



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

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT
1995:21

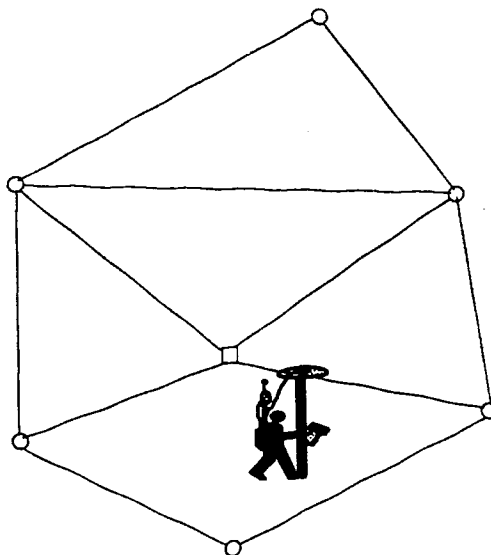
ISSN 0280-5731

STOMNÄT OCH METODIK FÖR DETALJMÄTNING MED GPS

- nuläge december 1995

av

Bengt Eurenus



Gävle 1995

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1992:14 Hedling G, Jivall L, Jonsson B, Andreasson J: Some Swedish GPS Activities 1991 - Geodetic Control Surveying, Aerial Photography and a Swedish DGPS Network.
- 1992:16 Almgren K & Sandvik L H: Alternativa metoder vid framställandet av orienteringskartor.
- 1992:21 Eurenus B & Norin D: GPS inom förrättningsmätning.
- 1993:1 Ekman M: Geoiden i Sverige och geoidhöjdssystemet RN 92.
- 1993:2 Ottoson C: Undersökning av Wild GPS-system 200 - GPS-mottagare samt tillhörande programvara.
- 1993:4 Jivall L & Ottoson C: Jämförelse mellan Leicas och Ashtechs GPS-System.
- 1993:5 Svensson R: Utvärdering av geodetiska nät-utjämningsprogram på PC.
- 1993:7 Hedling G & Jonsson B: PREF - A Test of a Swedish Network of Reference Stations for Positioning.
- 1994:14 Johnson M: Regionalt studium av riksnäten med GPS - en homogenitets- och transformationsstudie.
- 1994:24 RIX 95 - en utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stomnät.
- 1994:25 Persson K & Persson C-G: Datafångst för GIS med användning av GPS.
- 1994:28 Reit B-G: SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem.
- 1995:3 Kurkinen K: Radiolänkar för överföring av GPS-data.
- 1995:4 Persson C-G: Terrestrial Methods in Surveying, Mapping and Establishment of Geographic Data Bases.
- 1995:14 Bergman A & Frisk A: Positionsnoggrannheten för differentiell GPS via EPOS-tjänsten.
- 1995:15 Hedling G & Jonsson B: SWEPOS - A Swedish Network of Reference Stations for GPS.
- 1995:16 Norin D & Eurenus B: Fortsatta försök med GPS inom förrättningsmätning.
- 1995:17 Nilsson G: Förrättningsmätning med GPS i AC län.
- 1995:20 Ekman, M: Slutberäkningen av Sveriges tredje precisionsavvägning - försök till problem-beskrivning i nordiskt perspektiv.

Titel

Stomnät och metodik för detaljmätning med GPS - nuläge december 1995
av Bengt Eurenus

Huvudinnehåll

Rapporten beskriver försök med etablering av särskilda referenspunkter anpassade för GPS-mätning i befintliga kommunala stomnät samt detaljmätning mot dessa punkter med GPS-teknik.

Försöken har gjorts i samarbete mellan Lantmäteriverket och läns-MBK-gruppen i Västmanland och varit förlagda till Västerås stad.

LDOK

Kg Satellitgeodesi

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE



Stomnät och metodik för detaljmätning med GPS

- nuläge december 1995

FÖRORD

Idag finns utrustningar för att göra detaljmätning med GPS-teknik, där man får resultaten i realtid direkt i fält. Detta har fått till följd att frågor som rör denna typ av detaljmätning och utformning av stomnät som grund för mätningen har blivit alltmer aktuella.

