för mottagaren (s.k. mission, engelska). Som standard finns bl.a. en uppsättning parametrar för statisk mätning och ett för realtidsmätning. Dessa uppsättningar kan kopieras och ändras som man vill ha dem. Dessutom väljs ett projekt till vilket bl.a. ett set av transformationsparametrar är knutet. Punkterna lagras i en databas som är kopplat till ett jobb som i sin tur är knutet till ett projekt.

Det finns möjlighet att ställa in uppdateringsintervall och antal mätningar för varje uppsättning av parametrar. Dessutom är det möjligt att ställa in en gräns för vad rms på baslinjen får vara för att mätningen ska godkännas. Om rms-värdet för mätningen överstiger gränsvärdet lagras inte de mätvärdena. I

stället fortsätter mätproceduren tills rms-värdet understiger gränsvärdet. Det finns ingen möjlighet att använda satelliter under 15 °elevationsvinkel.

Det går inte att själv välja i vilka lägen som varningsmeddelandena ska komma utan de är förinställda.

Trimble:

Om fältdator används vid mätningen görs inställningarna av GPS-mottagaren i fältdatorn. Då ingen fältdator används görs givetvis inställningarna direkt i mottagaren. Vid användande av enbart mottagare väljs en uppsättning inställningsparametrar för mottagaren. Dessa uppsättningar kan kopieras och ändras som man vill ha dem.

Det finns möjlighet att ställa in uppdateringsintervall och antal mätningar vid varje inmätning. Dessutom är det möjligt att ställa in en gräns för vad rms i plan och i höjd får vara för att mätningen ska godkännas. Om rms-värdet för mätningen överstiger gränsvärdet lagras inte de mätvärdena. I stället fortsätter mätproceduren tills rms-värdet understiger gränsvärdet.

Jämförelse - kommentarer

Leicas och Trimbles koncept att man väljer typ av mätning och då erhåller inställningarna känns smidigt. En annan fördel är att man även kan skapa egna uppsättningar av parametrar. För en van användare har Ashtech fördelen att man har stor möjlighet att själv välja olika inställningar.

7.2. Beräkning och lagring

Ashtech:

Beräkningen av positionerna sker i GPS-mottagaren, normalt i den rörliga enhetens mottagare. Beräkningen kan också ske i referensstationens mottagare. Fältdatorn används för att lagra realtidsresultatet men framförallt för att kunna göra nödvändiga kontroller under mätningens gång. Det är inte nödvändigt att använda fältdatorn utan mottagaren kan vid själva mätningen förutom att lagra rådata även lagra en koordinatfil.

Koordinatvärden erhålls för varje mätning. Medelvärdsbildningen av en punkts samtliga mätvärden sker i PC-programmet GPSTopo.

Om man är intresserad av att spara rådata för efterberäkning går det bra. Rådata lagras i så fall i mottagarens internminne. Det man bör vara medveten om är att rådata med en sekunds observationsintervall blir stora datamängder,

så det krävs mycket minnesutrymme. Man kan även välja att enbart spara koordinatfilen i mottagaren.

Leica:

Beräkningen av positionerna sker i kontrollenheten på den rörliga utrustningen. Där lagras både realtidsresultatet och om så önskas rådata för efterberäkningen. Data lagras antingen på ett PCMCIA-kort eller i kontrollenhetens internminne. Allt sparas under ett och samma s.k. dataset.

En punkts koordinatvärden kan erhållas antingen för varje mätning eller som ett medelvärde av samtliga mätningar.

Om man är intresserad av att spara rådata för efterberäkning går det bra.

Trimble:

Beräkningen av positionerna sker i GPS-mottagaren, normalt i den rörliga enhetens mottagare. Beräkningen kan också ske i referensstationens mottagare. Fältdatorn används för att lagra realtidsresultatet men framförallt för att kunna göra nödvändiga kontroller under mätningens gång. Det är inte nödvändigt att använda fältdatorn utan mottagaren kan vid själva mätningen förutom att lagra rådata även lagra en koordinatfil.

En punkts koordinatvärden erhålls som ett medelvärde av samtliga mätningar.

Om man är intresserad av att spara rådata för efterberäkning går det bra. Rådata lagras i så fall i mottagarens internminne. Det man bör vara medveten om är att rådata med en sekunds observationsintervall blir stora datamängder, så det krävs mycket minnesutrymme.

Jämförelse - kommentarer

Med Ashtechs och Trimbles utrustningar kan beräkningen av den rörliga enhetens positioner ske i antingen den rörliga enhetens mottagare eller referensstationens mottagare.

I Leicas utrustning kan data lagras på ett PCMCIA-kort, vilket kan vara behändigt.

7.3. Initialiseringsmetoder

Ashtech:

Så fort mottagaren är påslagen utförs flygande bestämning av periodobekanta oberoende om den rörliga enheten är i rörelse eller stillastående. Stillastående motsvarar i princip snabb statisk mätning. Om man står på en känd punkt kan givetvis dess koordinater knappas in och därmed minska tiden tills periodobekanta är bestämda.

Leica:

Med Leicas utrustning är det möjligt att bestämma periodobekanta på tre olika sätt; på känd punkt, genom snabb statisk mätning eller med flygande bestämning av periodobekanta. En av metoderna väljs innan mätningen börjar.

Trimble:

Med Trimbles utrustning är det möjligt att bestämma periodobekanta på tre olika sätt; på känd punkt, genom snabb statisk mätning eller med flygande bestämning av periodobekanta. En av metoderna väljs innan mätningen börjar.

Jämförelse - kommentarer

I princip fungerar utrustningarna på samma sätt även om Ashtech inte har några alternativ som heter "känd punkt" eller "snabb statisk mätning". Den mest användbara metoden är förmodligen flygande bestämning av periodobekanta.

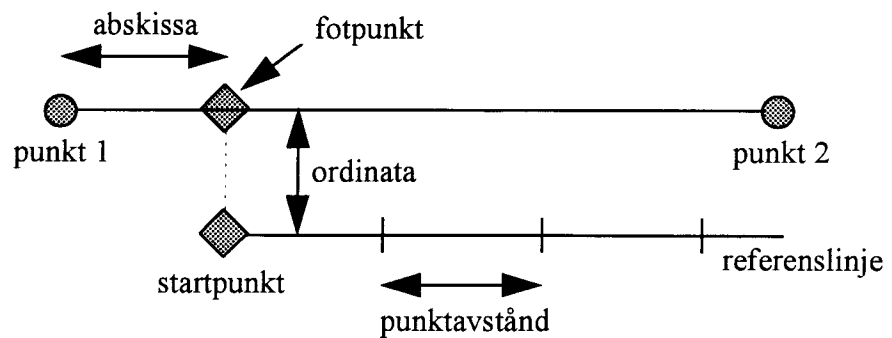
7.4. Inmätning - utsättning

Ashtech:

När initialiseringen är färdig kan mätningen börja. Inmätning och utsättning av både punkt och linje går att genomföra. Däremot finns ingen funktion för referenslinje.

