

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

Tekniska skrifter - Professional Papers

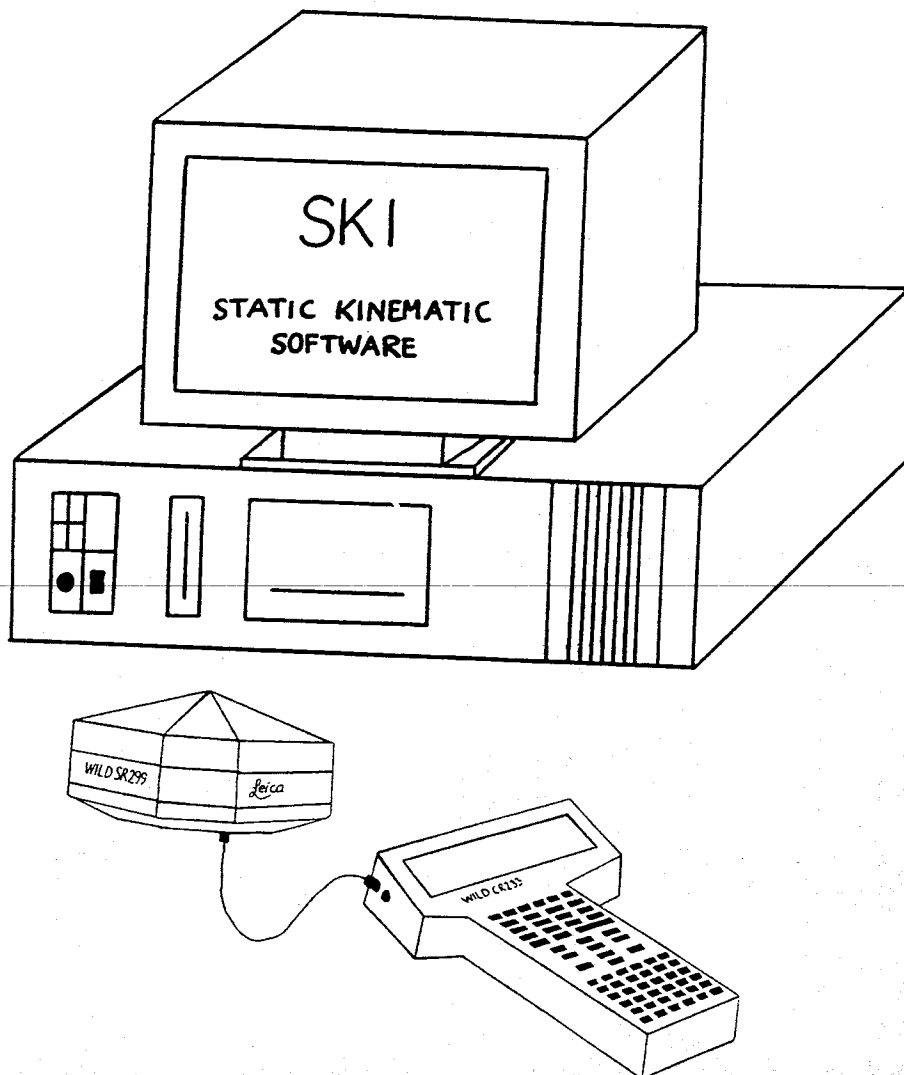
LMV-RAPPORT

ISSN 0280-5731

1993:2

Undersökning av Wild GPS-System 200 – GPS-mottagare samt tillhörande programvara

ett examensarbete av
Christina Ottoson 92/93



Gävle 1993

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1989:4 Ekman M: Geodesins historia i Sverige - en liten översikt.
- 1990:3 Edgren M & Sundstrand G: Utredning om och förslag till stomnät och koordinatsystem i Stor-Stockholm.
- 1990:8 Becker J-M: The Swedish Experience with the ISS Uliss 30 - Results from Tests and Pilot Projects.
- 1990:10 Hedling G, Jivall L, Jonsson B: Results and Experiences from GPS Measurements 1987-1990 - SVENAV-87, Local Control Networks and Dual-frequency Measurements.
- 1990:11 Jonsson B & Jivall L: Experiences from Kinematic GPS Measurements.
- 1990:13 Jivall L & Ollvik L: BFR-projektet "Pseudo-kinematisk/kinematisk GPS-mätning för geodetiska tillämpningar" - lägesrapport för etapp 1.
- 1991:1 Ekman M: Ellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige.
- 1991:4 Jonsson B: Kort introduktion till GPS.
- 1991:7 Becker J-M & Andersson B: Utvärdering av NA 2000 - nytt digitalt avvägningsinstrument. (Engelsk version 1991:15.)
- 1991:8 Lithén T & Persson C-G: Planering av GPS-nät.
- 1991:17 Jivall L: Jämförande GPS-beräkningar med TRIMVEC-PLUS.
- 1991:18 Jivall L: GPS-beräkning för 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.
- 1992:21 Eurenus B & Norin D: GPS inom förrättningsmätning.
- 1993:1 Ekman M: Geoiden i Sverige och geoidhöjdssystemet RN 92.



Titel

Undersökning av Wild GPS-System 200 -
GPS-mottagare samt tillhörande programvara

ett examensarbete av Christina Ottoson

Huvudinnehåll

Undersökningen av Wild GPS-System 200 utfördes som ett examensarbete vid KTH och LMV under hösten 1992 och våren 1993. Både GPS-utrustningen och tillhörande beräkningsprogramvara undersöktes. Även teoretiska studier, beträffande snabb statistisk mätning, gjordes. Mätningarna utfördes både med traditionell statistisk mätning och med den relativt nya metoden snabb statistisk mätning.

Följande personer har fungerat som handledare:

Bo Jonsson
LMV-KG
Gävle

Erick Asenjo
Inst. för Geodesi
och Fotogrammetri
Stockholm

Examinator för examensarbetet har varit:

Lars E Sjöberg
Inst. för Geodesi och Fotogrammetri, Stockholm

LDOK

Kg Satellitgeodesi

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE

Allmänna Förlaget

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	3
Sammanfattning	4
Summary	5
1. Inledning	6
2. Olika mätmetoder med GPS	7
2.1 Varför behöver periodobekanta lösas ?.....	7
2.2 Statisk mätning.....	9
2.3 Kinematisk bärvågsmätning.....	9
2.4 Pseudo-kinematisk mätning.....	10
3. Snabb statisk mätning	10
3.1 Inledning.....	10
3.2 Användningsområden.....	13
3.3 Fördelar.....	13
3.4 Nackdelar.....	13
4. FARA - Fast Ambiguity Resolution Approach	14
4.1 Teorier bakom FARA.....	14
5. WILD GPS - System 200	17
5.1 Sensorn WILD SR299.....	19
5.2 Kontrollenheten WILD CR233.....	20
5.3 SKI - Static KInematic software.....	22
5.3.1 Configuration.....	25
5.3.2 Preparation.....	25
5.3.3 Project.....	25
5.3.4 Import.....	25
5.3.5 Data processing.....	25
5.3.6 View / Edit.....	26
5.3.7 Utilities.....	26
5.3.8 Datum / Map.....	26

6. Testmätning och beräkning	26
6.1 Testnätet i Rörberg.....	27
6.1.1 Mätning.....	28
6.1.2 Beräkning.....	29
6.1.3 Resultat.....	29
6.2 Stora testnätet kring Gävle.....	31
6.2.1 Mätning.....	32
6.2.2 Beräkning.....	32
6.2.3 Resultat.....	33
6.3 Test i Älvkarleby.....	35
6.3.1 Mätning.....	36
6.3.2 Beräkning.....	36
6.3.3 Resultat.....	37
6.4 Test av RINEX.....	38
7. Slutkommentarer	39
8. Litteraturlista	41
Bilaga 1: Sammanställning av mätdata från mätningarna i Älvkarleby.	
Bilaga 2: Standardavvikelser för mätningarna i Älvkarleby.	
Bilaga 3: Baslinjämförelse mellan dag 1 och dag 2, Rörberg.	

FÖRORD

GPS-mottagare för geodetisk mätning har funnits i många år nu och har använts framför allt vid stommätning. Fortfarande sker dock revolutionerande framsteg inom området. Under våren 1992 har det framkommit beräkningsprogram som kräver betydligt kortare observationstid, ett tiotal minuter för baslinjelängder upp till 15-20 km, vilket förmodligen kommer att leda till att GPS kommer att användas ännu mer i framtiden.

Ett av dessa system är Leicas nyligen presenterade Wild GPS - System 200 samt tillhörande beräkningsprogram, SKI. Det revolutionerande med SKI är att det krävs en observationstid på bara några minuter, för att nå samma höga noggrannhet som tidigare. Därför tyckte jag att det vore intressant att som examensarbete ta en närmare titt på detta beräkningsprogram med tillhörande GPS-utrustning.

Examensarbetet utfördes på geodetiska utvecklingsenheten (KG) vid Lantmäteriverket (LMV) i Gävle. Det omfattade genomförande av fältobservationer i samarbete med Leica och Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), användning av beräkningsprogrammet samt redovisning av resultatet av undersökningen. Syftet var i första hand att undersöka hur pass bra den snabba statistiska metoden var och hur Leicas program fungerade. Testmätningar utfördes dels med snabb statistisk metod men även med traditionell statistisk metod. Den senare metoden användes för att senare kunna göra en jämförelse med andra likvärdiga GPS-mottagare, se Jivall och Ottoson (1993).

Jag vill här passa på att tacka Leica som under två dagar lånade ut två av sina mottagare samt dessutom Hans Borg och Malte Högström från Leica som själva var med under dessa mättdagar. Leica ställde även upp med lån av hårdvarulås till beräkningsprogrammet några veckor. Ett stort tack även till KTH som ställde upp med utlåning av sina två mottagare under alla fem mättdagarna. Dessutom var även Kjell Almgren, doktorand vid KTH, med under alla fem mättdagarna. Sist men inte minst ett stort tack till Lotti Jivall, LMV-KG, som medverkade vid mätningarna och hjälpte till vid beräkningarna.

Handledare för mitt examensarbete har varit Erick Asenjo, geodetiska institutionen vid KTH. Bo Jonsson, geodetiska utvecklingsenheten (KG), var min handledare vid Lantmäteriverket.

Gävle den 12:e februari 1993

Christina Ottoson

Christina Ottoson

SAMMANFATTNING

Leicas System-200 visade sig vara lätt att hantera, både vad gäller GPS-utrustning och beräkningsprogram. I det undersökta systemet ingår dels en s.k. sensor, CR233, dels en greppvänlig fältdator med s.k. 386-processor, SR233. Fördelen med sensorn, där antenn och mottagare är sammanbyggda, är att man slipper den kabel som annars kan medföra problem vid data- och strömöverföring. För närvarande uppstår problem om mätningen måste ske med mast. Kablar längre än 10 meter klarar inte strömöverföring. Därför krävs två batterier, ett vid sensorn och ett vid kontrollenheten. Ett annat alternativ är att sensorn förses med en yttre antenn men för närvarande saknas denna möjlighet.

Den nya programvaran, SKI version 1.04, gör det möjligt att utföra beräkningar av mätningar gjorda med den nyutvecklade teknik som kallas snabb statisk mätning. Av undersökningen framgick att den snabba statistiska mätningen mycket väl kan användas för baslinjemätningar upp till 15 km. Den noggrannhet som erhöles med bara några minuters mätningar var hög och motsvarar mycket väl de krav som finns för geodetiska tillämpningar. Testmätningarna gav goda resultat vid användning av både snabb statisk och traditionell statisk mätning.

Vid snabb statisk mätning kan observationstiderna hållas enligt tabell 5.2, d.v.s. 5-10 minuter för baslinjer upp till 5 km och 10-20 minuter för baslinjer mellan 5 och 10 km. På baslinjer mellan 10 och 15 km har inga testmätningar gjorts men det antas räcka med 30 minuters observationstid. Nu slipper man alltså de långa observationstiderna som förut var förknippad med statisk GPS-mätning. Inte heller krävs det någon låsning till satelliterna vid förflyttning mellan punkterna som är fallet vid kinematisk mätning.

Fördelen med beräkningsprogrammet SKI är att det arbetar under Microsoft Windows, vilket är ett populärt användargränssnitt. Det kan därför användas av många användare utan större problem. Det finns dock en nackdel med version 1.04 av SKI, nämligen att möjligheterna att manuellt förbättra beräkningarna är väldigt små.

De genomförda testmätningarna visade att den nya tekniken innebär en höjning av produktiviteten vid GPS-mätning. Det är därför högst sannolikt att den snabba statistiska mätmetoden kommer att användas flitigt i framtiden. Ett tänkbart användningsområde är vid inmätning av bruksnät, d.v.s. anslutningspunkter för detaljmätning.

SUMMARY

Leicas new GPS-equipment, System-200, tested in this master thesis was very easy to handle. This statement concerns both the GPS receiver and the SKI software. Leica has certainly developed a user friendly system including a controller (CR 233) with a 386-processor and a so called sensor (SR299). By integrating the antenna and the receiver in the sensor no cable is needed to connect the antenna with the receiver. This may otherwise lead to problems when transmitting data and current.

The investigation showed that the rapid static measurement technique is a very good alternative for baseline measurements up to 15 kms. The accuracy obtained from only a few minutes of observations is very high and corresponds to the demands for geodetic positioning. The test measurements showed good results when using rapid static as well as traditional static measurements.

System-200 makes it possible to measure for only 5-10 minutes for baselines up to 5 kms and for 10-20 minutes for baselines between 5 and 10 kms. Baselines between 10 and 15 kms have not been tested but 30 minutes observation time is supposed to be enough. When using the rapid static technique it is now possible to avoid the long waiting time earlier characterising GPS measurements. Satellite locks when moving between the points is not needed, as with kinematic measurements.

At present, problems occur if one wants to use System 200 and high antenna masts in forested areas. Cables longer than 10 metres can not be used to transmit current. Therefore two batteries are needed, one for the sensor and one for the controller. Another alternative is to use an external antenna. This is unfortunately not possible today.

One advantage of the SKI software package is that it runs under Microsoft Windows. Windows is a very popular interface and can therefore be used by many users without any bigger problems. However a disadvantage with the version 1.04 of the SKI programme used in this investigation is that the possibility to manually improve the processing is very limited.

The tests carried out showed that the new rapid static technique results in increased productivity in GPS measurements. Thus, it is very probable that the rapid static technique will be used frequently in future GPS activities.

1. INLEDNING

Under 1980-talet togs Global Positioning System (GPS) successivt i bruk för geodetiska ändamål. Det innebar ett stort framsteg för geodesin. Satellitbaserade mätningar kunde konkurrera med de konventionella mätmetoderna. Men det fanns brister, de största begränsningarna var brist på täckning av satelliter, mottagarens storlek, kostnad och strömförbrukning samt brist på kunskap om datainsamling och -behandling. Alla dessa nackdelar har man dock under årens lopp försökt eliminera och i stor omfattning har man numera också lyckats med det.

GPS-mottagarna har med åren blivit allt mer användarvänliga men framför allt är det den tillhörande beräkningsprogramvaran som utvecklats enormt. Under de senaste åren har stora förbättringar för behandling av GPS-data blivit gjorda. Framst är det lösning av s.k. periodobekanta som utvecklats mycket. Detta har lett till att en ny GPS-metod utvecklats, kallad snabb statisk mätning.

Snabb statisk mätning medför att observationstiden kan minskas från flera timmar vid traditionell statisk mätning ner till några minuter för baslinjelängder upp till 15 km. Kinematisk mätning har varit ett alternativ till statisk mätning då man vill förkorta observationstiden. Fördelen med snabb statisk mätning gentemot kinematisk mätning är att ingen låsning till satelliterna måste bibehållas under förflyttning mellan punkter. Man slipper även att återbesöka punkterna som är nödvändigt vid pseudo-kinematisk mätning.

Leicas nya GPS-utrustning WILD GPS - System 200, som varit föremål för denna undersökning, har bland annat möjlighet att använda den nya metoden snabb statisk mätning. Det är utvecklingen av nya beräkningsalgoritmer i det tillhörande beräkningsprogrammet, SKI, som lett till att observationstiden kunnat minskas så radikalt.