Med anledning av detta påbörjades sommaren 1995 projektet **Stomnät och metodik för detaljmätning med GPS (SMED)** på Lantmäteriverket. Projektet består av två delar, metodfrågor och utrustningsfrågor. Denna rapport beskriver metodfrågedelen, där arbetet har bedrivits i samverkan med läns-MBK-gruppen i Västmanland, representerade av lantmäteriförvaltningen i Västerås stad, med vilka vi under projektets gång haft ett mycket gott samarbete. Projektgruppen har koncentrerat sig på i huvudsak kommunala tillämpningar i stadsmiljö. Beträffande stomnäten har läns-MBK-gruppens sammanfattande frågeställning "Hur ska kommunala stomnät se ut och mätas i en GPS-värld?" varit vägledande. För detaljmätningen har det främst gällt att se i vilken utsträckning GPS-tekniken kan användas.

För att kunna få en klar bild av problemställningen och få åtminstone några svar på dessa och andra liknande frågor har testmätningar i olika stadsmiljöer i Västerås genomförts.

Projektets del utrustningsfrågor beskrivs i en separat rapport.

SMED-projektets första fas avslutas i och med dessa rapporter. Rapporten för metodfrågor beskriver nuläget i december 1995 för utredning av ovanstående frågeställningar och tolkningar av resultaten från genomförda testmätningar.

Bengt Eurenus har varit projektledare samt delprojektledare för metodfrågor och Christina Ottoson har varit delprojektledare för utrustningsfrågor. I arbetsgruppen för metodfrågor har Bengt Andersson, Sofia Björklund, Lotti Jivall, Dan Norin från Lantmäteriverket samt Jan Virking från lantmäteriförvaltningen i Västerås stad deltagit.

SAMMANFATTNING

Vid detaljmätning med GPS-teknik medger tekniken i sig att referenspunkterna inte behöver ligga lika tätt som t.ex. punkterna i dagens bruksnät, beroende på att optisk sikt inte behövs mellan punkterna. Stomnäten bör kunna utformas på andra sätt än som hittills rekommenderats när den nya GPS-tekniken ska användas. Det finns mycket pengar att spara om stomnätet kan göras glesare och antalet punkter som ska underhållas minskar.

Projektet "Stomnät och metodik för detaljmätning med GPS" vid Lantmäteriverket har tillsammans med läns-MBK-gruppen i Västmanland, genomfört testmätningar i Västerås stad med avsikt att få en bild av hur ett (kommunalt) stomnät kan anpassas till den nya GPS-tekniken.

Med tre olika modeller kan man beskriva möjligheterna att utnyttja GPS-tekniken för utformning av stomnäten och för detaljmätning.

Modell ett är den enklaste och innebär att man vid detaljmätning med GPS-teknik mäter på minst tre stycken kända brukspunkter, som omger mätområdet. En transformationsformel som skalar och vrider in mätningarna i stomnätet erhålls. Man får en bra kontroll av resultaten och kan komma igång relativt snabbt med den nya tekniken. Nackdelarna är att det inte ger någon förändring beträffande stomnätet, t.ex. i form av glesare nät och färre punkter att underhålla. Därmed får man också ett merarbete jämfört med terrester detaljmätning.

Anslutningsnätet är glesare än bruksnätet. Om detaljmätning med GPS-teknik kan göras relativt punkter i anslutningsnätet, kan antalet punkter som ska underhållas reduceras betydligt. I denna rapport beskrivs bl.a. inventering av punkter i anslutningsnätet för att se om dessa kan användas som referenspunkter. Resultaten från undersökningen tyder på att det kommunala anslutningsnätet inte är lämpat att fungera som referensnät för GPS-mätning, främst på grund av att punkterna är gjorda för terrester mätning utan krav på fri sikt uppåt och att de ofta är belägna i gator och trafikleder, vilket försvårar deras användning.

I stället förordas modell två, som innebär etablering av ett glest nät av särskilda referenspunkter, som bestäms mot punkter i anslutningsnätet. De särskilda referenspunkterna ska vara anpassade för GPS-mätning med fri uppåtsikt samt vara lättillgängliga, väl skyddade och varaktigt markerade. Punkterna ska ha ett välbestämt samband till det befintliga stomnätet, så att de tar hänsyn till stomnätets deformationer i området. Kriteriet vid etablering av ett sådant nät måste vara att resultaten vid detaljmätningen relativt det nya nätet ska vara de samma som vid detaljmätning mot bruksnätet.