Leica:

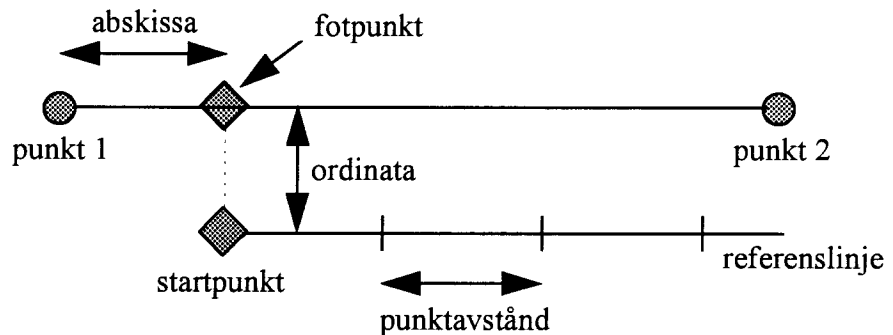
När initialiseringen är färdig kan mätningen börja, antingen inmätning, utsättning eller referenslinje. Referenslinje kan startas på ett bestämt avstånd, i form av ordinata och abskissa, från den ena punkten och därefter genomföras på bestämda punktavstånd.



Figur 7. Skiss på referenslinje i Leicas system.

Trimble:

När initialiseringen är färdig kan mätningen börja, antingen inmätning, utsättning eller referenslinje. Referenslinje kan startas på ett bestämt avstånd, i form av ordinata och abskissa, från den ena punkten och därefter genomföras på bestämda punktavstånd.



Figur 8. Skiss på referenslinje i Trimbles system.

Jämförelse - kommentarer

Inmätningen och utsättningen går till på liknande sätt för alla tre fabrikaten. Ashtech har dock ingen funktion för referenslinje.

7.5. Koordinatsystem

Ashtech:

Koordinaterna kan enbart lagras i WGS 84. Däremot kan resultatet under mätningens gång även visas i lokalt system på fältdatorn. Erhållande av koordinaterna i ett lokalt koordinatsystem kan ske på tre olika sätt. Antingen väljs ett definierat system eller så anges en känd formel för en 7-parametertransformation mellan WGS 84 (eller t.ex. SWEREF 93) och det

lokala systemet eller så beräknas transformationsparametrarna genom att man anger ett antal gemensamma punkter i båda systemen. Vid utsättning och vid angivande av referensstationens position kan koordinaterna anges i WGS 84 eller lokalt koordinatsystem.

För närvarande finns det ingen möjligt att hantera geoidhöjden direkt i realtid.

Leica:

Koordinaterna kan lagras antingen i WGS 84 eller i lokalt koordinatsystem. Erhållande av koordinaterna i lokalt koordinatsystem kan ske på tre olika sätt. Antingen väljs ett definierat system eller så anges en känd formel för en 7-parametertransformation mellan WGS 84 (eller t.ex. SWEREF 93) och det lokala systemet eller så beräknas transformationsparametrarna genom att man anger ett antal gemensamma punkter i båda systemen. Vid utsättning och vid angivande av referensstationens position kan koordinaterna anges i WGS 84 eller lokalt koordinatsystem.

För närvarande finns det ingen möjligt att hantera geoidhöjden direkt i kontrollenheten. Nu används normalt den s.k. SCANDOC-formeln vid transformation till RT90/RH70, se t.ex. [2].

Trimble:

Koordinaterna kan lagras endast i WGS 84. Däremot kan resultatet under mätningens gång även visas i lokalt system. Erhållande av koordinaterna i ett lokalt koordinatsystem kan ske på tre olika sätt. Antingen väljs ett definierat system eller så anges en känd formel för en 7-parametertransformation mellan WGS 84 (eller t.ex. SWEREF 93) och det lokala systemet eller så beräknas transformationsparametrarna genom att man anger ett antal gemensamma punkter i båda systemen. Vid utsättning och vid angivande av referensstationens position kan koordinaterna anges i WGS 84 eller lokalt koordinatsystem.

För närvarande finns det ingen möjligt att hantera geoidhöjden direkt i kontrollenheten. Nu används normalt den s.k. SCANDOC-formeln vid transformation till RT90/RH70, se t.ex. [2]. Dessutom kan en inpassning i höjd göras för transformation till t.ex. RH 70.

Jämförelse - kommentarer

Leica är den enda utrustningen som kan lagra koordinaterna direkt i fält i ett lokalt koordinatsystem. De andra två systemen bygger på att transformationen till lokalt system sker i samband med överföringen till det tillhörande PC-programmet.

7.6. Kodsättning

Ashtech:

Vid mätningen anges ett punktnummer med högst fyra siffror med automatisk uppräknings som inte går att påverka. Dessutom finns möjlighet att välja linjekod och / eller symbolkod. Vid val av kod fås en lista på tillgängliga alternativ. Det går även att ändra eller lägga till linje- och symbolkoder. Dessutom går det att ange ett attributvärde på upp till 20 tecken.

Leica:

Vid mätningen anges en punktidentitet och kod. Punktidentiteten kan vara både siffror och bokstäver. Vid val av kod fås en lista på tillgängliga alternativ. Kodlistan kan även modifieras av användaren. Kodlistan är uppbyggd i fyra nivåer; skikt, kod, attribut och beskrivning. (Har inte provat kodsättning i undersökningen.)

Trimble:

Vid mätningen anges ett punktnummer om maximalt 14 tecken. Dessutom finns möjlighet att välja linjekod och / eller symbolkod om maximalt 16 tecken. Det finns även möjlighet att lägga till mer information på en s.k. noteringsrad. Vid val av kod kan en lista på tillgängliga alternativ fås. Det går även att ändra eller lägga till i dessa två kodfiler. (Har inte provat kodsättning i undersökningen.)

Jämförelse - kommentarer

Att Ashtech har en automatisk uppräknings av punktnumren innebär att programmet arbetar med interna punktnummer. Om man vill ha egna punktnummer anges dessa under attributvärde.

7.7. Informationsvisning

Ashtech:

Innan varje inmätning eller utsättning påbörjas bör användaren kontrollera att periodobekanta är bestämda samt studera koordinatkvaliteten. Denna information ges i en och samma meny. Däremot ges ingen speciell information om radioförbindelsen fungerar utan man får i stället ett meddelande när den inte fungerar. Dessutom märks det tydligt i andra menyer om radioförbindelsen inte fungerar. I en meny visas information om den rörliga enhetens batteristatus och minnesutrymme för fältdatorn samt

minnesutrymme och om batteriet är av eller på för GPS-mottagaren. Man kan se både referensstationens och den rörliga enhetens satellitstatus (elevation, azimut, signalstyrka m.m.). Informationen visas både i fältdatorn och i GPS-mottagaren. I GPS-mottagaren visas även kontinuerlig information om radioförbindelsen fungerar.