Snabb statisk mätning med Leicas utrustning är möjlig tack vare en metod som kallas FARA, Fast Ambiguity Resolution Approach.

FARA är en teknik för bestämning av periodobekanta. Genom användande av FARA reduceras antalet kombinationer av periodobekanta från miljontals ända ner till 20-40. Denna kraftiga reduktion öppnade möjligheterna att ta hand om mycket korta observationsperioder för positionsbestämning med GPS.

I rapporten redovisas olika mätmetoder med GPS, framför allt snabb statisk mätning. Vidare beskrivs FARA samt Leicas utrustning och beräkningsprogram SKI. Resultat från fem dagars testmätningar med Leicas utrustning, utförda i tre olika testnät runt Gävle under tiden 17:e - 23:e september 1992, finns också med. Testmätningarna är utförda med både snabb statisk och traditionell statisk mätning.

2. OLIKA MÄTMETODER MED GPS

GPS-tekniken befinner sig för närvarande i en snabb utveckling. Allt eftersom utvecklas nya metoder att mäta satellitsignalerna. Den senaste metoden kallas snabb statisk mätning (rapid static på engelska). Några fabrikanter har börjat använda denna metod men just nu (feb 93) befinner sig de flesta i utvecklingsstadiet. Om det fungerar som leverantörerna lovar är det förmodligen en metod som kommer att utnyttjas mycket i framtiden. Fortfarande kommer säkert en del av de äldre metoderna att användas, då de kanske lämpar sig bättre för olika ändamål.

GPS-mätning kan huvudsakligen ske på två olika sätt. Antingen genom att använda de kodade signaler som sänds ut (C/A-kod och P-kod) eller genom att använda bärvågssignalen som den är (på L1- och L2-frekvenserna). Metoderna kallas för kodmätning respektive bärvågsmätning (fasmätning). Kodmätningar är enklast att åskådliggöra geometriskt eftersom de väsentligen är avståndsmätningar. Tiden då signalen lämnade satelliten och anlände till mottagaren samt hastigheten med vilken signalen färdas (= ljusets hastighet) är kända. Därmed kan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas. Avståndet blir dock inte helt korrekt p.g.a. att klockfel finns. Bärvågsmätning - fasmätning på bärvågen - är noggrannare än kodmätning. Våglängden som svarar mot L1-frekvensen är ungefär 19 cm, så även ganska grova bestämningar av fasläget kan ge avståndsmätningar med cm-noggrannhet. Problemet är att bestämma antalet hela våglängder, periodobekanta.

Bärvågsunderstödd kodmätning är en variant av relativ kodmätning. Vid kodmätning finns inga problem med att bestämma periodobekanta utan avståndet beräknas med hjälp av tid och hastighet. Kodmätningen kan förbättras genom att på bärvågen kontinuerligt registrera frekvensförändringar (integrerad doppler). Metoden används för samma typ av mätningar som kinematisk bärvågsmätning. Den är dock inte lika känslig för signalavbrott, vilket är en stor fördel. Den positionsnoggrannhet som det rör sig om är 0,5 - 3 meter och beror på baslinjelängden.

Positionsbestämningen kan antingen vara absolut eller relativ (differentiell). Relativ positionsbestämning innebär bestämning av punkters inbördes lägen. Det är denna typ av positionsbestämning som ger det noggrannaste resultatet och därmed används för geodetiska tillämpningar.

Man skiljer på statisk positionsbestämning, med stillastående mottagare, och kinematisk positionsbestämning, där mottagaren befinner sig i rörelse under mätningens gång.

Nedan följer en kort beskrivning av de nu tillämpade mätmetoderna förutom snabb statisk mätning som behandlas i ett kapitel för sig. Dessa mätmetoder beskrivs också i bland annat Handbok till mätningsskuggörelsen, HMK-Geodesi:GPS.

2.1 Varför behöver periodobekanta lösas?

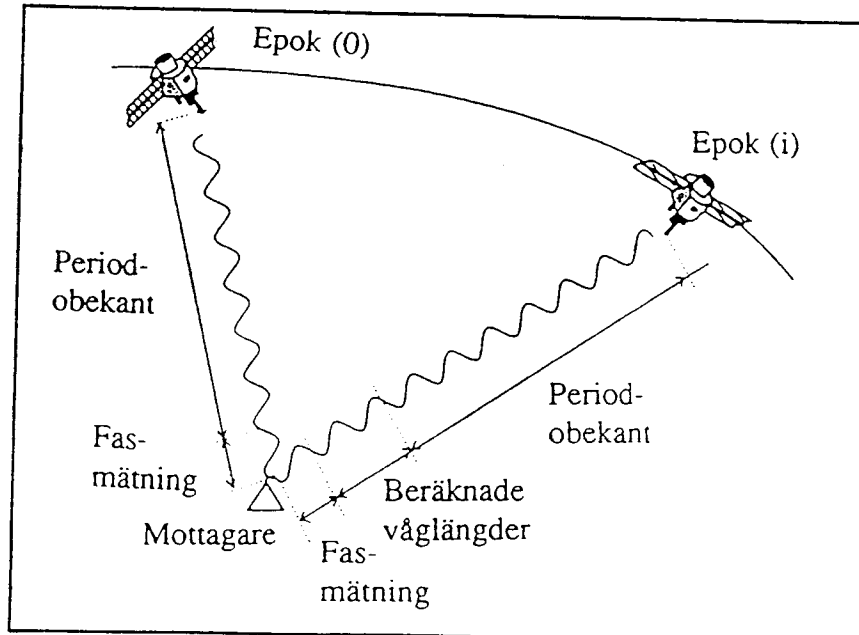
GPS-satelliterna sänder kontinuerligt ut signaler som omfattar bärvågor, koder och meddelanden om banddata. Bärvågorna kallas L1 och L2 och har våglängden 19 cm

respektive 24 cm. C/A- och P-koden, som är modulerade på bärvågorna, har våglängderna 300 meter respektive 30 meter. Med fasmätning på satellitsignalens bärvåg erhålls den mest noggranna relativa positionsbestämningen och denna mätmetod används därför vid geodetiska tillämpningar. Fasmätningen kan uttryckas som en funktion av mottagarens position, satellitens position, periodobekanta samt klockfel hos satellit- och mottagarklockan.

Enkelt sett kan bärvågssignalen mellan satellit och mottagare delas upp i två komponenter - fasmätningen av bärvågen och periodobekanta.

Fasmätningen ger fasen på den sist inkomna vågen från satelliten och kan mätas direkt av mottagaren. Med andra ord mäts alltså den bit av bärvågen som är kortare än en hel våglängd. Mätningen utförs genom att jämföra den inkomna bärvågen med en likadan som genereras i mottagaren. Med periodobekanta menas antalet hela våglängder mellan satellit och mottagare vid fasmätningens början. Värdet på periodobekanta går inte att mäta utan måste beräknas på något sätt.

Vid den första epoken mäts fasen på bärvågen för varje satellit, men antalet hela våglängder, periodobekanta, är okänt. Mottagaren fortsätter att ta emot data och kan på detta vis mäta antal hela våglängder som passerat sedan fasmätningens början, under förutsättning att avbrott i mottagningen inte inträffat. Men periodobekanta vid mätningens början är fortfarande okända. Endast en periodobekant per satellit och mät-session erhålls.



Figur 2.1.1. Bärvågsmätning. Modifierad från Eckels (1992).

För att kunna utnyttja bärvågsmätningen för positionsbestämning behöver man kunna fixera periodobekanta till rätt heltal. För att uppnå en hög noggrannhet är det alltså nödvändigt att periodobekanta kan lösas. När så är gjort är det ingen större idé att fortsätta mätningen. Den observationstid som behöver användas, bestäms alltså av hur fort periodobekanta kan bestämmas.

Den största begränsningen vid bestämning av periodobekanta utgörs av hinder mellan satellit och mottagare samt av atmosfärsförhållandena. Det ska helst vara samma atmosfärsförhållande på de stationer mellan vilka baslinjer ska beräknas.

2.2 Statisk mätning

Den hittills mest använda metoden är statisk mätning. Vid statisk mätning står mottagarutrustningen stilla under hela mättillfället. För statisk mätning krävs flera timmars observationstid för att lösa periodobekanta. En av anledningarna till den långa observationstiden är att det krävs att satellitgeometrin (d.v.s satelliternas inbördes lägen) ska ändras tillräckligt mycket under mätningen för att periodobekanta ska kunna bestämmas. Eftersom ett överflöd av observationsdata erhålls ger mätningarna hög noggrannhet.

Nackdelen med denna mätteknik är att observationstiden blir relativt lång, upp till flera timmar, beroende på avstånden mellan de punkter som ska bestämmas. Trots detta är statisk mätning ofta effektivare än traditionell mätningsteknik. Fördelen gentemot denna teknik är ju bl.a. att inga sikter krävs mellan punkterna.

Både fasmätning och kodmätning kan tillämpas vid statisk mätning.

2.3 Kinematisk bärvågsmätning

Kinematisk GPS-mätning utvecklades för att minska den observationstid som krävs vid statisk mätning.

Vid kinematisk bärvågsmätning måste man ha minst en referensmottagare och en rörlig mottagare. Mätning utförs kontinuerligt medan den rörliga mottagaren förflyttas. Man kan välja mellan att mäta mottagarens rörelse hela tiden eller enstaka punkter på marken. Det första man måste göra är att bestämma de s.k. periodobekanta, d.v.s. antalet hela våglängder. Detta görs genom någon minuts mätning på en känd baslinje. Baslinjen är sedan tidigare bestämd eller så utförs ett s.k. antennbyte. När mätningen börjar måste de rörliga mottagarna ha signallåsning till minst fyra satelliter som är desamma för referensmottagarna. Om mottagaren (såväl referens som rörlig) av någon anledning tappar låsning mot någon / några satelliter så att signaler från färre än fyra gemensamma satelliter erhålls, måste periodobekanta lösas på nytt.

En stor nackdel är alltså att det krävs fri sikt till satelliterna under hela mättiden. Fördelen är snabbheten, den höga noggrannheten samt möjligheten till mätning under rörelse. En noggrannhet på centimetern kan uppnås om avståndet till referensstationen

inte är allt för stort, om satellitkonfigurationen är god och om antalet observationer är tillräckligt. För många praktiska tillämpningar är metoden dock oanvändbar p.g.a. att mottagaren tappar låsningen av signalen då denna avskärmas av t.ex. träd eller byggnader.

Nya metoder där periodobekanta kan bestämmas i flykten med endast några epokers mätningar är under utveckling. Metoden kallas "on the fly ambiguity resolution" och innebär alltså att det inte krävs fri sikt till satelliterna under hela mättiden.

2.4 Pseudo-kinematisk mätning

Pseudo-kinematisk mätning bygger på mätning med ett antal fasta och rörliga mottagare, minst en av varje. Metoden innebär att man med de rörliga mottagarna mäter i flera omgångar på samma punkt (2-4 gånger). Mätintervallen är mycket kortare än vid vanlig statisk mätning, 5-10 minuter. Två på varandra följande mätningar bör planeras med en timmes mellanrum. Ett krav är att minst fyra satelliter måste vara gemensamma i minst två av besöken. Metoden är egentligen baserad på traditionell statisk mätning. För att bestämma periodobekanta utnyttjar man liksom vid statisk mätning satellitgeometrins förändring. Med denna metod är kravet på god satellitkonfiguration större än vid statisk mätning. Denna metod är dock inte så intressant nu när snabb statisk mätning har utvecklats. Totala antalet satelliter och antalet gemensamma satelliter mellan intervallen inverkar på noggrannheten.

Fördelen gentemot statisk mätning är minskningen av observationstiden samtidigt som den höga noggrannheten bibehålls. En väsentlig skillnad mot kinematisk mätning är att kravet på låsningen av signalen under förflyttningen av mottagaren mellan punkterna försvinner.

3. SNABB STATISK MÄTNING

3.1 Inledning

Under början av 90-talet utvecklades en ny metod för GPS-mätning kallad snabb statisk mätning (rapid static på engelska). Denna metod skulle snabba på den traditionella statistiska mätningsprocessen och med avseende på tidsåtgången kunna tävla med kinematisk mätmetodik. Till skillnad från vanlig statisk mätning kan observationstiden minskas avsevärt, från en à två timmar till 5-10 minuter.

Något som krävs för all GPS-mätning, men särskilt för snabb statisk mätning är att jonosfärsstörningarna är mer eller mindre identiska för samtida mätpunkter. Snabb statisk mätning är därför användbar för baslinjelängder upp till omkring 15 km. För att erhålla noggranna resultat kräver dock metoden goda mätförhållanden, bl.a. ett visst antal satelliter och bra DOP-värden (skiljer sig för olika fabrikanter). (DOP = Dilution Of Precision, ett mått på det geometriska bidraget till osäkerheten vid positionsbestämningen). Kravet på goda mätförhållanden är större än vid statisk

mätning och det är även viktigare att punkterna är fria från sikthinder. Den noggrannhet som det rör sig om ligger på centimeter- till millimeternivå.

Om observationstiden har varit för kort eller om mätförhållandena har varit dåliga kan det dock inträffa att periodobekanta kan lösas men att resultatet ändå blir dåligt. Man bör därför tänka på att inte pressa observationstiden till sitt minimum.

Metoden snabb statisk mätning har utvecklats på flera olika håll samtidigt. De flesta metoderna hittills kräver bärvågs-mätning på L1- och L2-frekvenserna samt P-kodsmätningar på L2-frekvensen. En del metoder fungerar med mätningar bara på L1.

Nackdelen med att det krävs P-kodssignal är att P-koden kan vara krypterad och att den planeras att bli otillgänglig för civila användare någon gång under 1993. Det är alltså viktigt att lösning av periodobekanta kan fungera när bara C/A-kodsmätningar används. Ett annat sätt att lösa problemet är att försöka komma åt L2 trots att P-koden är krypterad till Y-kod. För ändamålet finns fyra olika metoder. Två av metoderna bygger på halvering av våglängden genom kvadrering av L2. De andra två resulterar i full våglängd på L2. Vissa metoder innebär att även pseudoavstånden erhålls på P-koden.

För att erhålla goda resultat krävs en korrekt bestämning av periodobekanta. Eftersom det är dubbeldifferensobservationer som används är det periodobekanta för dubbeldifferensen som måste bestämmas till ett korrekt heltal. Det som möjliggör en hög noggrannhet med tillgång till bara några minuters mätdata är användande av speciella algoritmer för bestämning av periodobekanta.

Bestämning av periodobekanta utförs oftast i två steg. Det första steget består av en kombinerad bestämning av parametrar för koordinat, klocka och periodobekanta genom att använda någon traditionell utjämnings-teknik. Det andra steget består av ett försök att fixera dessa uppskattade reella värden på periodobekanta till motsvarande heltalsvärden. Om detta steg lyckas används heltalsvärdena i en utjämnings-teknik, vilket leder till hög noggrannhet i den relativa positionen.

Det finns flera sätt att fixera värdet på periodobekanta till heltal. Det enklaste sättet är förmodligen att bara runda av värdet till närmaste heltal. Den mest använda metoden är den så kallade "generella sökningen".

För den periodobekanta till varje satellit definieras ett sökomfång baserat på statistiska eller andra sökregler. Alla möjliga kombinationer som kan bildas genom att använda heltalsvärden på de periodobekanta inom specificerade sökomfång måste analyseras. Med analys menas här att beräkna resulterande *à posteriori* medelfel. Den uppsättning av periodobekanta, som ger det lägsta medelfelet antas vara det korrekta resultatet.

Den största nackdelen med denna generella sökmetod är att det krävs mycket datorkraft för att analysera alla möjliga kombinationer av periodobekanta. Det kan finnas miljontals olika kombinationer. Det var bland annat för att minska denna stora mängd kombinationsmöjligheter som FARA utvecklades. Det finns även flera andra metoder som kan användas, bl.a. AFM och LSAST.

Ambiguity Function Method (AFM), Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA) och Least Squares Ambiguity (LSAST) är alltså tre olika metoder för bestämning av periodobekanta. Dessa metoder möjliggör en reduktion av antalet kombinationer av periodobekanta som behöver analyseras och kan därför användas vid snabb statistisk mätning. Dessa tre metoder kan även användas då det bara finns tillgång till enfrekvens- och C/A-kodsmätningar.