Modell tre innebär utnyttjande av fasta referensstationer med punktavstånd på 10 - 20 km. Referensstationen bestäms mot anslutningsnätet så att korrektionsmodeller erhålls. Dessa används för att passa in detaljmätningarna i stomnätet, så att närsambanden bibehålls. Scenariot kan vara mätning i närområdet av en SWEPOS-station eller användning av en fast referensstation som täcker hela eller delar av en kommun.

I rapporten redogörs för arbetet med att etablera nya referenspunkter enligt modell två. Tre referenspunkter anlades i Västerås, en bit utanför citykärnan. Beskrivningen innefattar rekognosering, markering, mätning, beräkning och analyser av resultaten. Grunden för ett sådant nät blir anslutningsnätet. Arbetet med att etablera referenspunkterna bör börja med en undersökning av anslutningsnätets kvalitet.

Försöken visar att det är möjligt att hitta platser för nya referenspunkter i alla stadsdelar. En ordentlig rekognosering av de punkter som ska GPS-mätas underlättar såväl mät- och nätplaneringen som själva mätningen. GPS-mätning av stomnät i stadsmiljö går bra att utföra, även om sikthinder gör att en del punkter bara kan användas under en viss del av dagen. Det är därför också viktigt att inte göra mätsessionerna för korta.

Där det inte går att använda GPS för detaljmätningen kan ändå antalet stompunkter minskas om tillfälliga mätpunkter bestäms mot de nya referenspunkterna, så att t.ex. fri station kan utnyttjas vid den efterföljande terrestra detaljmätningen.

Inga avståndsberoenden i GPS-mätningarna kunde konstateras vid försöken med detaljmätning med GPS, som omfattade baslinjer på upp till 4 km. Försökens detaljmätningar klarar emellertid inte toleranskraven i HMK för objekt med de strängaste kraven, 20 mm i plan och 5 mm i höjd på 2 sigma-nivån. Vid höjdmätningen vore det en fördel om mätutrustningen kunde hantera hela eller delar av geoidmodellen.

Vid detaljmätning med GPS är centreringsen av antennen över punkten och det faktum att antennhöjden ofta ändras under mätningens gång två felkällor. En svårkontrollerad felkälla är flervägsfel, dvs. att signalen från satelliten studsar i t.ex. ett hustak eller en trädgren, vilket kan leda till felaktig position. Det är viktigt att göra kontroller vid mätningarna. Bra kontroller är t.ex. mätning på kända punkter i området, mätning mot ytterligare en referenspunkt och dubbelmätning.

Slutsatsen från försöken blir att bruksnätet bör kunna börja ersättas med ett glesare nät av referenspunkter, som gärna kan vara högt belägna för att få så bra räckvidd som möjligt för radioutrustningen vid detaljmätning med GPS-teknik. Från dessa referenspunkter bestäms tillfälliga mätpunkter som utgångspunkt för detaljmätningen, som görs med terrestra metoder. De tillfälliga mätpunkterna bestäms med GPS-detaljmätning i form av dubbelmätning mot de nya referenspunkterna och tvångscentrering. Detta sätt kan vara en bra början att komma igång med den nya tekniken och de nya metoderna.