Leica:

Innan varje inmätning eller utsättning påbörjas bör användaren kontrollera att periodobekanta är bestämda samt studera koordinatkvalitén. Denna information ges i en och samma meny i kontrollenheten. Dessutom ser man om radioförbindelsen fungerar eller inte. I en annan meny visas information om batteristatus och minnesutrymme både på den rörliga enheten och på referensstationen. Man ser även både den rörliga enhetens och referensstationens satellitstatus (elevation, azimut, signalstyrka m.m.). All information visas i kontrollenheten.

Trimble:

Innan varje inmätning eller utsättning påbörjas bör användaren kontrollera om periodobekanta är bestämda samt studera koordinatkvalitén. Denna information ges i en och samma meny. Däremot ges ingen speciell information om radioförbindelsen fungerar eller inte utan man får i stället ett meddelande när den inte fungerar. Dessutom märks det tydligt i andra menyer om radioförbindelsen inte fungerar. I en annan meny visas information om den rörliga enhetens batteristatus och minnesutrymme för fältdatorn samt minnesutrymme och om batteriet är av eller på för mottagaren. Man kan se både referensstationens och den rörliga enhetens satellitstatus (elevation, azimut, signalstyrka m.m.). Informationen visas både i fältdatorn och i GPS-mottagaren.

Jämförelse - kommentarer

Leica har fördelen att även information om referensmottagarens batteristatus och minnesutrymme visas.

7.8. Resultatredovisning från realtidsmätningen

Ashtech:

Vid realtidsmätningen erhålls resultaten i en binär fil som sedan hanteras av det tillhörande PC-programmet GPSTopo. Då erhålls till att börja med minst två ASCII-filer. Den ena filen (s.k. C-fil, se bilaga 2.a) innehåller information om vilket program och programversion som använts samt epokvis information om punktnummer, datum, tid, antal satelliter, PDOP, latitud, longitud, höjd, rms, rörelsehastighet i de tre dimensionerna samt ett värde som visar om periodobekanta är fixerade eller inte. Filen innehåller information för varje mätning där man stått stilla på en punkt. Den andra

filen (s.k. D-fil, se bilaga 2.b) innehåller i huvudsak information om den rörliga enhetens antennhöjd och attributdata samt kod för de inmätta punkterna. Dessa två filer behandlas sedan av PC-programmet där bl.a. medelvärdesbildningen och transformationen sker. Resultatet hamnar i en ASCII-fil i valfritt filformat.

Dessutom är det möjligt att lagra en binär fil som innehåller information om alla vektorerna som är mätta och statistik över lösningen (s.k. O-fil). Denna typ av fil erhålls vid all efterberäkning med Ashtechs beräkningsprogram och kan sedan användas i nätutjämningsprogrammet.

Leica:

Som resultat från realtidsmätningen erhöles vid undersökningens genomförande enbart information om punktnummer och koordinater, se bilaga 3. Under december har dock resultatfilen tillförts utförligare information. Filen töms i PC-programmet SKI som är Leicas "vanliga" efterberäkningsprogram.

Trimble:

Filen från realtidsmätning innehåller bl.a. information om datum, jobbnamn, transformationsparametrar, GPS-mottagare, antenn, elevationsmask, PDOP-mask, referensstationens koordinater och antennhöjd samt information för varje inmätt punkt såsom koordinater, antennhöjd, DOP-värden, antal satelliter. Dessutom finns information om det hänt något under mätningens gång, t.ex. då färre än fyra satelliter observeras, se bilaga 4. De höjdvärden som anges i filen är inte korrigerade för antennhöjden utan det görs i det tillhörande PC-programmet Trimcad. Här görs även transformationer till olika koordinatsystem. Informationen i filen ges på en blandning av svenska och engelska.

Filen från realtidsmätningen kan också innehålla information som gör det möjligt att använda filen direkt i nätutjämningsprogrammet.

Jämförelse - kommentarer

Vid undersökningens genomförande innehöll Leicas fil från realtidsmätningen något knapphändig information. Sedan december finns det betydligt mer information i filen, bl.a. projektnamn, jobbnamn och transformationer. Dessutom redovisas information om referensstationens koordinater och antennhöjd. Slutligen ges en förteckning över de olika baslinjeresultatet, framför allt koordinater, koordinatkvalité och antennhöjd. I och med detta motsvarar resultatredovisning den information som Ashtech och Trimble redovisar.

Med Ashtechs och Trimbles utrustningar är det möjligt att använda filen direkt i deras respektive nätutjämningsprogram. Detta kan vara en fördel om det finns samtidiga mätningar på ytterligare en referensstation i närheten. I Trimbles fil redovisas dessutom om det händer något under mätningens gång, vilket kan vara bra vid analyser av mätningarna.

7.9. Övriga funktioner

Nedan följer en sammanställning av ytterligare funktioner som kan vara av intresse.

Mottagare	Ashtech	Leica	Trimble
Behandla data från fler än en referensstation samtidigt?	Nej	Nej	Nej
Olika radioutrustningar?	Ja	Ja	Ja
Bärvågsdata i realtid och DGPS in i mottagaren samtidigt?	Nej	Nej	Ja
Bärvågsdata i realtid och DGPS ut ur mottagaren samtidigt?	Ja	Nej	Ja
Överföringsformat?	Eget	Eget	Eget eller RTCM 2.1
Öppet format för ut- och styrdata via GPS-mottagarens RS232-port?	Ja	Nej	Ja
Olika format på resultatfilen från PC-programmet?	Ja	Ja	Ja
Kan positionsberäkningen ske i referensmottagaren i stället?	Ja	Nej	Ja

Jämförelse - kommentarer

Det finns ingen möjlighet att ta in data från fler än en referensstation på någon av utrustningarna.

Eventuellt kan det bli problematiskt om det finns flera referensstationer som sänder med samma frekvens i närheten av varandra. Med samtliga system är det naturligtvis möjligt att under mätningen byta referensstation såvida de sänder ut data på olika frekvenser. Förutsättningen är då att man har en radioutrustning som kan skifta mellan olika frekvenser.

Man är inte bunden till att använda någon speciell radioutrustning. Det enda kravet är att radioutrustningen arbetar inom lämpligt frekvensband samt har en överföringshastighet på minst 4800 baud. Inställningar för respektive radioutrustning görs i en speciell meny i GPS-mottagaren.

Enligt information från Ashtech ska det vara möjligt att i deras utrustning arbeta med DGPS (se [4]) och bärvågsmätning i realtid samtidigt vad gäller utsändning från referensstationsmottagaren. Däremot är det för närvarande inte möjligt att samtidigt ta emot och beräkna data från DGPS och bärvågsmätning i realtid i den rörliga enheten.

Med Leicas utrustning är det inte möjligt att arbeta med DGPS och bärvågsmätning i realtid samtidigt, varken vad gäller att ta emot eller att sända ut data.

Enligt information från NOAB ska det vara möjligt att i Trimbles utrustning arbeta med DGPS och bärvågsmätning i realtid samtidigt både vad gäller utsändning från referensstationsmottagaren och att ta emot och beräkna data i den rörliga enheten.