FARA som används av Leica använder bärvågskomponenten av satellitsignalen för att beräkna en första lösning av periodobekanta. AFM och LSAST använder däremot koden för att uppskatta positionen och definiera sökområdet med hjälp av positionens noggrannhet.

AFM söker efter olika positioner. Vid den rätta positionen erhåller den s.k. "ambiguity function" (periodobekantsfunktionen) sitt maximum. För att reducera antalet positioner som ska testas används antingen en s.k. rutnätsökning eller information från tre dubbeldifferensobservationer. Den första metoden innebär att alla positioner inom ett sökområde runt begynnelsepositionen testas genom höjning av x-, y- och z-koordinaten i tur och ordning. Den senare metoden är dock effektivare eftersom de olika positionerna som ska testas skiljs åt med hjälp av våglängden i stället för avståndet i ett rutnät. Sedan beräknas för varje position värdet på "ambiguity function" (AF). Den position som erhåller det största värdet på AF betraktas som den rätta om den är signifikant större än det näst största värdet på AF. Värdet på periodobekanta beräknas sedan för denna position.

Till skillnad från AFM som testar olika positioner använder både FARA och LSAST minsta-kvadrat-metoden för att söka efter rätt uppsättning av periodobekanta.

LSAST var till en början utvecklad för kinematisk positionering men har senare modifierats för att kunna tillämpas på dubbeldifferensobservationer. LSAST är baserad på sekventiell utjämning av observationerna. Den uppsättning av periodobekanta som fås för tre dubbeldifferenser används för att beräkna positionen. Sedan beräknas de periodobekanta för de andra satelliterna. Detta medför att antalet kombinationsmöjligheter av periodobekanta reduceras. För varje uppsättning av periodobekanta beräknas slutligen en position och variansfaktor. Den lösning som har den lägsta variansfaktorn anses vara den rätta lösningen.

FARA använder sig av information från kofaktormatrisen för att reducera antalet kombinationer av periodobekanta som ska analyseras. För att söka efter den bästa lösningen jämförs variansfaktorn som ska vara låg.

AFM och LSAST klarar av en omedelbar lösning medan FARA kräver en observationstid på minst 5 minuter. Detta beror på att FARA inte använder sig av koden för att erhålla en första lösning. AFM är den enda av dessa tre algoritmer som klarar av periodbortfall (cycle slip). Men periodbortfall kan behandlas av separata algoritmer.

För närmare information om metoderna se Erickson, 1992 och även kapitel 4 för FARA.

3.2 Användningsområden

Tack vare den höga noggrannhet som kan erhållas, kan snabb statisk mätning användas för stommätning. Den kan också användas för detaljmätning, ersättning av polygontåg och lokal triangulering och vid insamling av data för geografiska informationssystem.

Den är speciellt lämplig när många punkter som ligger nära varandra behöver mätas under en kort tid. För att utnyttja metodens effektivitet maximalt mäter man lämpligen med en eller flera rörliga mottagare relativt en eller flera temporära referensstationer.

Beroende på antalet tillgängliga mottagare kan metoden leda till en mer eller mindre stor höjning av effektiviteten.

Snabb statisk mätning är den för tillfället snabbaste och effektivaste GPS-metoden att bestämma koordinaterna för nypunkter i stommät med relativt kort avstånd mellan punkterna. Kanske kommer denna metod att användas i framtiden i stället för totalstationen och även vid höjdmätning, då ingen hög höjdnoggrannhet krävs.

3.3 Fördelar

Den snabba statiska mätmetoden innebär stora fördelar jämfört med traditionell statisk GPS-mätning, som ofta kräver en observationstid på en eller flera timmar. Med den snabba statiska mätmetoden behöver alltså ingen arbetstid att gå till spillo vid själva datainsamlingen eftersom det är nätt och jämnt att man hinner fylla i protokollet och tänka på nästa flytt innan mätningen är över.

I jämförelse med kinematisk mätning möjliggör snabb statisk mätning nästan lika snabb och lika hög noggrannhet i positionsbestämningen utan begränsningen att låsning till minst fyra satelliter måste bibehållas under förflyttningen mellan stationerna. Mottagaren kan även stängas av och batteriet kan bytas under flytten, vilket inte är möjligt vid kinematisk mätning.

I förhållande till pseudo-kinematisk mätning kräver metoden inte återbesök på alla stationerna med minst en timmes mellanrum.

Sammanfattningsvis kan man alltså säga att snabb statisk mätning är lätt att använda, snabb och effektiv. Den kräver inte låsning till satelliterna vid flyttning, och drar lite ström eftersom man stänger av mottagaren under flytten.

Med andra ord: snabb statisk mätning är åtminstone tills vidare den effektivaste GPS-metoden för många tillämpningar.

3.4 Nackdelar

Nackdelen är att metoden är känslig för jonosfärsstörningar och därför bara kan användas för baslinjemätningar upp till 15 km. Metoden ställer även något större krav,

jämfört med statisk mätning, på att mätförhållandena ska vara goda. Det är viktigt att satellitgeometrin (DOP-värdena) är bra. Det är även viktigare än för konventionell statisk mätning att punkterna är fria från hinder och störningskällor, t.ex. radiosignaler.

Har man inte tillräckligt med mätpersonal är det inte heller säkert att metoden kan utnyttjas till sin fulla rätt.

4. FARA - Fast Ambiguity Resolution Approach

4.1 Teorier bakom FARA

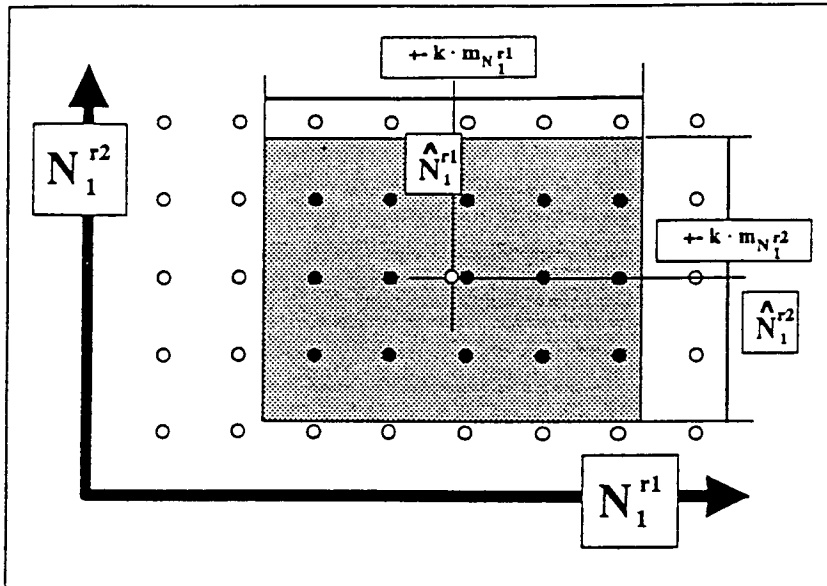
Som tidigare nämnts har det kommit fram metoder som gör att periodobekanta kan lösas mycket snabbare än förr och som en följd av detta räcker det med mycket kortare observationstider. Leica om ingår i undersökningen använder sig av en metod som kallas Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA). Denna metod är utvecklad i samarbete mellan Dr. E. Frei vid Leica Heerbrugg och Prof. G. Beutler vid astronomiska institutet vid universitet i Bern (Frei,1992).

FARA möjliggör en snabb och noggrann positionsbestämning för korta baslinjer genom användning av endast några få minuters observationer.

FARA är en teknik baserad på den generella sökningsstrategin. Det finns tre saker som karakteriserar FARA, nämligen:

1. Användande av statistisk information erhållen från en första utjämnning för att bestämma alla sökombång för de olika periodobekanta.
2. Användande av information som finns i varians-kovarians-matrisen för att förkasta den uppsättning av periodobekanta som inte kan anses som ett giltigt alternativ från en statistisk synvinkel. Varians-kovarians-matrisen erhålls från lösningen av de okända parametrarna för koordinaterna och periodobekanta.
3. Tillämpning av statistiska hypoteser för att välja den korrekta uppsättningen av periodobekanta eller för att avsluta försöket att lösa periodobekanta på grund av att tillräckligt med information inte föreligger.

I de kommande tre figurerna (4.1, 4.2 och 4.3) motsvarar N_f^{rk} periodobekanta för en dubbeldifferens för frekvensen f , referenssatelliten r och satelliten k . För varje periodobekant definieras ett sökombång genom $\pm k \cdot m_{N_f^{rk}}$. k är en konstant vars storlek beror på statistiska överväganden. Vidare betecknar m standardavvikelsen för den periodobekanta. De svarta punkterna inom ellipsen betecknar de möjliga kombinationerna som var och en måste analyseras för att finna den troligaste lösningen.



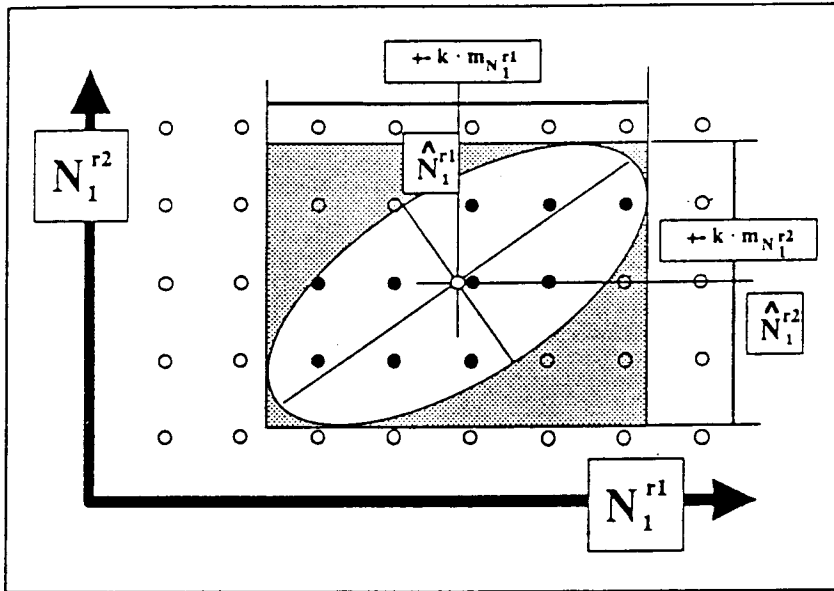
Figur 4.1. Sökområdet för två periodobekanta. Från Frei (1992).

FARA startar med det resultat som kommer från en traditionell utjämning som används för att uppskatta de okända parametrarna genom användande av alla de tillgängliga mätningarna upp till en speciell mätningsepok.

Alla värden på periodobekanta är från början ett decimaltal, men det gäller att hitta ett motsvarande heltalsvärde, vilket som tidigare nämnts sker genom en speciell sökningsmetod. Baserat på information som finns i kofaktormatrisen för de obekanta parametrarna definieras ett sökomfång för varje periodobekant. Alla sökomfången bildar tillsammans ett flerdimensionellt sökområde.

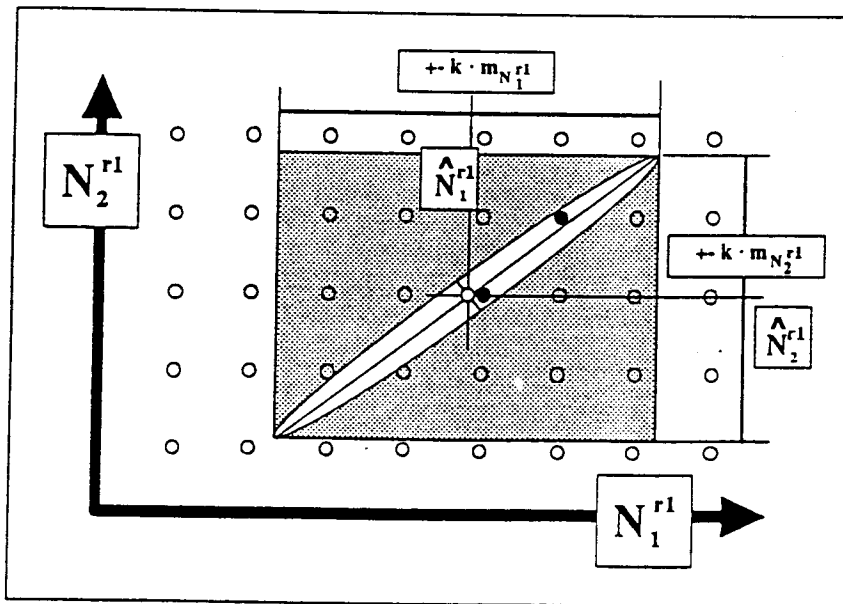
Varje uppsättning av heltalsvärden på periodobekanta inom detta sökområde måste analyseras i en följande utjämning för att beräkna à posteriori medelfel. Den uppsättning av periodobekanta som ger minsta grundmedelfelet väljs som den slutliga lösningen om några få grundläggande krav är uppfyllda.

Eftersom det finns miljontals kombinationer är den primära avsikten att reducera det antal kombinationer periodobekanta, som ska analyseras. Detta utförs genom användning av tilläggsinformation som finns i kofaktormatrisen, nämligen korrelationen mellan de olika periodobekantsparametrarna.



Figur 4.2. Söksområdet för två periodobekanta om korrelationsinformationen för L1 används. Från Frei (1992).

En mycket stor reduktion av sökomfånget kan uppnås om simultana L1- och L2-fasmätningar har gjorts. Mottagarklockans fel kan då elimineras. Om L1 och L2 kombineras till L1-L2 erhålls en längre våglängd (wide lane) vilket medför att det är lättare att bestämma periodobekanta. Detta faktum är använt i FARA.



Figur 4.3. Söksområdet för två periodobekanta om korrelationsinformationen för L1 och L2 används. Från Frei (1992).

Reduktionen av antalet kombinationer kan gå så långt som från 10^{11} med användning av generell sökningsteknik ner till 20 - 40 kombinationer om FARA används. Denna

kraftiga reduktion har öppnat möjligheterna att ta hand om mycket korta observationsperioder för positionsbestämning med GPS.

FARA har sammanfattningsvis följande egenskaper:

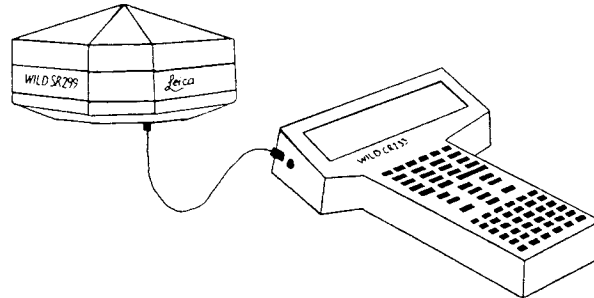
1. Det är baserat på resultatet från en första utjämning som ger lösningsvektorn (relativa koordinater och periodobekanta som decimaltal), kofaktormatrisen och å posteriori grundmedelfel.
2. Det är baserat på statistiska metoder för att definiera sökområden liksom för att utvärdera den slutliga lösningen.
3. Det antal olika heltalskombinationer för periodobekanta som ska behandlas beror på kvaliteten på begynnelselösningen.
4. Den tillämpade metoden beror ej på valet av referenssatellit.
5. Det behövs inte någon annan information än den som är listad under punkt 1 för att den slutliga lösningen skall kunna erhållas.
6. FARA bestämmer om det finns tillräckligt med information för att fixera periodobekanta till heltal eller inte.
7. P-kodsmätningar krävs inte för att FARA skall kunna användas eftersom endast bärvågskomponenten av satellitsignalen används.
8. FARA kan också användas för kvadrerade data, vilket blir fallet när P-koden är krypterad.
9. FARA kan användas för varje mätningsteknik med GPS, där lösning av periodobekanta vid begynnelsefasen önskas.

5. WILD GPS - SYSTEM 200

System 200 från Leica har utvecklats för att samla och behandla data på ett enkelt och effektivt sätt. Leicas förhoppning är att denna nya GPS-utrustning i framtiden ska utnyttjas vid många olika geodetiska tillämpningar. Kanske t.o.m vid arbeten som tidigare utförts med totalstation. Det som bidragit till den ökade effektiviteten är framförallt en ny beräkningsalgoritm, FARA, i det tillhörande beräkningsprogrammet, SKI.