Försöksresultaten har inte kunnat ge svar på alla frågorna, nya frågeställningar har tillkommit och i en del fall har endast problembilden klarnat. En fortsättning på projektet är därför nödvändig för att kunna utarbeta riktlinjer och ge relevanta råd. Detta gäller främst detaljmätning med GPS, bl.a. på långa avstånd (5 km och längre), men även fler försök med nya referenspunkter enligt modell tre, behövs.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	6
2.	VANLIG UPPBYGGNAD AV NÄTHIERARKIN I EN KOMMUN	7
2.1	Historik	7
2.2	Höjdnät	7
2.3	Anslutningsnät	7
2.4	Bruksnät	8
3.	KOMMUNALA STOMNÄT OCH GPS-TEKNIK	9
3.1	Detaljmätning med GPS-teknik	9
3.2	Möjligheter till ny nätutformning med GPS-tekniken	9
3.3	Kommunala stornät och riksnätet	11
4.	UTFORMNING AV KOMMUNALT STOMNÄT I EN GPS-VÄRLD	13
4.1	Anslutningsnätet som referensnät	13
4.1.1	Inventering av punkter i anslutningsnätet	13
4.1.2	Resultat och erfarenheter	15
4.2	Särskilt nät av referenspunkter för GPS-mätning	16
4.2.1	Hur undersöker man kvaliteten på sitt stornät?	17
5.	ETABLERING AV NYA REFERENSPUNKTER	19
5.1	Rekognosering och markering	19
5.1.1	Resultat och erfarenheter	20
5.2	Planering, mätning och beräkning	21
5.2.1	Resultat och erfarenheter	22
5.3	Analys av testmätningar och resultat	25
5.3.1	Plant yttäckande nät	25
5.3.2	Höjdbestämmning	26
5.3.3	GPS-detaljmätning	27
5.4	Tillfälliga mätpunkter	27
5.4.1	Resultat och erfarenheter	27

LANTMÄTERIVERKET

6.	FÖRSÖK MED DETALJMÄTNING MED GPS	29
6.1	Kontroller	30
6.2	Felkällor och problem	30
6.3	Kombination mellan GPS- och terrester mätning	31
7.	SLUTORD	32
	REFERENSER	33
	BILAGA A	
	Analys av mätningarna i Smed-projektet	
	BILAGA B	
	Jämförelser mellan olika mätningar och beräkningar	

1. INLEDNING

Vid beskrivning av olika GPS-termer och -begrepp i denna rapport har målsättningen varit att följa den terminologi som finns utgiven, varför hänvisning görs till (SIS, 1994).

GPS-tekniken har i Sverige, för kartläggnings- och projekteringsarbeten o.dyl. hittills främst använts för statiska mätningar, t.ex. nyetablering och förtätning av stornät. Under de senaste åren har dock stora resurser satsats på GPS-mottagare som klarar kinematiska mätningar med hög noggrannhet. Detta har resulterat i att det idag finns GPS-utrustningar och programvaror för bl.a. semikinematisk bärvågsräkning med flygande bestämning av periodobekanta och där resultaten kan fås i realtid direkt i fält.

Därmed kan man göra detaljmätning, i form av inmätning och utsättning, med GPS-teknik, vilket kommer att innebära en mycket bredare GPS-användning än tidigare. Allt fler kommer att satsa på denna teknik för att kunna rationalisera sin mättningsverksamhet och GPS-mottagare kommer att tillhöra vardagsutrustningen inom en snar framtid. Därför förväntas behovet av råd och riktlinjer vara stort under några år framåt. Frågor om metodik, teknik och utrustning i samband med detaljmätning med GPS behöver redas ut inför en bred introduktion.

Utgångspunkten i rapporten är frågor kring utformning av stornät och metodik för detaljmätning med GPS. En aktiv frågeställare, framför allt vad gäller utformning och mätning av stornäten i en GPS-värld, är Läns-MBK-gruppen i Västmanland. Denna grupp, representerade av Lantmäteriförvaltningen i Västerås stad, har tillsammans med Lantmäteriverket genomfört fas 1 av metoddelen i projektet "Stornät och metodik för detaljmätning med GPS", vilken beskrivs i denna rapport. Rapporten är uppbyggd kring olika frågeställningar och svar i form av tolkningar av testresultat. Den sammanfattande huvudfrågan är hur kommunala stornät ska se ut och mätas samt hur detaljmätningen ska gå till. Rapporten ger i princip en generell beskrivning, men tonvikten ligger på stornätsdelen och den kommunala verksamheten.

Några delfrågor är i vilken utsträckning bruksnäten behövs i framtiden, höjdmätning med GPS samt metodiken för detaljmätning med GPS.

För att få en klar problembild samt svar på några av frågorna har omfattande tester, förlagda till Västerås, genomförts och dessa liksom tolkningarna av testresultaten redovisas i form av denna nulägesrapport, daterad i december 1995.

För att kunna ge mer generella råd och riktlinjer behöver dock erfarenheterna och resultaten i denna rapport kompletteras med fler och mer omfattande försök, särskilt för detaljmättningsdelen. Dessa försök kan med fördel förläggas till Västerås, där vi efter de genomförda försöken känner stornätsförhållandena.