Alla mottagarna använder mottagarspecifikt format för överföring av bärvågsdata mellan den rörliga mottagaren och referensmottagaren, men Trimble-utrustningen kan även använda det preliminära tillägget till RTCM version 2.1. Enligt uppgifter förväntas detta bli fastställt i RTCM version 2.2 under våren 1996 och då förväntas alla fabriker att anpassa sig till den. Då blir det intressant att undersöka kompatibiliteten mellan olika fabriker, d.v.s. om det går att använda en referensmottagare av ett fabriker och en rörlig av ett annat.

Med utrustningarna från Ashtech och Trimble kommer ut- och styrdata från RS232-porten i ett öppet format vilket möjliggör egen utveckling av programvara för fältdator. Man är alltså inte bunden till att använda Ashtechs eller Trimbles fältdatorprogram.

I Leicas utrustning kommer ut- och styrdata från RS232-porten inte i ett öppet format. Det innebär att det inte är möjligt att koppla en fältdator med egenutvecklat program till Leicas utrustning. Man är alltså bunden till att använda Leicas utrustning helt och hållet. Däremot är det möjligt att utbyta data mellan GPS-mottagaren och vissa av Leicas totalstationer via PCMCIA-kortet.

I Ashtechs och Trimbles tillhörande PC-program går det att få ut resultatet i form av koordinater i olika filformat, bl.a. finns DXF-format som är ett standardformat för CAD-program. Dessutom är det möjligt att definiera egna filformat. Leica har ett separat filhanteringsprogram där man kan få filen i olika filformat.

Med Ashtechs och Trimbles utrustningar kan den rörliga enhetens data överföras till referensstationens mottagare. Detta innebär att beräkningen av den rörliga enhetens positioner sker på referensstationen. En förutsättning är då att referensstationens mottagare är utrustad med programvara som medför att beräkningen går att genomföra i realtid.

8. REALTIDSRESULTAT OCH EFTERBERÄKNING

Med samtliga system genomfördes samma mättrunda tre gånger under samma dag. Den 12 september inträffade dessa mättillfällen 11:21 - 12:00, 12:46 - 13:25 samt 15:02 - 15:41. Koordinatdifferenser från realtidsresultaten på runda nummer två redovisas i nedanstående tabeller. Koordinaterna är jämförda med terrestert bestämda koordinater. Dessa kan i det här sammanhanget betraktas som felfria. Differenserna är redovisade på en **halv centimeter när**. Anledningen till detta är dels att inga större noggrannhetstester eftersträvades, dels att GPS-antennen var placerad på en stång utan stöd.

Den tid som anges är den tid det har tagit tills bestämningen av periodobekanta var färdig i de fall då låsning till färre än fyra satelliter inte kunde bibehållas under förflyttningen. Den första punkten (402) mättes in direkt efter att bestämningen av periodobekanta var klar och därför anges ingen tid för den punkten. Att låsningen behölls mellan punkterna innebär att minst fyra satelliter var tillgängliga hela tiden.

Resultaten från efterberäkningen och mätningarna på avstånden 850 meter och 1200 meter från referensstationen redovisas inte i tabellform utan bara i löpande text. Anledningen till att efterberäkningsresultaten inte redovisas i samma tabeller som realtidsresultaten är att rådata inte sparats för samma mättrundor med samtliga system. Rådata har p.g.a. minnesbrist endast sparats för en mättrunda per system.

Ashtech:

Likvärdiga resultat erhöles i alla tre rundorna. I några fall hann bestämningen av periodobekanta utföras innan vi kom till punkten och redovisas då som 0 minuter.

Bestämningen av periodobekanta tog på alla tre rundorna i genomsnitt drygt en minut. Noggrannheten på 0,5-1 centimeter faller inom ramen för specifikationerna. På 850 meter från referensstationen tog det obetydligt längre tid men på 1200 meter från referensstationen märktes en skillnad, då tog det 2-3 minuter. På dessa avstånd gjordes endast två mätningar per avstånd varför resultaten bara kan betraktas som indikationer.

Vid efterberäkningen i PC-programmet PRISM uppstod inga problem. Vid jämförelse av resultaten i realtid och vid efterberäkningen erhöles i stort sett identiska resultat.

Punkt	Tid för best. av period-obekanta	Differenser (realtid) i cm			Kommentarer
		$x_i - x_{känd}$	$y_i - y_{känd}$	$h_i - h_{känd}$	
402	-----	0,5	-1,0	-2,0	ingen tidtagning
303	Behöll	0,0	-1,0	1,0	
203	Behöll	-0,5	-0,5	0,0	
406	1 min	0,0	0,5	1,0	
707	2:10 min	-0,5	-0,5	-0,5	
308	1:30 min	0,5	0,5	1,5	
203	0 min	0,5	-1,0	1,0	
Medelavvikelse (x, y, h)		0,0 cm	-0,4 cm	0,3 cm	$Medel_x = \frac{\sum (x_i - x_{känd})}{n}$
Medelavvikelsens standardavvikelse (x, y, h)		0,6 cm	0,7 cm	1,2 cm	$S_x = \sqrt{\frac{\sum ((x_i - x_{känd}) - Medel_x)^2}{n - 1}}$

Instr.: Ashtech	Tid: 12:22 - 13:01	Obs.intervall: 1 s.	Antennhöjd: 1,900 m.
Datum: 950918	Mättrunda: 2	Elevation: 15 °	Väder: Sol, vindstilla

Leica:

Likvärdiga resultat erhöles i alla tre rundorna. Av någon anledning verkar det som om höjdvärdena har ett systematiskt fel. Vid en närmare studie tycks den mänskliga faktorn föranlett felet. Vid kontrollmätningar av trefoten verkar det som om antennhöjden på referensstationen är angiven med ett värde som är ca. 2,5 centimeter för lågt. Detta innebär att höjdvärdena ska påföras 2,5 centimeter och dessa värden anges inom parentes. Med anledning av detta får höjdvärdena betraktas med en viss reservation.

Bestämningen av periodobekanta tog på alla tre rundorna i genomsnitt drygt en minut. Noggrannheten på 0,5-1 centimeter faller inom ramen för specifikationerna. Vid mätning på 850 meter från referensstationen tog det något längre tid, 2-3 minuter att bestämma periodobekanta. På 1200 meter från referensstationen erhöles inga resultat beroende på dåligt batteri. På dessa avstånd gjordes endast två mätningar per avstånd varför resultaten bara kan betraktas som indikationer.

Efterberäkningen i beräkningsprogrammet SKI kunde inte genomföras med tillfredsställande resultat. Anledningen till detta är dock ouppklarad, den troliga orsaken enligt Leica är ett användarfel. Vid ett senare tillfälle genomfördes efterberäkning på nytt med nya data som sparats samtidigt som realtidsmätning pågick. Denna gång fungerade allt som det skulle.