De tre viktigaste beståndsdelarna i WILD GPS-system 200 är den s.k. sensorn (sensor WILD SR299), kontrollenheten (controller WILD CR233) och beräkningsprogrammet SKI, vilka beskrivs mer detaljerat i följande avsnitt. Som standard ingår i utrustningen två kablar på 1,8 respektive 2,8 meter som används både för strömförsörjning och dataöverföring mellan sensorn och kontrollenheten. Som extra tillbehör finns kablar på 10 och 30 meter att tillgå. Då 30-meterskabeln används krävs dock ytterligare ett

batteri, ett vid sensorn och ett vid kontrollenheten eftersom dessa kablar inte har någon strömöverföring. Sensorn drar 9 Watt. Tillsammans drar sensorn och kontrollenheten 12 Watt. Ett batteri på 12 V behövs för mätningen. Ett par rekommenderade batterier är WILD GEB 71, 12V 7Ah NiCd och WILD GEB 70, 12V 2Ah NiCd som räcker för upp till 6 respektive 1,5 timmars mätning.



Figur 5.1. Sensor (WILD SR299) och kontrollenhet (WILD CR233).

Hårdvaran tillsammans med mjukvaran klarar av de mätmetoder som används vid GPS-observationer, statisk mätning, snabb statisk mätning, kinematisk mätning, pseudo-kinematisk mätning, "stop and go" samt absolut navigering. Den går dock inte att använda för relativ navigering eftersom ingen ingång för RTCM finns (standardiserat dataformat för pseudoavståndskorrektonernas överföring via radiolänk). Dessutom lämpar sig utrustningen för närvarande inte för navigering eftersom inte någon yttre antenn kan anslutas. "Stop and go" är en form av kinematisk mätning där positionsbestämning utförs på bestämda punkter och inte kontinuerligt. Både kodmätning och bärvågs-mätning kan utföras.

Leicas nya system tillhör den generationens GPS-utrustning som är små och har låg vikt, låg kostnad och liten strömförbrukning. Dessa värden har minskat avsevärt de senaste fem åren. Det är dock framförallt ökningen av antalet tillgängliga satelliter i rymden samt utvecklingen av beräkningsprogrammen som medfört ett större intresse bland användarna. För närvarande (februari 1993) finns minst fyra satelliter tillgängliga ungefär 22 timmar per dygn över hela världen.

SKI's algoritmer medför att mättiderna kan reduceras kraftigt jämfört med äldre GPS-utrustningar. För att kunna minska observationstiderna förutsätts dock att mätförhållandena är goda. Det som krävs för att den nya metoden, snabb statisk mätning, i Leicas version ska kunna användas är att:

- 4 eller fler satelliter är tillgängliga
- $GDOP \leq 8$ ($GDOP = \text{Geometric Dilution of Precision}$, ett mått på satellitgeometrins bidrag till osäkerheten vid positionsbestämning med tre koordinater och klockfel som obekanta)
- satelliterna befinner sig över elevationsvinkeln 15 grader
- de atmosfäriska förhållanden är gynnsamma, d.v.s. inga jonosfäriska störningar

Om dessa villkor är uppfyllda erhålls vid korta observationstider centimeternoggrannhet

(5 - 10 mm + 1 ppm) på sträckor upp till omkring 15 km mättiden kan förkortas ända ner till 5 minuter. Den absolut kortaste mättid som kan komma ifråga för att resultatet ska bli bra är 2 minuter.

Tillverkaren utlovar den i tabell 5.1 angivna noggrannheten på baslinjer mätta och beräknade med WILD GPS - System 200 beroende på vilken mätmetod som används.

Metod	Noggrannhet för baslinje, (rms)
Statisk	5 mm +- 1 ppm
Snabb statisk	5 - 10 mm +- 1 ppm
Pseudo-kinematisk	5 - 10 mm +- 1 ppm
Kinematisk	10 - 20 mm +- 1 ppm

Tabell 5.1. *Noggrannhet beroende på mätmetod.*

Den observationstid som behövs för att nå ett noggrant resultat beror på flera faktorer: baslinjelängden, antalet satelliter, satellitgeometrin (GDOP) och atmosfärsförhållandet. Nedan följer en tabell över mättider och deras beroende av dessa faktorer. GDOP \leq 8 gäller.

Metod	Antal sat.	Approx. baslängd	Approx. observationstid	
			På dagen	På natten
Snabb statisk	4 eller 5	< 5 km	5 - 10 min	5 min
	4 eller 5	5 - 10 km	10 - 20 min	5 - 10 min
	4 eller 5	10 - 15 km	> 30 min	5 - 20 min
Statisk	4 eller 5	15 - 30 km	1 - 2 tim	1 tim
	4 eller 5	> 30 km	2 - 3 tim	2 tim

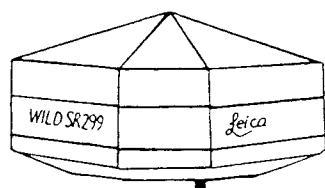
Tabell 5.2. *Erfordrade observationstider.*

5.1 Sensorn WILD SR299

Sensorn, som är en kombinerad mottagare och antenn, mottar och bearbetar satellitsignalerna. Den är en två-frekvensmottagare med sammanlagt 18 kanaler, 9 L1- och 9 L2-kanaler. På L1 mäts fasen och C/A-koden. På L2 mäts fasen och P-kod. Dessutom görs när P-koden är krypterad till Y-kod en kvadrering av L2, d.v.s våglängden halveras. Detta sker automatiskt för de berörda satelliterna. P-koden används dock för att minska bandvidden före kvadrering, vilket ger ett bättre signal-/

brusförhållande än direkt kvadrering. L1-bärvågen spåras genom att fasen rekonstrueras via C/A-koden. L2-bärvågen kan spåras på två olika sätt. Antingen rekonstrueras fasen via P-koden eller, om P-koden är krypterad på en eller flera satelliter, så slås automatiskt en kvadreringsteknik på för att finna L2's fas på dessa satelliter.

Sensorn är vattentät och fungerar i 100 % luftfuktighet. Den väger 2,3 kg och hela utrustningen, sensorn och kontrollenheten, kan jämföras storleksmässigt med en totalstation. Sensorn drar 9 Watt och kräver ett 12 V-batteri för att den ska fungera. Batteriet kan driva både sensorn och kontrollenheten om inte alltför långa kablar används (för närvarande ej över 10 meter). Det finns ett par WILD-batterier som rekommenderas, men det går naturligtvis lika bra med andra batterier.



Figur 5.1.1. *Sensorn WILD SR299.*

Det krävs ingen uppvärmningstid. Sensorn kan ta emot satellitsignalerna redan efter en till två minuter. Om den innehåller gällande information om bandata så går det ännu fortare. Sensorn kan sättas upp på olika sätt. Man kan sätta den på en stång (1,5 m eller 1,9 m), vilket lämpar sig för snabb statisk mätning, "stop and go" samt kinematisk mätning. Den kan även placeras på normalt sätt, ovanpå en trefot.

Mätdata från sensorn kan föras vidare antingen till kontrollenheten eller till en PC. Den senare varianten lämpar sig väl för fasta referensstationer då den enda begränsningen på hur mycket data, som kan lagras, är kapaciteten på hårddisken.

Som tillval kan man få sensorn att sända ut tidsignaler varje sekund till en yttre apparat. Noggrannheten på tidmarkeringen är 100 ns. I framtiden planeras även för RTCM-ingång som är ett standardiserat dataformat för pseudoavståndskorrektonernas överföring via radiolänk. För närvarande kan inte P-koden på L1 mätas utan bara C/A-koden.

5.2 Kontrollenheten WILD CR233

Kontrollenheten (fältdatorn) är en greppvänlig dator med s.k. 386-processor. Den väger endast 1,1 kg. Liksom sensorn är den också vattentät. Dess huvuduppgift är att styra sensorn, registrera mätdata och visa information under mätningens gång.

Det är kontrollenheten som möjliggör att utrustningen kan användas för statisk och kinematisk mätning, men även för navigering.

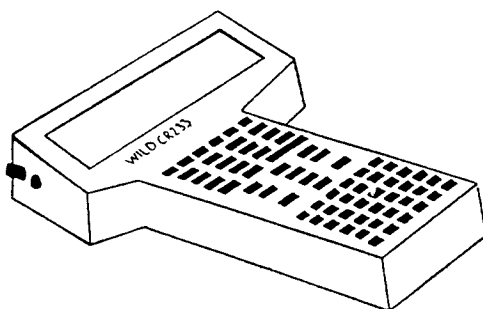
Genom menystyrda program styrs sensorn från kontrollenheten. Man kan välja att samla satellitdata allt från varje till var 60:e sekund. Mätdata kan lagras antingen kompakt eller samplat. Med kompakt menas att ett medelvärde bildas av mätdata inom ett visst tidsintervall. Man har även möjlighet att bestämma över vilken elevationsvinkel satelliterna ska befinna sig för att mätningar på dess signaler ska ske.

Registrering av mätdata sker antingen på minneskort eller i kontrollenhetens internminne för de utrustningar som har detta tillval. Fördelen med minneskort är att man endast behöver ta med sig kortet till kontoret för överföring av data till PC. Har man ingen kortläsare går det lika bra att använda kontrollenheten för överföringen av data från kortet till persondatorn. Minneskortet kan lagra 512 Kb, vilket innebär ungefär 10 timmars mätning med 15 sekunders mätintervall, vilket är det normala. Internminnet är dubbelt så stort, 1 Mb.

Kontrollenheten kan förprogrammeras inne på kontoret. Observationssekvensen kan startas antingen manuellt eller automatiskt. Vid manuell start ser man alla observationsparametrar som ska ges ett värde. När det körs automatiskt accepteras alla förutbestämda observationsparametrar automatiskt. Man kan programmera så att man endast behöver trycka på två knappar för att mätningen ska påbörjas.

Det finns en inbyggd s.k. "stop and go"-indikator. Denna uppskattar hur långa mättider det behövs vid snabb positionsbestämning för att erhålla lyckade resultat (lösning av periodobekanta). För närvarande kan uppskattningen bara ske för två olika baslinjelängder, 0 km - 5 km och 5,1 km - 10 km.

Så fort observationerna börjat så visas information om status på mätningarna. Det man kan se är bl.a. vilka satelliter som observeras, kvaliteten på de data som registreras, positionen på punkten och storleken på det lagringsutrymme som återstår.



Figur 5.2.1. *Kontrollenheten WILD CR233.*

Gränssnittet mellan operatören och kontrollenheten utgörs av en skärm och ett tangentbord. Skärmen visar 8 raders text om vardera 40 tecken. Texten består av en titelrad, huvudtexten, en meddelanderad och en funktionstangentrad. Det finns tre typer av tangenter, funktions-, kontroll- och alfanumeriska tangenter. De alfanumeriska tangenterna kan användas för att knappa in data som berör observationerna, t.ex. punktnummer, projektnamn och antennhöjd.

Under hösten har en timer tillkommit som ska möjliggöra förprogrammering av kontrollenheten så att upp till åtta mätsessioner ska kunna startas och stoppas automatiskt. Detta medför i så fall en klar förbättring eftersom man kan ställa ut mottagarna långt i förväg och alltså ej behöver vara närvarande under själva mätningen. Förmodligen drar timern inte någon extra ström.

5.3 SKI - Static Kinematic software

Programmet kan användas både för planering av mätningarna på fältet och för beräkning av mätdata. Eftersom det speciellt vid snabb statisk mätning är särskilt viktigt med goda mätförhållanden krävs det en bra planering av fältarbetet. Då är programmet till stor hjälp. Där visas bl.a vilka satelliter som är tillgängliga och vilka DOP-värden som gäller.

Beräkningsprogrammet, SKI, innehåller algoritmer som utför mycket snabba beräkningar. Ett nät med sex baslinjer med längder på upp till fyra mil där observationstiden är ungefär tre timmar tar ca. 15 minuter att beräkna med en dator med 486-processor. Programmet körs på PC i Microsoft Windowsmiljö, vilket är en fördel eftersom det har ett av de mest populära användargränssnitten för persondatorer. För lagring av data används databaser.

För denna undersökning användes version 1.04 och senare även version 1.05 av programvaran.

SKI är ett s.k. multibaslinjeprogram vilket innebär att baslinjer från flera sessioner kan hanteras i samma körning. Beräkningarna sker dock sekventiellt, d.v.s. en baslinje i taget. Dessutom kan data erhållna med olika mätmetoder behandlas samtidigt. Baslinjeberäkning i alla kombinationer kan dock ej ske automatiskt utan man måste själv bestämma vilka baslinjer som ska beräknas. På detta sätt erhålls tyvärr inga korrelationer mellan baslinjerna. Det planeras dock för simulering av korrelationerna mellan baslinjerna för att på så sätt erhålla ett liknande resultat som vid multistationsberäkning. Det är även lätt att beräkna data från pseudo-kinematisk mätning. Då beräknas en punkts koordinater genom att använda data från minst två olika mätintervall.

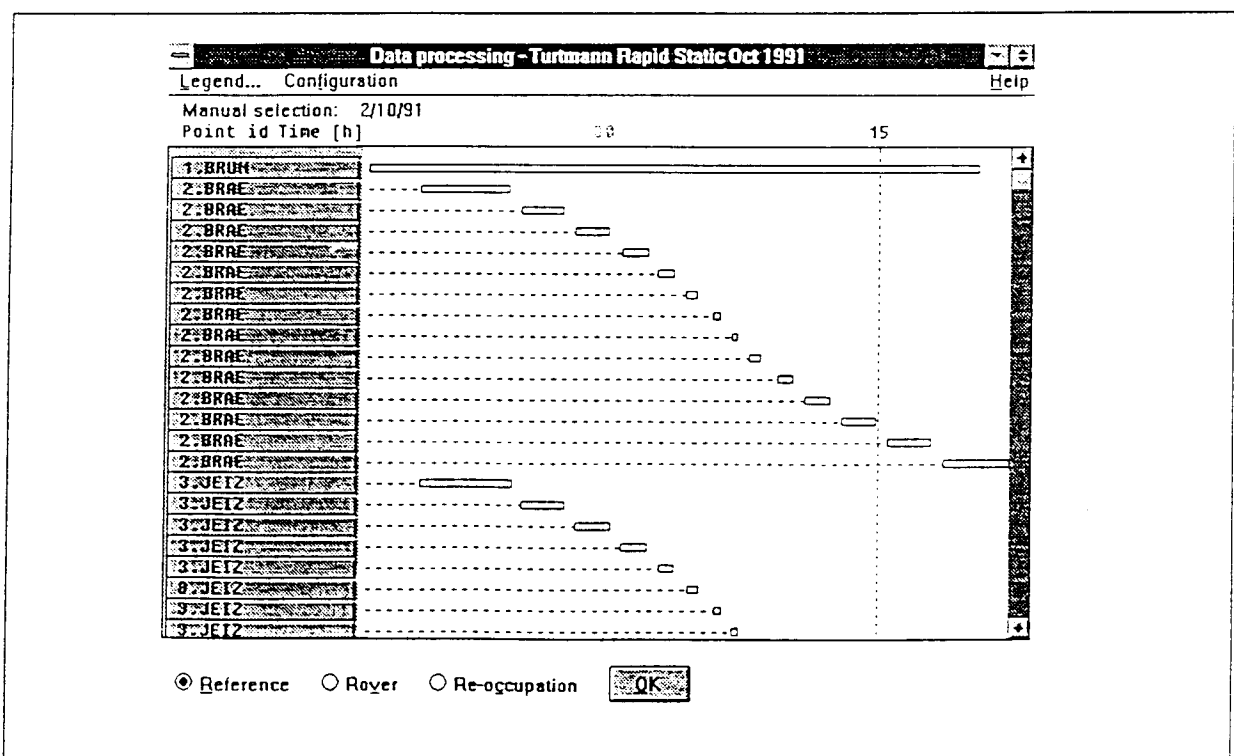
Bästa koordinatlösningen erhålls genom att bearbeta relativa kod- och fasmätningar samtidigt. Om det räcker med låg noggrannhet så finns valmöjligheten att bara beräkna på koden. Det vanligaste sättet att tillgodogöra sig noggrannheten hos fasmätningen är för övrigt att bilda differenser.