Punkt	Tid för best. av period-obekanta	Differenser (realtid) i cm			Kommentarer
		$x_i - x_{känd}$	$y_i - y_{känd}$	$h_i - h_{känd}$	
402	-----	1,0	0,0	-2,5 (0,0)	ingen tidtagning
303	Behöll	0,0	0,5	-1,0 (1,5)	
203	Behöll	0,5	1,0	-2,5 (0,0)	
406	1:10 min	0,0	0,5	-3,5 (-1,0)	
707	0:50 min	0,0	0,0	-2,5 (0,0)	
308	1:15 min	0,0	0,5	-2,0 (0,5)	
203	0:50 min	-0,5	0,0	-2,5 (0,0)	
Medelavvikelse (x, y, h)		-0,1 cm	0,3 cm	-2,4 cm (0,3 cm)	$\text{Medel}_x = \frac{\sum_i (x_i - x_{känd})}{n}$
Medelavvikelsens standardavvikelse (x, y, h)		0,4 cm	0,3 cm	0,7 cm (0,8 cm)	$S_x = \sqrt{\frac{\sum_i ((x_i - x_{känd}) - \text{Medel}_x)^2}{n - 1}}$

Instr.: Leica	Tid: 12:42 - 13:21	Obs.intervall: 2 s.	Antennhöjd: 1,900 m.
Datum: 950913	Mättrunda: 2	Elevation: 15°	Väder: sol / moln, vindstill

Trimble:

Likvärdiga resultat erhöles i alla tre mättrundorna.

Bestämningen av periodobekanta tog på alla tre rundorna i genomsnitt lite drygt en minut. Noggrannheten på 0,5-1 centimeter faller inom ramen för specifikationerna. På 850 meter tog det obetydligt längre tid men på 1200 meter märktes en skillnad, då tog det 2-3 minuter. På dessa avstånd gjordes endast två mätningar per avstånd varför resultaten bara kan betraktas som indikationer.

Vid efterberäkningen i PC-programmet GPSurvey uppstod inga problem. Vid jämförelse av resultaten i realtid och vid efterberäkningen erhöles i stort sett identiska resultat.

Punkt	Tid för best. av period-obekanta	Differenser (realtid) i cm			Kommentarer
		$x_i - x_{känd}$	$y_i - y_{känd}$	$h_i - h_{känd}$	
402		1,0	0,5	1,5	
303	Behöll	0,5	0,0	2,5	
203	Behöll	-0,5	1,5	1,0	
406	2:00 min	0,5	1,0	1,5	
707	1:00 min	-0,5	0,0	-0,5	
308	Behöll	0,5	0,5	0,5	
203	1:30 min	0,5	0,5	1,0	
Medelavvikelse (x, y, h)		0,2 cm	0,5 cm	1,1 cm	$\text{Medel}_x = \frac{\sum (x_i - x_{känd})}{n}$
Medelavvikelsen a standardavvikelse (x, y, h)		0,6 cm	0,5 cm	0,9 cm	$S_x = \sqrt{\frac{\sum ((x_i - x_{känd}) - \text{Medel}_x)^2}{n - 1}}$

Instr.: Trimble	Tid: 12:46 - 13:27	Obs.intervall: 1 s.	Antennhöjd: 1,900 m.
Datum: 950912	Mättrunda: 2	Elevation: 15°	Väder: mulet, vindstill, 13°

Jämförelse - kommentarer

Ingen signifikant skillnad varken i noggrannhet eller tid för bestämning av periodobekanta kan påvisas. Alla systemen uppvisade en noggrannhet på 0,5 - 1 centimeter vilket faller inom ramen för specifikationerna. Vid mätningarna i mättrundan var initialiseringstiden för samtliga system drygt en minut. Efterberäkningen av Leica-mätningarna gav inte tillfredsställande resultat. Vid ett senare tillfälle har dock efterberäkning av nya data genomförts med godkänt resultat.

9. SLUTKOMMENTARER

Helhetsintrycket av de undersökta systemen är att de är i stort sett likvärdiga både vad gäller noggrannhet och funktionalitet. De skillnader som finns mellan fabrikaten är inte av den art att bärvågsmätning i realtid inte går att utföra eller försvåras i någon utsträckning. Däremot finns det vissa smärre skillnader i funktionalitet.

Vilket system som är att föredra beror till stor del på den enskilde användarens egna krav och om utrustning redan innehas. Om man redan har en GPS-utrustning känns det kanske ganska naturligt att fortsätta använda den och bara uppgradera den för bärvågsmätning i realtid.

Förhoppningsvis kommer samtliga utrustningarnas vikt att minska inom snar framtid. Det känns ganska tungt att bära 10 - 15 kg på ryggen en hel dag. Tyvärr utgör batterierna en ganska stor del av vikten vilket kanske gör viktminskningen svårare.

Leica och Trimble har valt att den interna programvaran måste uppgraderas på både referens- och den rörliga mottagaren för bärvågsmätning i realtid. Med Ashtechs utrustning är det däremot bara nödvändigt att uppdatera den mottagare (oftast den rörliga) som utför beräkningen i realtid. Samtliga system tar dock ut en extra kostnad för realtidstillvalet.

Förutsättningarna och den specificerade noggrannheten är i stort sett desamma för samtliga system. För att uppnå den maximala räckvidden förutsätts en radioutrustning med hög uteffekt.

I Leicas kontrollenhet och i Trimbles mottagare finns möjligheten att välja olika uppsättningar inställningsparametrar för mottagaren. Dessa uppsättningar inställningsparametrar kan kopieras och ändras som man vill ha dem. Användaren behöver alltså inte ändra GPS-mottagarens alla parametrar för varje gång. Något liknande finns inte i Ashtechs utrustningar.

Med Leicas utrustning är det möjligt att lagra data på ett PCMCIA-kort, vilket kan anses behändigt.

För många tillämpningar bör en GPS-mottagare med funktion för flygande bestämning av periodobekanta väljas. Samtliga system i den här undersökningen innehöll möjligheten att bestämma periodobekanta även när mottagaren är i rörelse.

Det som skilde systemen åt vid inmätning och utsättning var att Ashtechs fältdatorprogram inte har någon funktion for utsättning av referenslinje.

Leica är det enda systemet där man kan lagra koordinaterna direkt i ett lokalt koordinatsystem. De andra två systemen bygger på att transformationen sker i samband med överföringen till det tillhörande PC-programmet. Koordinaterna kan dock under mätningen visas i andra koordinatsystem i fältdatorn.

Informationsvisning under mätningen är likvärdig for samtliga system. Leica har dock fördelen att även information om referensmottagarens batteristatus och minnesutrymme visas.

Vid undersökningens genomförande innehöll Leicas fil från realtidsmätningen något knapphändig information jämfört med Ashtechs och Trimbles redovisningar. Under december har dock resultatfilen tillförts utförligare information. Fördelen med Ashtechs och Trimbles system är att det finns möjlighet att använda filen direkt i deras respektive nätutjämningsprogram. Detta kan vara av intresse om data lagrats på flera referensmottagare. I Trimbles fil redovisas dessutom om det händer något under mätningens gång, vilket kan vara positivt vid analyser av mätningen.

Det finns ingen möjlighet att ta in data från fler än en referensstation på någon av utrustningarna.