Baslinjeberäkningen sker till stor del automatiskt i SKI. Det enda som behöver göras är markering av vilken/vilka punkter som betraktas som fasta respektive rörliga. En stor nackdel med detta är att man inte kan påverka beräkningen själv genom manuell editering av mätdata. Det finns ingen möjlighet att ta bort vissa epoker, vissa satelliter eller undvika att en eller flera satelliter fungerar som referenssatelliter. I många fall kanske detta skulle förbättra lösningen. Fördelen är dock att beräkningen går fort att

genomföra vilket är bra vid produktionsarbete. I senare versioner av programmet har man dock större möjligheter att påverka beräkningarna.

Resultatet från baslinjeberäkningarna är koordinater i WGS 84-systemet. Beräknade koordinater och/eller vektorer måste lagras i ASCII-filer för att sedan utjämnas i ett nätutjämningsprogram.

Om mer än en punkt från mätningen ska användas som referens i beräkningen beräknas baslinjerna mellan dessa först. Någon av referenserna erhåller först kända WGS 84-koordinater. Resultatet lagras i en databas och övriga baslinjer kan sedan beräknas med utgångspunkt från någon av referenspunkterna. Om koordinaterna för en punkt redan finns i databasen lagras medelvärdet av lösningarna, om inte differensen överstiger 0,5 meter. Denna gräns kan dock ändras.



Figur 5.3.1. Exempel på hur det kan se ut på bildskärmen vid beräkning av mätdata från snabb statisk mätning med SKI. Man har här möjligheten att välja vilka baslinjer som ska beräknas. Från Shubanigg (1992).

Man bör tänka på att inte blanda baslinjer med helt olika längder. Baslinjer mätta med korta observationstider med snabb statisk metod bör inte heller kombineras med baslinjer mätta med långa observationer med vanlig statisk mätning.

Resultatet från baslinjeberäkningarna är koordinater i WGS 84-systemet. Man kan transformera koordinaterna till ett plant lokalt system under förutsättning av att man känner eller kan beräkna transformationssambandet.

För att förvissa sig om att resultatet är acceptabelt finns en logfil att tillgå efter utförda beräkningar. I denna finns bl.a. en summering av lösningen med FARA med antal satelliter, à priori rms, rms för heltalslösning och rms för flyttalslösning (rms = root mean square, d.v.s. roten ur medelvärdet av förbättringarnas kvadratsumma). À priori rms är ett värde som kan väljas. Som standard är det 10 mm. Det används för att undvika allt för orealistiska resultat från baslinjeberäkningen. Med heltalslösning menas att antalet våglängder har fixerats till heltal i lösningen.

När baslinjerna beräknas utförs en minsta-kvadratutjämning för enkeldifferenser och rms beräknas. Detta är det värde som sedan jämförs med à priori rms. Nedan följer en tabell över vilken storlek på rms för en enkeldifferensobservation som man kan vänta sig vid olika baslinjelängder och observationstider.

Avstånd	Obs.tid (dag)		Obs.tid (natt)	
	<= 10 min	> 10min	<= 10 min	> 10 min
< 5 km	< 10 mm	< 10 mm	< 10 mm	< 10 mm
5 - 10 km	< 15 mm	< 25 mm	< 10 mm	< 15 mm
10 - 20 km	< 15 mm	< 40 mm	< 10 mm	< 15 mm

Tabell 5.3.2. Storlek på rms vid olika baslinjelängder och observationstider.

Om rms för en enkeldifferensobservation överstiger à priori rms löses inte periodobekanta utan enbart en s.k. flyttalslösning presenteras. För att periodobekanta ska kunna lösas måste rms för flyttalslösningen och rms för heltalslösningen vara lägre än à priori rms. Rms för flyttalslösningen är alltså det värde på rms som erhålls före fixering av periodobekanta.

När man tolkar resultatet måste man skilja på baslinjelängder under och över gränsvärdet. Gränsvärdet är som standard satt till 20 km, men kan ändras. För all baslinjeberäkning under detta värde försöker FARA alltid lösa periodobekanta. I det andra fallet då baslinjen överstiger gränsvärdet används en annan algoritm i SKI. En linjärkombination av L1- och L2-mätningarna, en s.k. L3-lösning, utförs. Jonosfärs effekten elimineras till stor del men heltalsnaturen hos de periodobekanta förstörs, vilket medför att de ej kan bestämmas.

De versioner av programmet som undersöktes gav mycket små möjligheter att styra beräkningen och editera mätdata. En ny version, 1.055, som kom ut strax efter denna undersökning har flera möjligheter, bl.a. att välja bort satelliter och ändra start- och stopptid för beräkningen.

När SKI startas visas en meny med olika programdelar som kan köras. Nedan följer en kort presentation av dessa, där delarna benämns som i programmet, d.v.s på engelska.

5.3.1 Configuration

Här sätts indata- och utdatafilernas enheter för längder, vinklar, tryck, temperatur och typ av luftfuktighet. Ett generellt huvud för alla utskrifter kan också skapas.

5.3.2 Preparation

Används för planeringen av fältarbetet. För en speciell dag och plats kan följande information visas, antingen grafiskt eller i tabellform:

- vilka satelliter som är tillgängliga
- hur många satelliter som är tillgängliga
- höjdvinkel och azimut för varje satellit
- kvalitetsindikator (GDOP och PDOP) för satellitgeometrin

5.3.3 Project

Alla mätdata som ska behandlas måste överföras till ett s.k. projekt. För att kunna beräkna mätdata måste det aktuella projektet väljas i "project". Skapande av nytt projekt och kopiering, flyttning och radering av gammalt projekt sker också här.

5.3.4 Import

Data kan i rådataform överföras till SKI via en kortläsare, från kontrollenheten eller från en diskett. När diskett används kan även RINEX-formatet utnyttjas om detta tillval finns. Data sorteras direkt till avsett projekt. Under dataöverföringen finns möjlighet att kontrollera data. Kontrollmöjlighet finns även i ett senare skede i "View /Edit". Data kan sedan sparas som backup eller i RINEX-format. Som standard ingår alltså att överföra mätdata till RINEX-format men ej att använda data som redan finns i RINEX-format. Se kapitel 6.4 för mer information om användande av data i RINEX-format som alltså är ett tillval.

5.3.5 Data processing

I "data processing" utförs beräkningarna av GPS-mätningarna. De baslinjer som ska beräknas väljs ut och därefter gör SKI resten automatiskt. Resultatet visas i form av koordinater i WGS 84 med tillhörande noggrannhetsuppskattning. Utrymmet på hårddisken är den enda begränsningen för hur många punkter som kan behandlas. Data från alla typer av mätmetoder kan kombineras och behandlas samtidigt. Före beräkningen kan värdena för följande beräkningsparametrars väljas:

- elevationsvinkel. 15 grader som standard.
- troposfärmodell. Här kan man välja mellan modeller enligt Hopfield, Saastamoinen, modifierad Hopfield, Essen Froome eller ingen troposfärmodell alls.
- jonosfärmodell. Valet står mellan ingen modell eller standardmodell.
- typ av banddata. För närvarande kan endast predikterade banddata användas.
- typ av mätdata. Antingen kod- och fasmätning eller bara kod- eller bara fasmätning.
- frekvens. L1 + L2, L1 eller L2.
- gränsvärde för vilka baslinjer FARA ska tillämpas på.
- uppdatering av lösning. Gäller bara kinematiska data.
- à priori rms i mm.

Resultatet kan lagras direkt i databasen eller i en ASCII-fil.

5.3.6 View / Edit

Data kan visas både grafiskt och numeriskt. Information om punkternas antennhöjd, koordinater, medelfel, meteorologiska data mm kan visas och ändras.

5.3.7 Utilities

Detta är ett tillval som inte följer med alla versioner av beräkningsprogramet. Denna del innehåller laddningsmoduler för nya mjukvarusystem för sensorn och kontrollenheten.

5.3.8 Datum / Map

Denna del är också ett tillval och möjliggör bestämning av parametrarna vid transformation mellan koordinaterna från GPS-mätningen och ett lokalt system.

6. TESTMÄTNING OCH BERÄKNING

För att genomföra undersökningar och kontroller av mätutrustningar krävs att man kan mäta på punkter som är bestämda med tillräckligt hög noggrannhet för att de ska kunna utgöra en referens. Därför har tre olika testnät anlagts i Gävletrakten av LMV. Testnäten har tidigare mätts upp med både konventionell teknik och med GPS. De är mycket väl bestämda, se Jivall (1990).

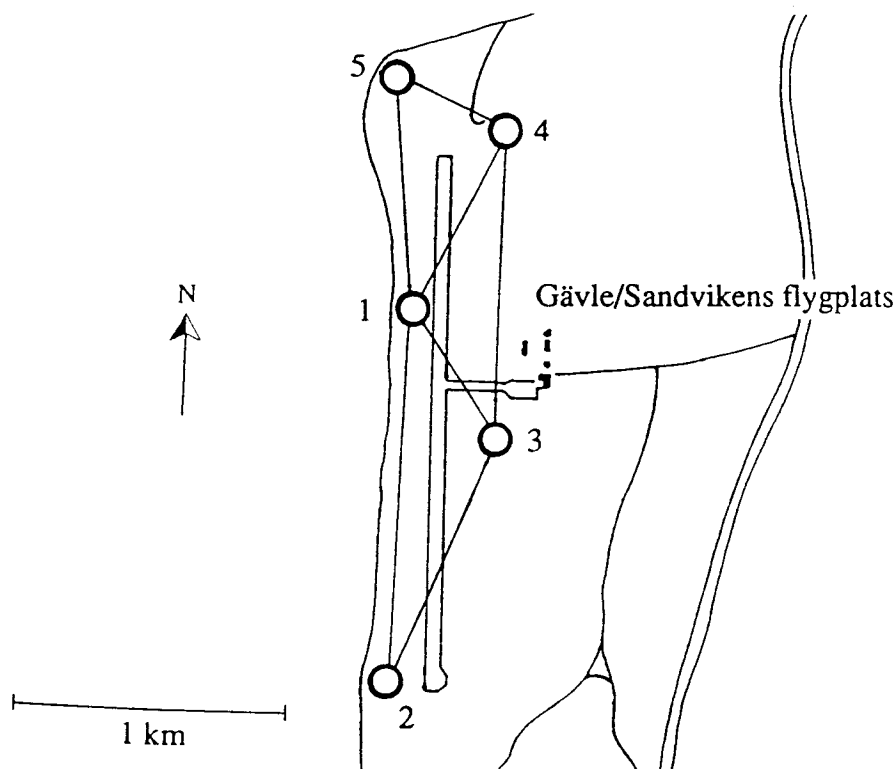
Testnätmätningarna med Leicas Wild System 200 gjordes för att studera noggrannheten vid snabba statiska observationer men även för att jämföra Leicas mottagare med andra GPS-mottagare vad gäller mätnoggrannheten vid vanliga statiska mätningar. LMV har tidigare genomfört GPS-mätningar med mottagare från Trimble, Texas Instrument, Wild-Magnavox och Ashtech. Två av näten är lokaliserade till Rörberg respektive Älvkarleby. Det tredje nätet omfattar ett större område runt Gävle.

Testmätningarna genomfördes under sammanlagt fem dagar i september 1992, den 17-18 samt den 21-23. Under de tre första dagarna användes endast KTH's två nyinköpta mottagare. KTH bistod även med en observatör som var med alla fem dagarna. Under de två sista mätningdagarna bidrog Leica med utlåning av två mottagare samt två observatörer. En person från LMV-KG var med under de fyra första dagarna och en annan från LMV-KG de två sista.

Mätningarna planerades dels utifrån tillgängligheten till satelliter och dels med hänsyn till hur långa observationstider som ansågs behövas. Vid försöken med snabba statistiska observationer var det även nödvändigt att ta hänsyn till GDOP-värdet som skulle vara ≤ 8 . Eftersom tillgängligheten till satelliter vid mättillfället var mycket god kunde mätningarna ske under normal arbetstid. Observationstiderna valdes i enlighet med Leicas rekommendationer, se tabell 5.2.

6.1 Testnätet i Rörberg

Ca. 1,5 mil väster om Gävle, närmare bestämt vid Gävle-Sandvikens flygplats, är det s.k. Rörbergsnätet beläget. Nätet håller en mycket hög noggrannhet (lokalt punktmedelfel uppskattas till 0,5 mm). Till en början utnyttjades det för tester av konventionella mätinstrument, i första hand EDM-utrustningar. På senare tid har det även använts för tester av GPS-utrustningar. Nätet består av fem relativt öppet belägna punkter placerade på pelare med ett avstånd från varandra på ca. 1 km. Punkterna 1, 2 och 5 (se figur 6.1.1) omges av lövträd men ligger ändå förhållandevis öppet. Punkterna 3 och 4 är belägna i utkanten av det öppna, gräsbevuxna område som tillhör flygplatsen.



Figur 6.1.1. Rörbergsnätet.

6.1.1 Mätning

De två första dagarna då endast två mottagare fanns till förfogande ägnades åt mätningar i Rörbergsnätet. Här utfördes snabba statiska mätningar. Den ena mottagaren användes som referens och den andra flyttades runt och mätte ca. 10 minuter på varje punkt. Mätningarna planerades utifrån tillgängligheten till satelliter och de krav som Leica ställer på satellitkonfigurationen. Mätschemat planerades så att beräkningarna senare kunde göras i ett nät enligt nedanstående schema, som också redovisar observationstider för varje punkt. Nätet bildades av tre trianglar. Data lagrades kompakt med 15 sekunders intervall. Mätningarna för båda dagarna skedde i princip på samma sätt och tog ungefär en halv dag vardera.

Fast punkt	Rörlig punkt	Obs.tid
1	5	13.45 min
1	4	9.45 min
1	3	10.15 min
1	2	15.30 min
3	2	11.00 min
3	4	10.15 min
4	3	10.30 min
4	5	13.15 min

Tabell 6.1.1.1. Mätningar dag 1 i Rörbergsnätet.

Fast punkt	Rörlig punkt	Obs.tid
1	5	11.45 min
1	4	11.15 min
1	3	16.00 min
2	1	10.00 min
2	3	10.30 min
4	3	12.15 min
4	5	11.45 min

Tabell 6.1.1.2. Mätningar dag 2 i Rörbergsnätet.

6.1.2 Beräkning

Beräkningarna genomfördes i SKI där alla kombinationer av baslinjer beräknades. Eftersom baslinjerna i Rörbergsnätet är väldigt korta tillämpades FARA på alla baslinjer. För nätutjämning av de beräknade baslinjerna användes programmet GeoLab som kommer från GEOsurv Inc i Kanada, se GeoLab-manul. För datumbyte användes Trans som är ett program utvecklat på LMV-KG, se Reit och Jivall. Trans transformerar koordinater bland annat från WGS-84 till RT90/RH70. I undersökningen användes en 7-parametertransformation för ändamålet, där dock skalfaktorn är noll. För att avgöra hur bra resultatet från nätutjämningen, (transformerat till RT90/RH70 med Trans), passade in på kända koordinater på punkterna användes programmet Snoopy. Snoopy är ett program utvecklat på LMV-PG som uttytjades för plan Helmerttransformation av nätet, se Lithén. SKI användes för 7-parametertransformationen. Eftersom mätområdet är relativt plant och till ytan relativt begränsat (höjdskillnad < 200 meter och utbredning < 20 km enligt HMK-Geodesi:GPS) behöver man inte korrigera GPS-höjderna med geoidhöjder. Vid inpassningen med 7-parametertransformation användes därför inte några geoidhöjder.

6.1.3 Resultat

Vid beräkningen av baslinjerna i SKI kunde konstateras att lösningen av periodobekanta lyckats bra. Alla baslinjer fick bra resultat, fix-lösningar och låga värden på rms. Baslinjerna är visserligen väldigt korta men observationstiden är bara ca 10 minuter. Baslinjefjämförelser redovisas i bilaga 3. Trots korta mättider visar resultatet från GPS-mätningarna att det passar bra in på de terrestra mätningarna. Grundmedelfelen vid plan Helmerttransformation mellan GPS-mätningarna och det lokala systemet för de båda dagarnas mätning var så låga som 2 resp 1 mm. Då de båda dagarnas mätningar passades in på varandra blev grundmedelfelet något större, 3 mm. Skalfaktorn som erhöles kan dock ej räknas som signifikant. Vid 7-parametertransformationen erhöles också låga grundmedelfel, 3 mm för båda dagarna. Detta innebär alltså att snabb statistisk mätning har fungerat bra vid detta mättillfälle.