Enligt information från Ashtech ska det vara möjligt att i deras utrustning arbeta med DGPS och bärvågsmätning i realtid samtidigt vad gäller utsändning från referensstationsmottagaren. Däremot är det för närvarande inte möjligt att samtidigt ta emot och beräkna data från DGPS och bärvågsmätning i realtid i den rörliga enheten.

Med Leicas utrustning är det inte möjligt att arbeta med DGPS och bärvågsmätning i realtid samtidigt, varken vad gäller att ta emot eller att sända ut data.

Enligt information från NOAB ska det vara möjligt att i Trimbles utrustning arbeta med DGPS och bärvågsmätning i realtid samtidigt både vad gäller utsändning från referensstationsmottagaren och att ta emot och beräkna data i den rörliga enheten.

Alla mottagarna använder mottagarspecifikt format for överföring av bärvågsdata mellan den rörliga mottagaren och referensmottagaren, men Trimble-utrustningen kan även använda det preliminära tillägget till RTCM

version 2.1. Enligt uppgifter förväntas detta bli fastställt i RTCM version 2.2 under våren 1996 och då förväntas alla fabriker att anpassa sig till den. Då blir det intressant att undersöka kompatibiliteten mellan olika fabriker, d.v.s. om det går att använda en referensmottagare av ett fabriker och en rörlig av ett annat.

Med utrustningarna från Ashtech och Trimble kommer data (observationsdata m.m.) från RS232-porten i ett öppet format vilket gör det möjligt att koppla vilken fältdator (med eget program som tolkar data) som helst till utrustningen. Man är alltså inte bunden till att använda Ashtechs eller Trimbles fältdator. Med Leicas utrustning är man dock bunden till att använda Leicas utrustning rakt igenom.

I Ashtechs och Trimbles tillhörande PC-program går det att få ut resultatet (koordinaterna) i olika filformat, bl.a. finns alternativet DXF-format som är någon form av standardformat för CAD-program. Dessutom är det möjligt att definiera egna filformat. Leica har ett separat filhanteringsprogram där man kan få ut filen i olika filformat.

För Ashtechs och Trimble utrustningar kan dataöverföringen även ske i motsatt riktning. Detta innebär att den rörliga enhetens data skickas via radiolänken till referensstationen och att beräkningen av den rörliga enhetens positioner sker i referensstationens mottagare.

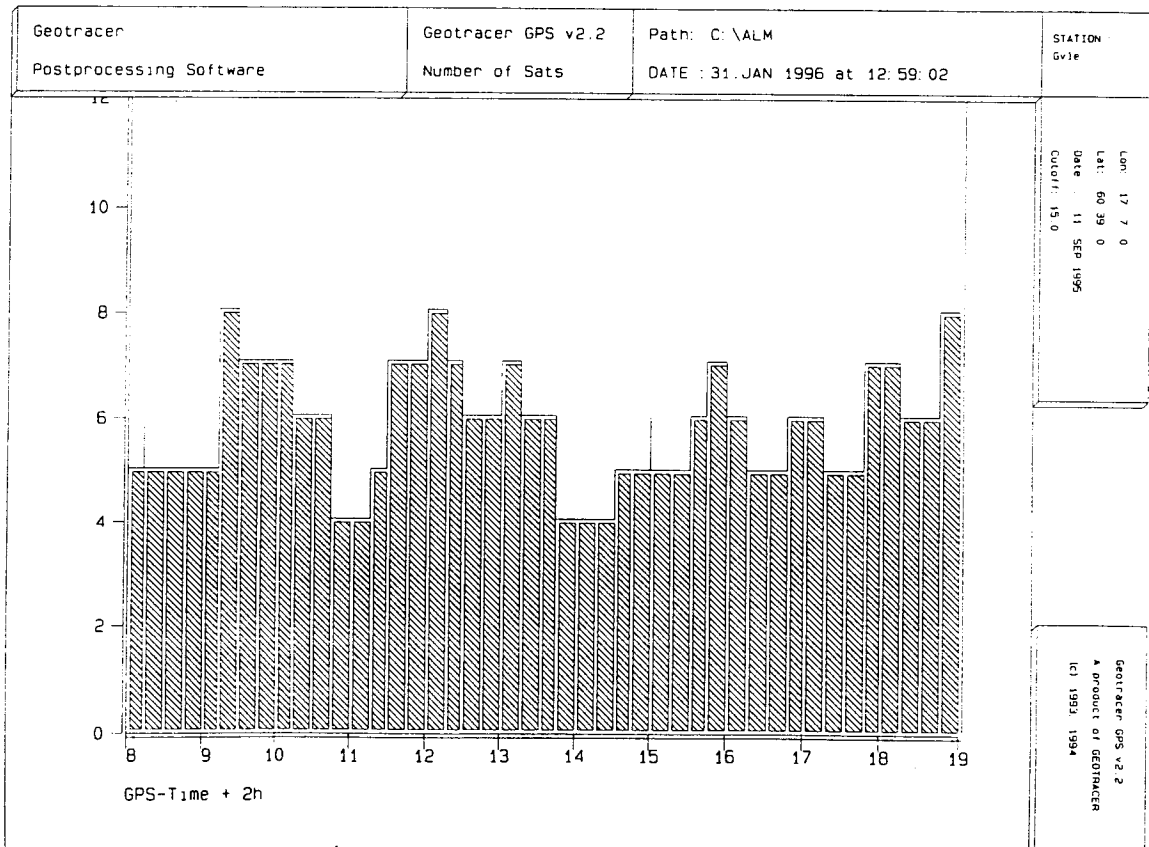
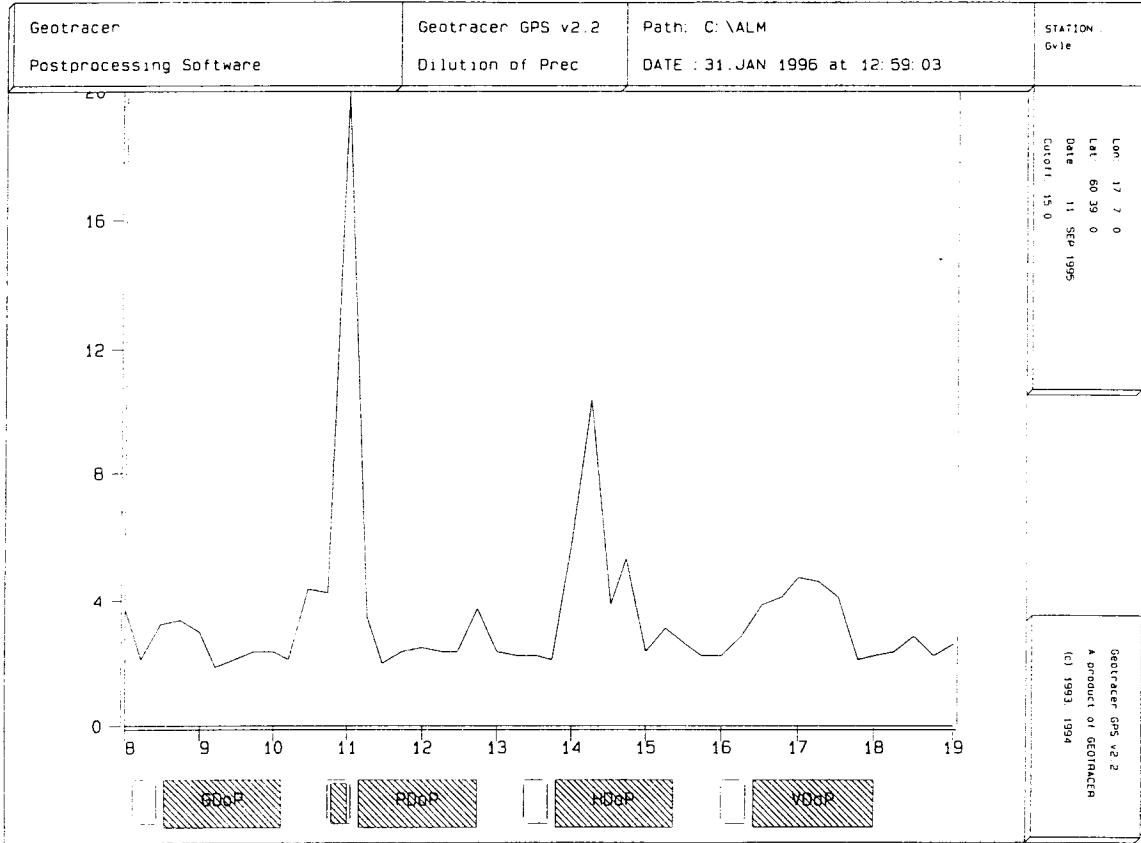
Vad gäller realtidsresultaten från testmätningarna upptäcktes inga signifikanta skillnader mellan utrustningarna. Mätningarnas noggrannhet föll inom ramen för specifikationerna. Beträffande efterberäkningen uppstod däremot bekymmer med data från Leica. Enligt Leica var den troliga orsaken ett användarfel. Vid ett senare tillfälle har nya mätningar gjorts och därefter data beräknats i efterhand, vilket gav lyckat resultat.