Punkt	Förbättring (mm)	
	vx	vy
1	-2	-2
2	2	1
3	-2	0
4	1	-2
5	2	3

Grundmedelfel / koordinat: 2 mm
Skalfaktor: -0.8 ppm +- 1.4 (ej signifikant)
Vridning: 0.19 +- 0.09 mgon

Tabell 6.1.3.1. Plan Helmerttransformation mellan GPS-mätningarna och det lokala systemet i Rörbergsnätet, dag 1.

Punkt	Förbättring (mm)	
	v _x	v _y
1	0	1
2	0	-1
3	1	1
4	-1	-2
5	1	0

Grundmedelfel / koordinat: 1 mm
Skalfaktor: 0.1 +- 0.8 ppm (ej signifikant)
Vridning: 0.16 +- 0.05 mgon

Tabell 6.1.3.2. Plan Helmerttransformation mellan GPS-mätningarna och det lokala systemet i Rörbergsnätet, dag 2.

Punkt	Förbättringar (mm)		
	v _x	v _y	v _h
1	2	2	4
2	-2	-1	0
3	2	0	2
4	-1	2	-2
5	-2	-3	3

Grundmedelfel / koordinat: 3 mm

Tabell 6.1.3.3. 7-parametertransformation mellan GPS-mätningarna och det lokala systemet i Rörbergsnätet, dag 1.

Punkt	Förbättringar (mm)		
	v _x	v _y	v _h
1	0	-1	-4
2	0	1	0
3	-1	-1	3
4	1	2	-2
5	-1	0	4

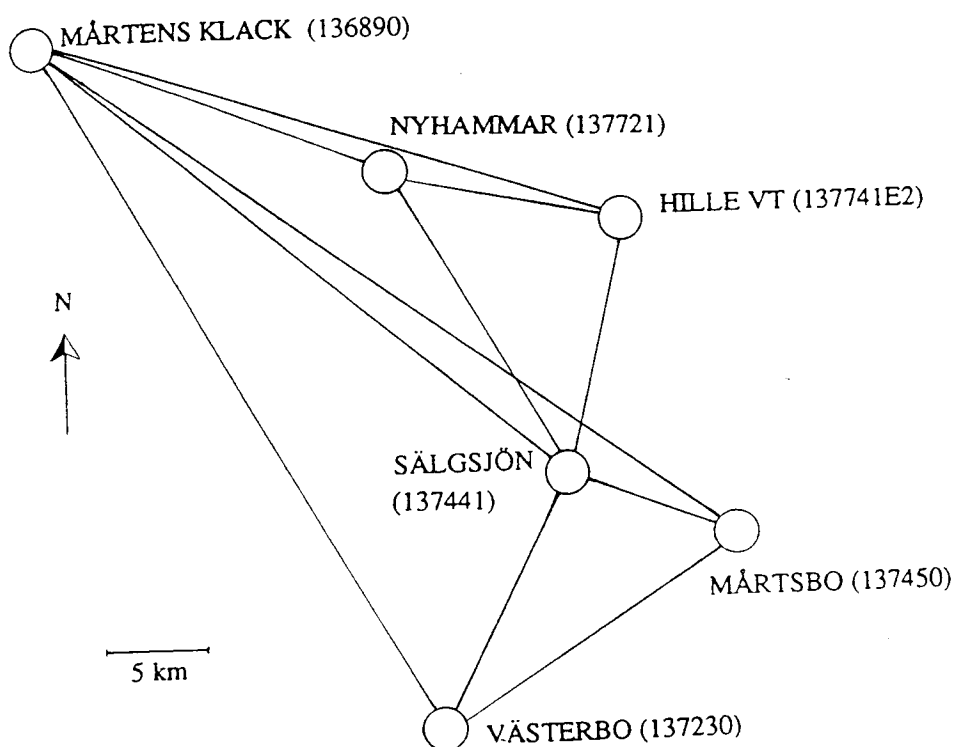
Grundmedelfel / koordinat: 3 mm

Tabell 6.1.3.4. 7-parametertransformation mellan GPS-mätningarna och det lokala systemet i Rörbergsnätet, dag 2.

6.2 Stora testnätet kring Gävle

1985 skapades ett testnät, det s.k. svenska testnätet för GPS, vars huvudsakliga uppgift skulle vara att utnyttjas vid alla svenska tester av geodetiska GPS-mottagare, i varje fall alla tester utförda av LMV. Detta för att man lätt ska kunna jämföra olika mottagare men även för att jämföra GPS-tekniken med konventionell mätning. Nätet har alltså tidigare mätts både konventionellt och med ett antal GPS-mottagare av olika fabrikat. Olika modeller av Trimble, Texas Instrument, Wild-Magnavox och Ashtech har tidigare testats i nätet.

Testnätet utgörs av sex riksnätspunkter belägna runt omkring Gävle (se figur 6.2.1). Avstånden mellan punkterna ligger mellan 8 och 40 km och noggrannheten anses hög. Medelfelet i utjämnat avstånd uppskattas således till 1 ppm eller bättre. Fem av de sex punkterna är belägna mitt ute i skogen, dock i närheten av skogsbilväg. Den omgivande skogen är relativt tät och hög och för att erhålla fri sikt dels mellan punkterna och dels upp till satelliterna har man byggt torn som reser sig en bit ovanför trädtopparna. I Mårtsbo behövdes inget torn då LMV har sitt observatorium där med ett fem meter högt betongfundament som vilar på berg. Två av punkterna har permanenta torn, ståltorn på Västerbo och trätorntorn på Mårtens Klack. Trätornet är för övrigt så pass ruttet att det snarast bör ersättas med ett nytt. Tornet har under skrivandets gång rivets ner. Punkterna i Sälgsjön och Nyhammar är bebyggda med transportabla torn och punkten "Hille" ligger på ett vattentorn. Oturligt nog hade tidigare markerade punkter på vattentornet försvunnit eller förstörts i samband med nyanläggning av betonggolv. Därför har uppställningspunkten vid mätningen centrerats in i förhållande till den förstörda punkten efter det att denna återställts till sitt ursprungliga läge.



Figur 6.2.1. Mätningar med Leica i det svenska testnätet för GPS kring Gävle.

6.2.1 Mätning

Den 22 september 1992 ägnades en heldag åt statisk mätning i det svenska GPS-testnätet. Dessa observationer gjordes för att kunna jämföra Leicas mottagare med andra GPS-mottagare. (Ett par månader efter mätningarna med Leicas utrustning utfördes även mätningar med en P-kodsmottagare från Ashtech i samma nät. Då hade även punkten på Hille vattentorn återställts och användes därmed i mätningen.) Fyra mottagare utnyttjades vid försöket. Två utgjorde referenser och stod stilla under hela dagen. Med de två andra gjordes observationer på två punkter vardera. Mätningarna uppdelades alltså på två sessioner. Nedanstående tabell redovisar hur mätningarna strukturerades och vilka observationstider som användes.

Punkt	Obs.tid
Session 1	
136890, 137441, 137230, 137450	2.40 tim
Session 2	
136890, 137441, 137721, 137741E2	3.00 tim

Tabell 6.2.1.1. Mätningar i det svenska GPS-nätet.

6.2.2 Beräkning

Observationsdata bearbetades först med Leicas programvara SKI då alla kombinationer av baslinjer beräknades. Beräkningarna genomfördes dels med flyttalslösning och dels med s.k. FARA-lösning (heltalslösning). Egentligen bör FARA endast tillämpas på baslinjer upp till två mil, för att man ska vara säker på att få bra resultat. Då baslinjerna i detta fall översteg två mil ändrades gränsvärdet till fem mil för att kunna göra en beräkning med FARA på hela nätet. Detta gjordes för att kontrollera hur stor inverkan lösning av periodobekanta har på resultatet. Därefter utfördes en nätutjämning av det som bildats av samtliga baslinjer, med undantag för baslinjerna till punkten i Hille. Detta gjordes med nätutjämningsprogrammet GeoLab. På grund av en del komplikationer med GeoLab kunde standardviktsättningen som föreslås i HMK-Ge:GPS inte användas på något enkelt sätt utan viktsättningen skedde i SKI. Vid baslinjeprogram känner man aldrig korrelationen mellan baslinjerna utan de måste fås fram separat.

För att senare kunna jämföra de utjämnade koordinaterna med de koordinater som tidigare beräknats med data från konventionella mätningar skedde en transformation av koordinaterna från WGS 84 till RT90/RH70 m.h.a. programmet Trans. Med Trans

utfördes en 7-parametertransformation av WGS 84-koordinaterna. Sedan utnyttjades programmet Snoopy för att avgöra hur pass väl de utjämnade koordinaterna passar in på ursprungskoordinaterna. Nätet inpassades med plan Helmerttransformation. Slutligen inpassades även GPS-nätet m.h.a. en 7-parametertransformation i SKI på det lokala nätet för att få en uppfattning om noggrannheten i höjd också. Både de avvägda höjderna och geoidhöjderna, erhållna från NKG 89 (geoid framtagen av Nordiska Kommissionen för Geodesi), användes vid 7-parametertransformationen.

6.2.3 Resultat

Vid lösningen med FARA (heltalslösning) uppstod för stora restfel på tre av baslinjerna med utgångspunkt från Mårtens Klack, nämligen 136890 - 137230, 136890 - 137450 och 136890 - 137441. Dessa togs därför bort och ny nätutjämning gjordes.

Utjämningen med flyttalslösningen innehöll dock inga grova residualer. Förbättringarna vid plan Helmerttransformation respektive 7-parametertransformation redovisas i tabellerna nedan.

I tabellerna kan utläsas att beräkningen med FARA gav bättre grundmedelfel och skalfaktor i jämförelse med beräkningen utan FARA. Ett grundmedelfel på 13 resp. 9 mm kan betraktas som lågt i detta sammanhang i jämförelse med terrestra mätningar som håller ungefär den noggrannheten. Vid den plana Helmerttransformationen på testnätet gav alltså FARA bättre resultat än flyttalslösningen. Av detta kan man dra slutsatsen att FARA ger högre noggrannhet än flyttalslösningar men att det är svårare att få bra lösningar. FARA gav dock inte upphov till något starkt nät. 7-parametertransformationen utvisade ett grundmedelfel på 46 resp 40 mm, vilket får anses som högt. Förmodligen har GPS-mätningarna blivit dåliga i höjddled på punkten i Mårtsbo. Då den punkten tas bort erhålls nämligen ett grundmedelfel på ca 10 mm. Om man bortser från det grova felet i höjden på punkten i Mårtsbo (7450) visar resultatet att mottagaren i kombination med tillhörande programvara håller den av Leica specificerade noggrannheten.

Punkt	Förbättring (mm)	
	v_x	v_y
136890	-8	-4
137230	0	-4
137441	-3	12
137450	-1	-10
137721	11	7
Grundmedelfel / koord:	9 mm	
Skalfaktor:	0.6 +- 0.3 ppm	
Vridning:	0.1 +- 0.01 mgon	

Tabell 6.2.3.1. Plan Helmerttransformation av FARA-lösning på testnätet. Tre baslinjer borttagna i beräkningen, (136890 - 137230, 136890 - 137450 och 136890 - 137441).

Punkt	Förbättring (mm)	
	v _x	v _y
136890	-7	-1
137230	-19	-9
137441	10	0
137450	12	-7
137721	4	17
Grundmedelfel: 13 mm		
Skalfaktor: 1.2 +- 0.4 ppm		
Vridning: 0.12 +- 0.2 mgon		

Tabell 6.2.3.2. Plan Helmerttransformation av flytlösning på testnätet.

Punkt	Förbättring (mm)		
	v _x	v _y	v _h
136890	7	6	-41
137230	-2	4	8
137441	4	-12	54
137450	0	11	-72
137721	-10	-9	50
Grundmedelfel / koordinat: 40 mm			

Tabell 6.2.3.3. 7-parametertransformation av FARA-lösning på testnätet.

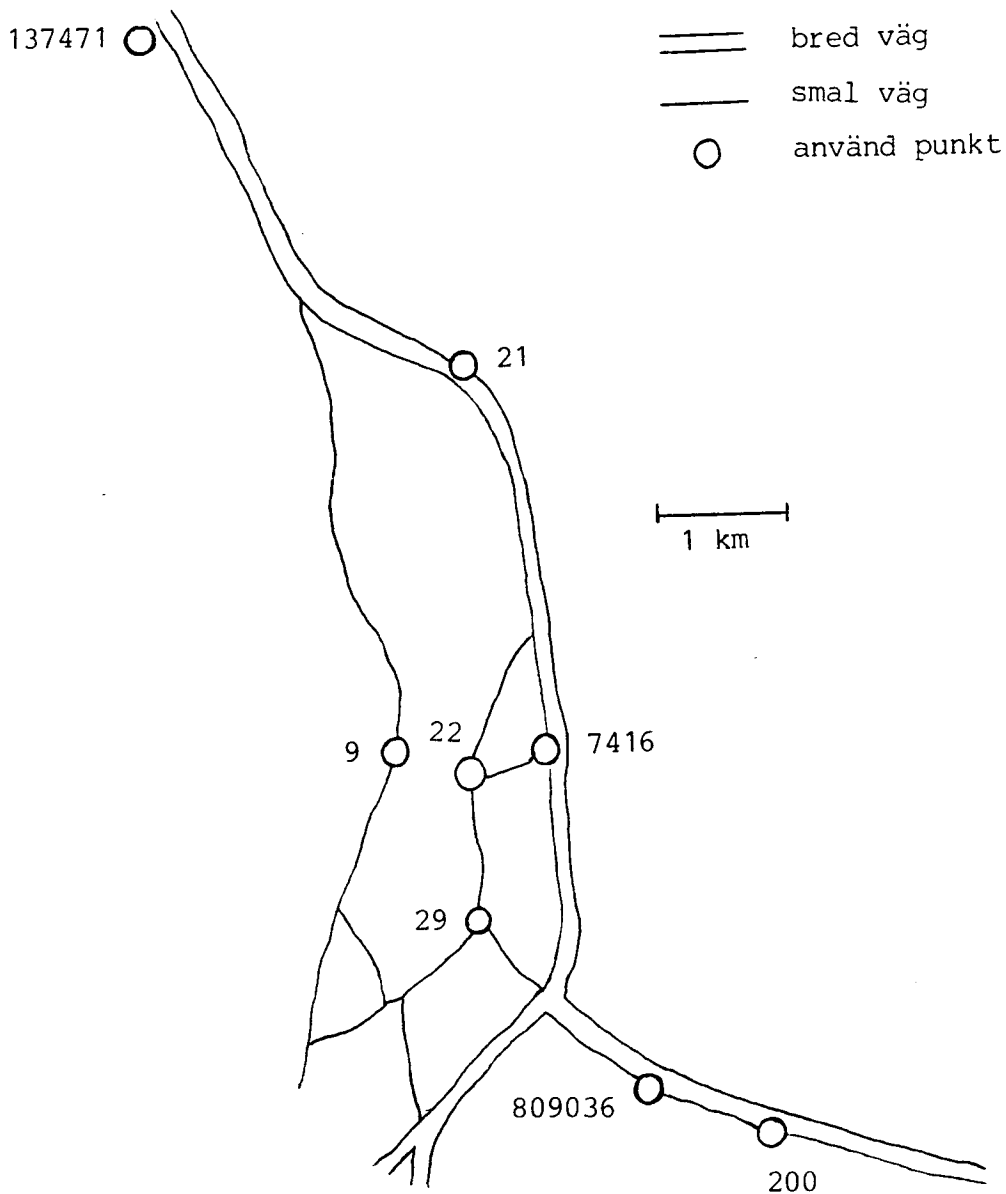
Punkt	Förbättring (mm)		
	v _x	v _y	v _h
136890	7	3	-46
137230	17	9	9
137441	-9	0	63
137450	-12	7	-82
137721	-2	-19	57
Grundmedelfel /koordinat: 46.5 mm			

Tabell 6.2.3.4. 7-parametertransformation av flytlösning på testnätet.

6.3 Test i Älvkarleby

För att nå Lantmäteriets testnät i Älvkarleby får man bege sig ca. 3 mil söderut från Gävle. I detta nät ingår ett något större antal punkter och avstånden mellan dessa är något längre än i Rörbergsnätet (se figur 6.3.1). Nätet upprättades ursprungligen för test av tröghetspositioneringsutrustning. Punkterna är därför mycket lättillgängliga med bil. Punkttätheten uppgår till 0,5 - 1 km.

I våra mätningar användes åtta punkter ingående i nätet, alla valda så att inga master behövdes. En punkt är Skutskärs vattentorn (137471), en punkt (22) finns på en äng 50 meter från vägen. Övriga ligger precis i vägkanten. (Från punkt 9 har man för övrigt en otroligt vacker utsikt över Dalälven.) Avståndet mellan punkter i nätet uppgår maximalt till 9,7 km fågelvägen och minimalt till 650 meter.



Figur 6.3.1. Testnätet i Älvkarleby.

6.3.1 Mätning

I Älvkarlebynätet mättes en dag med två mottagare och en dag med fyra mottagare. Liksom i Rörbergsnätet skulle här den nya snabba statistiska metoden testas. Då det vid beräkningen av Rörbergsmätningarna visade sig att det inte var alldeles lätt att dela upp filerna i efterhand vid beräkningen skedde en viss omplanering. I stället för att mäta en längre tid och sedan dela upp filerna i olika tidsintervall gjordes själva mätningarna med olika långa observationstider.

Då två mottagare användes utgjorde Skutskärs vattentorn (137471) referenspunkt. Den andra mottagaren placerades först på punkt 21 och därefter på punkt 22 (se figur 6.3.1). Avstånden mellan vattentornet och punkterna var 3,9 respektive 6,4 km. Ett antal fem- och tio-minutersperioder mättes på båda stationerna. På punkt 22 mättes dessutom i ett par 15-minutersperioder.

Under testet med fyra mottagare i Älvkarlebynätet utnyttjades sammanlagt åtta punkter. Mottagare placerades på Skutskärs vattentorn (137471) respektive punkt 29 (se figur 6.3.1). Med dessa två utfördes vanlig statistisk mätning och de utgjorde alltså referensstationer i den kommande beräkningen. De två andra mottagarna flyttades runt på de övriga sex punkterna i nätet. Mätningarna planerades så att en god spridning av baslinjelängderna erhöles. På varje punkt testades olika långa observationstider, mellan 5 och 20 minuter. Fakta om mätningarna framgår av bilaga 1.

6.3.2 Beräkning

Beräkningarna av mätningarna i Älvkarleby gick inte ut på att se hur pass bra en nätutjämnning av observationsdata blev. I stället var det meningen att mätningarna skulle studeras lite närmare med avseende på hur observationstiden påverkar noggrannheten i resultaten. Intressant var att se hur korta mättiderna kunde göras. I de fall där beräkningarna blev dåliga kontrollerades även orsaken till ett sämre resultat. Det som var av intresse var om GDOP var så bra som det krävdes (≤ 8) och om antalet satelliter var tillräckligt.

För att kunna kontrollera om de baslinjer som såg ut att vara bra verkligen var det också, gjordes en jämförelse med tidigare Ashtech-mätningar av baslinjerna. För det ändamålet användes ett program som kallas Dub2, även det utvecklat på LMV-KG. Dub2 är en variant på Dubbel som beskrivs i Jivall (1991). Detta program söker i en indatafil upp baslinjer som mätts mer än en gång. För varje baslinje jämförs mätningarna med den i indatafilen första mätningen av baslinjen. Alla baslinjemätningar med Leicas utrustning jämfördes således med tidigare erhållna baslinjelängderna. Resultatet erhöles i form av differenser i ett lokalt system nämligen x, y och h samt relativt baslinjelängden (ppm-värde) och redovisas i bilaga 1.

6.3.3 Resultat

Första dagens mätningar, då endast två mottagare utnyttjades, resulterade i dåliga lösningar på nästan alla baslinjemätningar mellan punkterna 137471 och 21. Dels kunde inte periodobekanta bestämmas och dels resulterade jämförelsen med tidigare erhållen baslinje i mycket stora differenser. Vid en närmare kontroll av observationsdata kunde konstateras att anti-spoofing (d.v.s. kryptering av P-koden) varit på under förmiddagen. Egentligen ska mottagaren automatiskt registrera kvadrerade data då P-koden är krypterad men vid mättillfället fungerade detta inte.

Eftersom anti-spoofing inte var på under eftermiddagen blev dock resultaten bättre med undantag för den första mätningen. Eftermiddagens mätningar resulterade dock genomgående i stora differenser i höjddled. Höjddifferenserna var dock av samma storleksordning för alla mätningarna. Även andra dagens mätningar tyder på att höjden för 7471 kan vara ungefär 3 cm fel. Vid kontrollberäkning av tidigare mätningar konstaterades att 7471 i tidigare mätningar uppenbarligen har ett höjdfel i den storleksordningen. I övrigt kunde inga signifikanta höjdskillnader konstateras.

Ur andra dagens mätresultat (se t.ex. bilaga 1 s.3) kan konstateras att även om periodobekanta har lösts och medelfelen är låga kan baslinj jämförelsen resultera i något stora differenser.

På sidan 6 i bilaga 1 kan man se att då baslinjen 7471 - 809036 (8,9 km) mättes under fem och en halv minut kunde periodobekanta inte bestämmas och resultatet blev mycket dåligt. Men något senare då samma baslängd mättes under knappt fem minuter och GDOP dessutom var mycket hög erhöles ett bra resultat och periodobekanta kunde bestämmas. Orsaken till detta kan inte förklaras utan man kan bara konstatera att ibland kan dåliga resultat erhållas även om mätförhållandena verkar bra.

Även då GDOP var mycket högt räckte alltså en observationstid på 4 minuter och 45 sekunder till. Baslinjen på 1,6 km blev bra, men den på 8,9 km erhöles dock ett något högt höjdfel.

Även då observationstiden var så kort som 45 sekunder kunde periodobekanta bestämmas och ett bra resultat erhållas (bilaga 1 sidan 7). Baslinjen var visserligen endast 0,7 km. Då samma baslinje mättes under 8 minuter och 45 sekunder erhöles ett sämre resultat.

Ur mätningresultaten framgår att i vissa fall kan periodobekanta bestämmas och resultaten bli bra trots att observationstiden är kort eller om GDOP är hög. Även om periodobekanta är bestämda och medelfelen är bra är det inte säkert att resultatet blir tillförlitligt ändå. Har man riktig tur kan det räcka med en observationstid under minuten för att erhålla goda resultat på baslinjer under kilometern. Det är dock inte att rekommendera.

Ur dessa mätningar kan dock inga säkra slutsatser dras om exakt hur korta observationstiderna kan göras eftersom för få mätningar är gjorda. Det kan dock konstateras att de angivna observationstiderna i tabell 5.2 väl kan följas. Någon

förbättring genom att, för baslinjer under 5 km, mäta i 10 i stället för 5 minuter kan inte konstateras, se bilaga 1 och 2. I dessa testmätningar tycks snarare standardavvikelseerna bli något större då observationstiden är längre.

Även om observationstiden kan kortas ner till 2 - 3 minuter för korta baslinjer är det bättre att vara på den säkra sidan och mäta några minuter extra. 5 - 10 minuter är ju fortfarande ingen lång tid.

6.4 Test av RINEX

RINEX som är en rekommendation för ett standardiserat rådataformat för GPS-mätningar är en förkortning av Receiver INdependent EXchange format.

Eftersom RINEX-ingång är ett tillval i Leicas programvara och den versionen inte fanns tillgänglig under stora delar av projektiden utfördes ett särskilt försök med inmatning av data i RINEX-format efter det att alla beräkningar av mätningarna i testnäten var utförda.

I samband med examensarbetet utfördes även testmätningar med Ashtech P XII. Mätningarna utfördes i det svenska testnätet för GPS för att bl.a. kunna jämföra med Leicas mottagare. För jämförelsen användes också mätdata från observationer i Rörbergsnätet.

För försök med RINEX-ingång i SKI utnyttjades mätdata från dessa två mättillfällen med Ashtechs mottagare.

Det visade sig gå bra att få in RINEX-filerna i SKI, men problem uppstod när beräkningarna utfördes. Vissa resultat blev mycket dåliga och en del baslinjer gick inte att beräkna överhuvudtaget. Det var dock inga problem när samma data beräknades i Ashtechs egen programvara GPPS.

Under försökets gång kom en ny programvara (version 1.05), som bättre skulle klara av RINEX-filerna från Ashtech. De flesta problemen kvarstod dock. Därför skickades mätdata till Leica i Heerbrugg, som provräknade några av de baslinjer som vi hade problem med. De kom fram till att dessa data går att beräkna i SKI efter några smärre editeringar av data i RINEX-filerna. På grund av tidsbrist beslöts att inga vidare beräkningar skulle ske inom ramen för det här examensarbetet.

Det var dock inga problem med att överföra Leica-data via RINEX till GPPS (Ashtechs programvara). Förmodligen kommer de upptäckta problemen med överföring av mätdata i RINEX-format till Leica att åtgärdas inom kort. Kanske är det rent av redan gjort när denna rapport ges ut. Det är ändå ett stort framsteg att man tänkt på saken. Det är nämligen en förutsättning att bearbetning av data i RINEX-format fungerar om man har flera olika typer mottagare och ska beräkna baslinjer där man mätt med olika typer av mottagare i båda ändarna.

7. SLUTKOMMENTARER

I jämförelse med andra GPS-system kan man studera skillnaden dels mellan mottagarna och dels mellan beräkningsprogrammen.

Vad gäller mottagaren kan man studera fältmässigheten, möjligheten till olika observationer, noggrannheten på data samt priset.

Vad gäller fältmässigheten kan Leica-utrustningen anses som god. Den är vattentät, relativt strömsnål (12W), väger lite (3,4 kg) samt är enkel att hantera. Fördelen med den s.k. sensorn, där antenn och mottagare är sammanbyggda, är att man slipper kabeln mellan dessa. Det är framför allt problem med kabeln som brukar vara den största orsaken när mätningar går snett. Därför är det bra ju färre kablar som finns. Det innebär dock ett problem i de fall sensorn behöver komma upp en bit från marken med hjälp av master. För närvarande finns en begränsning för strömförsörjande kablar på 10 meter. För längre kablar krävs även ett batteri vid sensorn. Detta är alltså en sak för Leica att tänka på vilket de förmodligen också kommer att göra någonting åt. Ett alternativ är att sensorn förses med ingång för en yttre antenn.

En annan fördel med Leicas utrustning är att data kan lagras på separata minneskort (standard). Mottagaren behöver då inte tas in till kontoret utan det räcker med själva kortet för överföring av data till PC. Minneskortet har dock en begränsning på 512 KByte, medan interminnet (tillval) har det dubbla, 1MByte.

Då P-koden är krypterad används en kvadreringsteknik som innebär halverad våglängd på L2-frekvensen. Kvadrering utförs även i andra typer av mottagare, men Leica har dock en metod som ger ett bättre signal/brusförhållande än direkt kvadrering. Det finns emellertid en metod som utvecklats av Ashtech som förväntas ge ännu bättre signal / brusförhållande.

Beträffande kontrollenheten kan noteras att den är mycket greppvänlig och enkel att hantera. Vad den dock saknade var en timer för på- och avkoppling, vilket nästan är ett måste om man har fler mottagare än personer. Detta har dock implementerats under tiden som denna rapport skrivits.

Vad avser noggrannheten på mätningarna har jag inte haft så många andra GPS-utrustningar att jämföra med eftersom de tidigare testnätsmätningarna är gjorda med enfrekvensmottagare. Senare har dock mätningar utförts med Ashtech P XII vilken också är en tvåfrekvensmottagare. I jämförelse med denna höll Leica en liknande noggrannhet. Vid jämförelse med de konventionella mätningarna visar resultaten både från de korta och långa baslinjerna stora likheter. För närmare jämförelse mellan ovan nämnda utrustningar se Jivall och Ottoson (1993).

Det som brukar skilja mest mellan olika GPS-system är beräkningsprogrammet. Då jag själv inte är någon van användare av beräkningsprogram för GPS-mätningar såg jag det som en stor fördel att SKI arbetar under Windows. Uppbyggnaden av programmet var mycket enkel att förstå tack vare alla menyerna.

Tanken är att alla beräkningar i samband med ett GPS-jobb (baslinjeberäkning, nätutjämnning och transformationer) skall kunna utföras i samma programsystem. Leicas nätutjämningsdel är dock inte klar än.

Möjligheten att manuellt påverka beräkningarna är mycket små. Fördelen är att beräkningarna går fort att genomföra vilket är bra vid produktionsarbete. I en senare version (1.055) har man dock infört fler möjligheter att styra beräkningarna. Man kan här bland annat välja bort satelliter och ändra start- och stopptid för beräkningen.

Ytterligare en nackdel är att utdataformatet från sensorn är hemligt vilket medför problem vid egen programutveckling.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att Leica har lyckats få fram ett användarvänligt system för geodetisk mätning, mycket tack vare Windows och valet av sensor i stället för mottagare och antenn. Ett problem som dock kvarstår är problemet vid mätning då master behövs. Ett annat är de små möjligheterna att manuellt påverka beräkningarna.

Det finns dock vissa brister hos systemet för att passa alla typer av mätningar. Det lämpar sig t.ex. inte för navigering eftersom ingen möjlighet till användande av yttre antenn och RTCM-ingång finns. Utrustningen är inte heller lämplig för all kinematisk mätning eftersom inte P-kod mäts på L1.

Vad gäller tumregler för snabb statisk mätning kan observationstiderna hållas enligt tabell 5,2, d.v.s. 5-10 minuter för baslinjer upp till 5 km och 10-20 minuter för baslinjer mellan 5 och 10 km. På baslinjer mellan 10 och 15 km har inga testmätningar gjorts men det antas räcka med 30 minuters observationstid.

Det kan hända att periodobekanta kan lösas och resultatet ser ut att vara bra men att det egentligen inte är det. Detta kan upptäckas vid jämförelse av dubbelmätta baslinjer. Man bör därför tänka på att mäta på ett sådant sätt att önskad tillförlitlighet uppnås.

8. Litteraturlista

Eckels, Rod: Wild GPS-System 200 - Leica Introduces New "rapid static", Heerbrugg januari 1992

Eckels, Rod: Wild GPS-System 200 - GPS Technology From Leica, Heerbrugg januari 1992

Erickson, Caroline, Lachapelle, G, Bin, Bin She: Precise Rapid Static Surveys Using a Combination of Code and Carrier Measurements, Calgary 1991

Erickson, Caroline: An Analysis of Ambiguity Resolution Techniques For Rapid Static GPS Surveys Using Single Frequency Data, Calgary 1992

Frei, Erwin, Schubernigg, Michael: Wild GPS-system 200 - GPS surveying techniques using the Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA), Heerbrugg maj 1992

Hatch, Ronald, Keegan, Richard, Stansell, Thomas: Kinematic Receiver Technology From Magnavox, Torrance USA

Hatch, Ron: Instantaneous Ambiguity Resolution, Banff Canada 1990

Jivall, Lotti: Test av Trimble 4000 ST och Ashtech LXII i det svenska testnätet för GPS, SLT nr 1990:1

Jivall,Lotti: Programbeskrivning av Dubbel, LMV, Gävle 1991

Jivall, Lotti, Ottoson, Christina: Jämförelse mellan Leicas och Ashtechs GPS-system, Gävle, LMV-rapport 1993:4

Lantmäteriverket, HMK - Geodesi : GPS. Handbok till mätningkungörelsen, Gävle 1993 (remissversion)

Leica, Wild GPS-system 200 - User manual SKI-Static Kinematic Software, version : januari 1992, uppdatering : april 1992

Lithén,Thomas: Programbekrivning av Snoopy, LMV, Gävle

Reit, Bo-Gunnar, Jivall, Lotti: Programbeskrivning av Trans, LMV, Gävle

Schubanigg, Michael: High Precision GPS Measurements Turtmann Test Network, Switzerland Heerbrugg, juni 1992

I tabellerna redovisas följande:

- den fasta stationens nummer, högst fyra siffror
- den rörliga stationens nummer, högst fyra siffror
- avstånd mellan punkterna, i km
- observationstid i minuter
- antal satelliter som var tillgängliga
- GDOP-värde
- medelfel för flyttalslösningen
- medelfel för heltalslösningen
- om periodobekanta bestämts eller inte
- resultat från körningen av programmet DUB2 som gör en jämförelse mellan dubbelmätta baslinjer. Resultatet erhöles i form av differenser i ett lokalt system, nämligen i x, y och h samt en längdberoende differens (ppm-värde).