10. REFERENSLISTA

- [1] Eriksson Å, Lilje M: Diskussioner av frågeställningar relaterade till GPS- detaljmätning, PM, Lantmäteriverket, 1995
- [2] Lantmäteriverket: HMK-Ge:GPS, Gävle, 1993
- [3] Reit B-G: SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem, Lantmäteriverket, 1994
- [4] SIS: Satellitbaserad positionsbestämning GPS - terminologi, svensk standard SS 63 70 01, utgåva 2, 1994
- [5] Strandberg H: Höjdbestämning med GPS bärvågsmätning i realtid, examensarbete, KTH, TRITA-GEOD Report 3046, 1995

Satellitkonstellationen vid mätningarna

Bilaga 1



Fil med realtidsresultat från Ashtech, en s.k. c-fil.
 (mellanrummen modifierade för anpassning till word-dokument)

Ashtech, Inc. GPPS-2 Program: PPDIFF-PNAV Version: 2.1.00M

Mon Oct 16 16:50:30 1995 Differentially Corrected: Y

SITE MM/DD/YY HH:MM:SS	SVs	PDOPLATITUDE	LONGITUDE	HI	RMS	FLAG	V_EAST	V_NORTH	V_UP	
0001 09/15/95 09:19:34.000000	7	1.6	N 60.59577970	E 17.25989872	68.8843	0.031	0	0.000	0.000	0.000
0001 09/15/95 09:19:34.000000	7	1.6	N 60.59577966	E 17.25989869	68.8803	0.022	0	0.000	0.000	0.000
0001 09/15/95 09:19:35.000000	7	1.6	N 60.59577966	E 17.25989884	68.8803	0.022	0	0.000	0.000	0.000
0001 09/15/95 09:19:36.000000	7	1.6	N 60.59577967	E 17.25989870	68.8783	0.022	0	0.000	0.000	0.000
0001 09/15/95 09:19:37.000000	7	1.6	N 60.59577963	E 17.25989864	68.8783	0.022	0	0.000	0.000	0.000
0002 09/15/95 09:20:57.000000	7	1.6	N 60.59580956	E 17.26001241	68.1176	0.022	0	0.006	0.000	0.002
0002 09/15/95 09:20:58.000000	7	1.6	N 60.59580952	E 17.26001239	68.1206	0.022	0	0.000	0.000	-0.001
0002 09/15/95 09:20:59.000000	7	1.6	N 60.59580949	E 17.26001246	68.1176	0.022	0	0.000	0.000	-0.001
0002 09/15/95 09:21:00.000000	7	1.6	N 60.59580950	E 17.26001240	68.1236	0.022	0	0.000	0.000	-0.001
0002 09/15/95 09:21:01.000000	7	1.6	N 60.59580951	E 17.26001241	68.1236	0.022	0	0.000	0.000	-0.001
0003 09/15/95 09:22:15.000000	7	1.6	N 60.59585262	E 17.26003874	67.8689	0.023	0	0.001	0.000	-0.000
0003 09/15/95 09:22:16.000000	7	1.6	N 60.59585262	E 17.26003882	67.8679	0.023	0	0.000	0.000	-0.000
0003 09/15/95 09:22:17.000000	7	1.6	N 60.59585262	E 17.26003870	67.8669	0.022	0	0.000	0.000	-0.000
0003 09/15/95 09:22:18.000000	7	1.6	N 60.59585265	E 17.26003868	67.8669	0.022	0	0.000	0.000	-0.000
0003 09/15/95 09:22:19.000000	7	1.6	N 60.59585264	E 17.26003870	67.8669	0.022	0	0.000	0.000	-0.000

Fil med realtidsresultat från Ashtech, en s.k. d-fil.
(mellanrummen modifierade för anpassning till word-dokument)

POINT är den valda symbolkoden, siffrorna före symbolkoden är det uppräknade punktnumret, 1.9000 anger antennhöjden och siffrorna efter antennhöjden är attributvärdet.

C 465571.240000	
TP0001PPOINT	1.9000402
C 465653.800000	
TP0002PPOINT	1.9000303
C 465731.410000	
TP0003PPOINT	1.9000203
C 465962.350000	
TP0004PPOINT	1.9000406
C 466394.620000	
TP0005PPOINT	1.9000707
C 466712.290000	
TP0006PPOINT	1.9000707
C 466767.320000	
TP0007PPOINT	1.9000308
C 467091.020000	
TP0008PPOINT	1.9000203B
C 467415.710000	
TP0009PPOINT	1.9000502
C 467804.240000	
TP0010PPOINT	1.90006
C 468065.280000	
TP0011PPOINT	1.90006H

Fil med realtidsresultat från Leica.
(mellanrummen modifierade för anpassning till word-dokument)

		@%Unit:	m		
	@%Coordinate type:	Geodetic			
	@%Reference ellipsoid:	undefined			
@#203	60 35 44.286409 N	17 15 36.962602 E	67.7861	22	
@#203	60 35 45.069455 N	17 15 36.140201 E	67.8104	22	
@#303	60 35 44.914133 N	17 15 36.044564 E	68.0534	22	
@#402	60 35 44.806978 N	17 15 35.635284 E	68.8425	22	
@#406	60 35 44.618684 N	17 15 36.891527 E	68.1183	22	
@#502	60 35 44.667835 N	17 15 35.539764 E	68.4704	22	
@#502	60 35 44.598084 N	17 15 35.588053 E	70.2809	22	
@#6	60 35 44.942333 N	17 15 39.074384 E	68.4253	22	
@#6hojd	60 35 44.942301 N	17 15 39.073062 E	68.4660	22	

Utdrag ur fil med realtidsresultat från Trimble.

SC V03 Copyright 1985-92 by Datacom Software Research Limited.
 Serie nr 0000 15-Sep-95 10:16
 Vinkel: Grader Avst : Meter Tryck : Inch Hg

 Temp : Fahrenht Koord : X-Y-Z Hv : H'ger

 JOBB JobbID MARTSBO2

 NOTE TS 12-Sep-95 12:40

 NOTE TS 12-Sep-95 12:40
 PROJ KI Transverse Merc
 Orig Lat 0-00'00.0000"X Orig Lng 15-48'29.8000"Y
 Orig Hgt <Null> Origo X 0.000
 Origo Y 1500000.000 Orig Elev <Null>
 Skala 1.000000000
 Orient 1 <Null> Orient 2 <Null>
 Jordradi 6377397.155 Avplattn 299.153

 DATUM KI Sju param
 Srce Rad 6378137.000 Srce Flt 298.257
 Rotatn X -0ø00'04.3965" Rotatn Y 0ø00'01.9866"
 Rotatn Z -0ø00'05.1846" Transl X -424.300
 Transl Y 80.500 Transl Z -613.100
 Skala 0.000

 NOTE Dist units: Meters

 GPSANT KI Antennh"jd 0.000 Measurement True vertical

 GPS POSKI Point ID 0MART Lat 60-35'42.45306"X Lng 17-15'30.67906"Y
 Mthd Anv indata Z 75.354

 NOTE BA Start base

 EQUIP BA Mottagare 4000SSi Serial 00010050
 Antenn 4000ST/SSE L1/L2 Geo Serial
 Radie 0.23340 V.Const 0.00950 Tape adj 0.00000

 GPSANT BA Antennh"jd 0.124 Measurement True vertical

 GPS REFBA Point ID 0MART Lat 60-35'42.45306"X Lng 17-15'30.67906"Y
 Mthd Autonomous Z 75.478

 NOTE TP Start rover

EQUIP TP	Mottagare 4000SSi	Serial	00010054
	Antenn Compact L1/L2	Serial	
	Radio 0.00000	V.Const 0.06250	Tape adj 0.00000
SURVEY TP	Elevation mask 15	PDOP mask	6.000
NOTE SI	Init gained: On the fly		
NOTE TS	12-Sep-95 12:50		
GPSANT SI	Antennh"jd 0.124	Measurement	True vertical
GPS REFSI	Point ID 0MART	Lat 60-35'42.45306"X	Lng 17-15'30.67906"Y
	Mthd Autonomous	Z 75.478	
GPSANT TP	Antennh"jd 1.900	Measurement	True vertical
GPS VECTP	Point ID 402	Lat 60-35'44.80735"X	Lng 17-15'35.63561"Y
	Z 70.840	Kod <Ej text>	
	Mthd Phase differntl	H.Ac 0.008	V.Ac 0.018
GPSQC1 TP	Min satellites 06	PDOP max	3.164
	Total GPS pos 0004	HDOP max	1.305
	Monitor status Nej	VDOP max	2.883
	Start wk 0818 sek 211672.000	Horizontal SD	<Null>
	End wk 0818 sek 211678.000	Vertical SD	<Null>
GPSQC2 TP	Ttl satellites 06	Fel skala	0.005417060
VCV xx	0.000005530	VCV xy	-0.000000250
VCV xz	0.000008830	VCV yy	0.000001940
VCV yz	0.000000800	VCV zz	0.000034430
GPS VECTP	Point ID 402B	Lat 60-35'44.80746"X	Lng 17-15'35.63564"Y
	Z 70.841	Kod <Ej text>	
	Mthd Phase differntl	H.Ac 0.006	V.Ac 0.012
GPSQC1 TP	Min satellites 06	PDOP max	3.034
	Total GPS pos 0008	HDOP max	1.277
	Monitor status Nej	VDOP max	2.752
	Start wk 0818 sek 211818.000	Horizontal SD	<Null>
	End wk 0818 sek 211831.000	Vertical SD	<Null>
GPSQC2 TP	Ttl satellites 06	Fel skala	0.005659780
VCV xx	0.000002930	VCV xy	-0.000000150
VCV xz	0.000004430	VCV yy	0.000001040
VCV yz	0.000000330	VCV zz	0.000017010
GPS VECTP	Point ID 203	Lat 60-35'45.06929"X	Lng 17-15'36.14083"Y
	Z 69.805	Kod <Ej text>	

	Mthd Phase differntl H.Ac 0.008	V.Ac 0.015	
GPSQC1 TP	Min satellites 07	PDOP max	2.270
	Total GPS pos 0006	HDOP max	1.027
	Monitor status Nej	VDOP max	2.025
	Start wk 0818 sek 212246.000	Horizontal SD	<Null>
	End wk 0818 sek 212254.000	Vertical SD	<Null>
GPSQC2 TP	Ttl satellites 07	Fel skala	0.007318920
VCV xx	0.000006980	VCV xy	-0.000000480
	VCV xz 0.000008640	VCV yy	0.000002400
	VCV yz -0.000001350	VCV zz	0.000021290
NOTE TS	12-Sep-95 13:04		
NOTE SI	Init lost		
NOTE SI	Init gained: On the fly		
GPS VECTP	Point ID	406Lat 60-35'44.61896"X Lng 17-15'36.89197"Y	
	Z	70.122	Kod <Ej text>
	Mthd Phase differntl H.Ac 0.008	V.Ac 0.016	
GPSQC1 TP	Min satellites 07	PDOP max	2.219
	Total GPS pos 0005	HDOP max	
	1.018		
	Monitor status Nej	VDOP max	
	1.972		
	Start wk 0818 sek 212665.000	Horizontal SD	<Null>
	End wk 0818 sek 212672.000	Vertical SD	<Null>
GPSQC2 TP	Ttl satellites 07	Fel skala	0.007743620
VCV xx	0.000008130	VCV xy	-0.000000390
VCV xz	0.000009920	VCV yy	0.000002940
VCV yz	-0.000001460	VCV zz	0.000025830

* SLUT P RAPPORT *

Leverantörernas adresser

Ashtech: Ag Com ab
Transportgatan 5
422 46 Hisings Backa

Leica: Leica AB
Srömögatan 6
164 40 Kista

Trimble: NOAB Nord Optik AB
Veddestavägen 17
175 62 Järfälla