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	GDOP	Ant sat	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
7471	21	3,9	10,15	2.9	4	N	4,4	4,2	***	***	***	***
-"	-"	-"	11,45	3.8	4	N	4,0	3,1	***	***	***	***
-"	-"	-"	5,30	3.7	4	N	?	?	***	***	***	***
-"	-"	-"	10,00	3.6	4	N	?	?	***	***	***	***
-"	-"	-"	5,00	3.3	5	N	?	?	***	***	***	***
-"	-"	-"	9,45	2.9	7	J	6,0	6,3	***	***	***	***
7471	22	-"	14,45	7.6	7	N	4,5	5,3	*-87*	23	*-90*	14,1
-"	-"	-"	4,45	21.3	7	J	3,8	4,7	20	6	-10	3,2
-"	-"	-"	4,45	***	6	J	4,0	4,8	8	9	-24	1,9
-"	-"	-"	4,45	2.4	6	J	3,6	3,9	8	7	-26	1,7
-"	-"	-"	7,30	2.4	6	J	5,4	6,6	-2	11	*-55*	1,8
-"	-"	-"	10,00	4.2	6	J	5,1	7,4	-1	13	-42	2,0
-"	-"	-"	5,00	4.5	6	J	4,5	6,9	-3	2	*-44*	0,6
-"	-"	-"	13,00	2.2	6	J	5,0	5,4	7	17	-20	2,9
-"	-"	-"	4,45	2.5	6	J	4,3	5,2	-10	10	*-49*	2,2
-"	-"	-"	9,45	2.6	6	J	5,0	5,5	-1	2	-40	0,4
-"	-"	-"	4,45	3.5	6	J	3,7	4,3	10	9	*-43*	2,1

Sammanställning av mätdata från första dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	Ant sat	GDOP	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
29	21	3,9	18,30	5	3,3	J	4,7	5,0	5	-2	0	1,3
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	6,9	6,9	-1	4	*-39*	0,9
29	-"	-"	9,30	5	3,8	J	3,8	4,2	-1	-5	-9	1,3
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	5,2	6,0	14	-1	-13	3,6
29	-"	-"	9,45	5	3,7	J	4,8	4,9	4	-3	-1	1,3
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	4,6	5,5	*21*	5	4	5,6
29	-"	-"	4,45	5	3,5	J	3,9	5,5	4	-6	-1	1,8
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	3,5	5,3	*22*	10	6	6,0
29	-"	-"	4,45	5	3,4	J	4,1	4,9	-5	-8	-4	2,3
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	3,8	7,3	*18*	11	-6	5,4
29	-"	-"	-"	5	3,3	J	4,2	5,0	-6	-8	-3	2,5
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	3,9	6,5	17	10	10	5,0
29	-"	-"	9,45	8	3,0	J	6,3	7,3	13	-1	11	3,3
7471	-"	-"	-"	-"	-"	J	6,0	6,3	11	7	-7	3,3

Sammanställning av mätdata från andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast	Rörl	Avst	Tid	Ant	GDOP	Lösn av	rms	rms	dN	dE	dU	ppm
mott	mott	(km)	(min)	sat		p.obek	flyt	fix	(mm)	(mm)	(mm)	
21	200	5,7	18,30	4	2,9	J	4,1	4,8	6	-2	-7	1,2
-"	-"	-"	8,15	4	3,8	J	3,8	2,8	18	-1	-13	3,1
-"	-"	-"	1,15	4	3,8	N	3,0	3,6				
-"	-"	-"	6,00	5	3,8	J	4,2	5,1	1	0	0	0,2
-"	-"	-"	3,30	5	3,7	J	3,7	6,5	1	3	14	0,5
-"	-"	-"	3,45	5	3,6	N	4,9	7,2				
-"	-"	-"	4,00	5	3,5	J	4,7	6,5	18	8	7	3,5
-"	-"	-"	9,30	8	3,2	J	6,0	8,0	-5	-2	-9	0,9
7416	9036	2,4	5,30	7	7,9	J	4,2	7,0	-3	5	-11	2,4
-"	-"	-"	4,00	7	9,8	J	3,4	4,8	-2	5	2	2,1
-"	-"	-"	4,15	6	21,3	J	3,1	4,9	-5	8	-13	3,9
-"	-"	-"	4,30	6	***	J	3,6	4,3	-14	6	-25	6,1
-"	-"	-"	9,45	6	2,5	J	3,4	3,8	-5	2	-26	2,4
-"	-"	-"	9,30	6	2,4	J	4,2	4,6	2	5	-5	2,4

Sammanställning av mätdata från andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	Ant sat	GDOP	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
29	7416	1,3	14,45	7	7,9	J	4,6	5,0	4	-5	8	4,9
7471	-"-	6,5	-"-	-"-	-"-	J	6,1	7,7	5	-4	-20	1,0
29	-"-	1,3	4,00	7	9,9	J	4,1	4,4	3	-5	-2	4,1
7471	-"-	6,5	-"-	-"-	-"-	J	4,2	7,2	18	5	11	2,9
29	-"-	1,3	4,45	6	21	J	3,5	4,2	6	-5	2	5,6
7471	-"-	6,5	-"-	-"-	-"-	J	4,3	7,1	13	4	-7	2,2
29	-"-	1,3	5,00	6	3,0	J	3,8	3,8	7	-6	2	7,3
7471	-"-	6,5	-"-	-"-	-"-	J	3,9	4,9	-12	2	*-51*	1,9
29	-"-	1,3	20,00	6	2,4	J	4,2	4,5	3	-4	8	3,9
7471	-"-	6,5	-"-	-"-	-"-	J	5,0	5,8	-13	-8	-57	2,3
29	-"-	1,3	9,45	6	4,2	J	3,6	4,3	-7	2	-4	5,4
7471	-"-	6,5	-"-	-"-	-"-	J	4,9	6,0	-4	-10	-37	1,6

Sammanställning av andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	Ant sat	GDOP	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
29	9036	1,6	5,30	7	7,6	J	4,1	5,0	3	-1	-8	1,8
7471	-"-	8,9	-"-	-"-	-"-	N	6,4	9,7	*45*	*-295*	*-365*	33,7
29	-"-	1,6	14,45	7	7,6	J	4,1	4,9	6	-1	-4	3,8
7471	-"-	8,9	-"-	-"-	-"-	J	5,9	8,5	27	9	11	3,2
29	-"-	1,6	4,45	6	21	J	3,7	4,0	3	1	-12	2,2
7471	-"-	8,9	-"-	-"-	-"-	J	6,1	8,0	11	11	-21	1,8
29	-"-	1,6	4,45	6	***	J	3,6	3,9	-1	-1	-22	1,2
7471	-"-	8,9	-"-	-"-	***	J	4,3	5,3	-21	6	*-81*	2,5
29	-"-	1,6	9,45	6	2,4	J	4,2	4,1	1	-4	-16	2,6
7471	-"-	8,9	-"-	-"-	-"-	J	4,6	5,3	-14	-7	*-86*	1,8
29	-"-	1,6	9,45	6	4,2	J	3,7	3,6	3	-4	-10	3,1
7471	-"-	8,9	-"-	-"-	-"-	J	5,5	6,1	2	-6	-42	0,7

Sammanställning av andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	Ant sat	GDOP	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
22	9	0,7	12,30	6	2.0	J	3,6	4,4	-3	0	7	4,5
--	--	--	2,00	6	2.2	J	3,0	4,3	-1	1	7	2,4
--	--	--	7,15	6	2.4	J	4,0	4,3	4	2	5	6,9
--	--	--	0,45	6	2.4	J	2,9	4,5	8	-2	3	13,0
--	--	--	3,45	6	2.7	J	3,3	4,0	2	1	11	3,5
--	--	--	4,45	6	3.5	J	3,4	4,1	-1	0	16	2,2
--	--	--	4,30	6	3.5	J	3,7	5,6	3	3	19	6,7
--	--	--	9,00	6	3.8	J	4,3	4,3	2	2	18	4,7
--	--	--	9,00	6	4.1	J	5,0	5,4	-4	2	*27*	6,9
--	--	--	0,45	5	4.7	N	3,2	4,6				
--	--	--	8,45	5	4.7	J	5,9	6,8	-9	4	*30*	15,1

Sammanställning av mätdata från andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	Ant sat	GDOP	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
29	9	1,3	14,45	6	2,2	J	5,4	4,6	2	-2	2	2,2
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	5,7	5,0	-3	5	-29	0,9
29	-"	1,3	8,15	6	2,5	J	5,2	4,2	9	0	1	6,9
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	5,7	5,1	-3	7	-19	1,2
29	-"	1,3	3,45	6	2,6	J	3,8	3,5	3	-1	11	2,7
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	6,5	4,0	-8	5	-23	1,6
29	-"	1,3	5,00	6	2,7	J	4,0	3,4	2	0	12	1,5
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	6,2	3,7	-22	5	-32	3,8
29	-"	1,3	5,00	6	3,3	J	5,8	4,1	6	6	14	6,4
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	7,3	4,6	-12	8	-13	2,4
29	-"	1,3	9,45	6	3,6	J	4,3	4,6	4	2	4	3,3
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	6,2	5,6	-4	7	-18	1,2
29	-"	1,3	10,00	6	4,2	J	5,4	4,8	-3	5	15	4,6
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	6,9	6,0	-18	12	-23	3,6
29	-"	1,3	9,45	5	4,9	J	8,0	6,7	-14	5	15	11,5
7471	-"	6,1	-"	-"	-"	J	9,5	8,7	-23	13	11	4,4

Sammanställning av mätdata från andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast mott	Rörl mott	Avst (km)	Tid (min)	Ant sat	GDOP	Lösn av p.obek	rms flyt	rms fix	dN (mm)	dE (mm)	dU (mm)	ppm
29	22	1,1	17,30	6	2,2	J	4,8	4,4	2	-2	-2	2,3
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	6,0	5,8	-5	5	*-42*	1,0
29	-"-	1,1	9,45	6	2,5	J	5,1	4,4	5	-1	-5	5,0
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	6,6	5,3	-5	4	-29	1,0
29	-"-	1,1	4,45	6	2,6	J	3,7	3,7	1	-1	-1	1,3
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	6,9	4,0	-10	5	-33	1,7
29	-"-	1,1	4,45	6	2,7	J	4,4	3,5	3	-1	-3	3,1
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	5,1	3,3	-20	5	-47	3,2
29	-"-	1,1	4,45	6	3,3	J	4,7	4,2	4	3	-4	4,7
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	5,4	4,2	-15	5	-31	2,4
29	-"-	1,1	9,45	6	3,6	J	4,7	4,7	2	0	-12	1,6
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	5,8	4,9	-6	5	-35	1,1
29	-"-	1,1	9,45	6	4,2	J	5,3	4,9	1	4	-15	3,3
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	6,2	5,9	-13	10	*-51*	2,5
29	-"-	1,1	9,45	5	4,9	J	4,0	4,3	-3	0	-9	2,5
7471	-"-	6,4	-"-	-"-	-"-	J	6,9	7,0	-13	8	-26	2,3

Sammanställning av mätdata från andra dagens mätningar i Älvkarleby.

Fast	Rörl	Avst	Tid	Ant	GDOP	Lösning	rms	rms	dN	dE	dU	ppm
mott	mott	(km)	(min)	sat		p.obek	flyt	fix	(mm)	(mm)	(mm)	
29	200	2,3	19,45	4	3,3	J	4,0	4,7	4	-7	-3	3,4
7471	-"	9,5	-"	-"	-"	J	6,0	7,2	-3	0	-44	0,3
29	-"	2,3	9,45	4	3,8	J	3,1	3,0	9	-7	-18	4,9
7471	-"	9,5	-"	-"	-"	J	4,9	5,4	*37*	*-3	-32	4,0
29	-"	2,3	9,45	5	3,7	J	4,0	4,9	5	-5	-3	3,1
7471	-"	9,5	-"	-"	-"	N	4,4	8,3	24	7	1	2,6
29	-"	2,3	4,45	5	3,4	J	5,0	5,3	14	-2	-3	5,9
7471	-"	9,5	-"	-"	-"	N	5,1	10,5	*262*	-49	*-161*	28,2
29	-"	2,3	4,45	5	3,3	J	5,1	5,7	12	-2	2	5,3
7471	-"	9,5	-"	-"	-"	J	4,5	6,7	*125*	32	*-145*	132,3
29	-"	2,3	10,00	5	3,0	J	5,5	7,0	8	-5	-1	4,2
7471	-"	9,5	-"	-"	-"	J	6,5	9,5	6	3	-21	0,8

Sammanställning av mätdata från andra dagens mätningar i Älvkarleby.

STANDARDVVIKELSER FÖR MÄTNINGAR I ÄLVKARLEBY

Baslinje	Avstånd (km)	Obs.tid (min)	S(N)	S(E)	S(U)	Anm
7471 - 22	3.9	5	10.0	3.0	16.1	Dag1
		10	4.6	7.8	12.2	"-
21 - 200	5.7	5	9.8	4.0	7.0	Dag2
		10	11.5	0.6	3.0	"-
7416 - 9036	2.4	5	5.5	1.4	11.1	"-
		10	5.0	2.1	14.9	"-
22 - 9	0.7	5	3.7	1.8	6.5	"-
		10	5.2	1.4	11.3	"-
29 - 9	1.3	5	2.1	3.8	1.5	"-
		10	8.7	3.1	7.0	"-
7471 - 9	6.1	5	7.2	1.7	9.5	"-
		10	9.6	3.5	15.5	"-
29 - 7416	1.3	5	2.1	0.6	2.3	"-
		10 - 20	6.1	3.8	6.9	"-
7471 - 7416	6.5	5	16.1	1.5	31.9	"-
		10 - 20	9.0	3.1	18.5	"-
29 - 9036	1.6	5	2.3	2.5	7.2	"-
		10	2.5	1.7	6.0	"-
7471 - 9036	8.9	5	22.6	3.5	42.4	"-
		10	20.7	9.0	48.6	"-
29 - 22	1.1	5	1.5	2.3	1.5	"-
		10	2.9	2.3	5.2	"-
7471 - 2	6.4	5	5.0	0.0	8.7	"-
		10	4.3	2.5	10.1	"-
29 - 200	2.3	5	1.4	0.0	3.5	"-
		10	2.4	1.2	7.9	"-
7471 - 200	9.5	5		*		"-
		10	17.9	4.3	19.1	"-
29 - 21	3.9	5	5.5	1.2	1.5	"-
		10	5.8	1.7	8.2	"-
7471 - 21	3.9	5	2.6	0.6	8.3	"-
		10	9.2	3.4	18.2	"-

* Periodobekanta är bara bestämt för en mätning

Baslinj jämförelse mellan dag 1 och dag 2, Rörberg.

Baslinje	Dag 1 (m)	Dag 2 (m)	Diff (mm)	ppm
1-2	1327.0632 +- 0.0005	1327.0646 +- 0.0004	-1.4	1
1-3	595.9445 +- 0.0003	595.9474 +- 0.0005	2.9	5
1-4	726.1039 +- 0.0004	726.0975 +- 0.0003	6.4	9
1-5	835.5099 +- 0.0005	835.5008 +- 0.0004	-6.6	8
2-3	1001.8902 +- 0.0004	1001.8968 +- 0.0006	9.1	9
3-4	1052.0371 +- 0.0004	1052.0320 +- 0.0003	5.1	5
4-5	479.5385 +- 0.0003	479.5438 +- 0.0002	-5.3	11