Andra projekt med liknande innehåll, men som behandlar infrastrukturfrågor, är Banverkets "Jämförande tester av GPS stop & go och realtidsräkning av detaljer", som behandlar metoder för detaljmätning med GPS-teknik i järnvägsmiljö samt "Projekt långsträckta stornät" med byggföretaget NCC i projektledningen och finansiering från bl.a. Byggnadsnämnden. På KTH bedrivs även forskningsarbete om dessa frågor. Genom samarbete mellan de olika projekten har man försökt undvika dubbelarbete. I stället har projekten möjligheter att kunna komplettera varandra.

2. VANLIG UPPBYGGNAD AV NÄTHIERARKIN I EN KOMMUN

Dagens GPS-teknik ger bl.a. möjligheter att utforma stornäten - grunden för i stort sett all annan mätning, kartläggning och projektering - på andra sätt än vad som hittills varit vanligt. Detta kan i sin tur leda till främst reducerade underhållskostnader för stornäten.

Den följande beskrivningen av nuvarande stornätsstruktur och arbeten som utförs för att bygga upp och underhålla stornäten i ett tätbebyggt område (stad), får tjäna som motiv till varför det är angeläget att tack vare den nya tekniken pröva nya metoder för utformning av stornät, som grund för detaljmätning.

Beskrivningen är allmängiltig, men baseras på förhållandena i Västerås stad (Virking, 1995a) med ett typiskt kommunalt lokalt stornät, vad gäller utformning och historisk bakgrund.

2.1 Historik

Nätet etablerades med ett huvudtriangelnät av berlinertyp med ca. 20 punkter, som även ingår i riksnätet, och ett detaljtriangelnät med ca. 100 punkter samt en bas på 3,2 km. Beräkningen gjordes i ett lokalt system och nätet anslöts till rikets system RT 38, 2,5 gon väst för erhållande av ett transformations samband mellan det lokala systemet och riksnätet.

Polygonnätet byggdes under 1950- och 1960-talen ut samtidigt med primärkarteverket och förtätades i exploateringsområdena. Under en 20-årsperiod efter kommunsammanslagningarna i början på 1970-talet byggdes nätet ut i ett och samma koordinatsystem för hela den nya storkommunen. I staden förtätades och restaurerades det plana nätet efter behov.

Om man använder den funktionsanpassade indelningen av näten enligt (HMK-Ge:S, 1993) i anslutningsnät och bruksnät så är i detta fall alla punkter klassade som anslutnings- eller brukspunkter.

2.2 Höjdnät

Höjdfixnätet etablerades med ca. 300 precisionsfixar. De flesta polygonpunkterna har också höjdsatts. Under 1980-talet har höjdnätet byggts ut och förtätningen fortsätter. Idag är nätet yttäckande och består av 900 fixpunkter, men är fortfarande alldeles för glest. Punkter som ingår i riksnätets huvud- eller precisionslinjer klassas som anslutningspunkter, medan övriga punkter är brukspunkter.

2.3 Anslutningsnät

Anslutningsnätet är länken mellan riksnätet och bruksnätet och består av detaljtriangelpunkter och storpolygonpunkter. Det är det egentliga stornätet som täcker hela verksamhetsområdet. Punkterna i anslutningsnätet ligger i större vägar och trafikleder och indelar staden på ett naturligt sätt i områden. På landet är nätet glesare, polygontågen följer vägar, bebyggelsen och det öppna landskapet.

Anslutningsnätet utgör alltså det plana stomnätet. Det är därför viktigt att det är homogent, av hög kvalitet och att punkterna har stabila och varaktiga markeringar samt att det finns kontinuitet i underhållet.

Ett anslutningsnät i plan behövs och kommer alltid att behövas som bärare och identifierare av referenssystemet.

2.4 Bruksnät

Det plana bruksnätet finns i alla delområden och används dagligen vid alla typer av detaljmätningar. Nätet består av tusentals punkter, varför det tar lång tid att etablera och kräver stora resurser för underhåll.

Markering i gatumark kräver väghållarens tillstånd. Asfaltering runt däckslarna skall göras av gatukontoret eller motsvarande och på stomnätsorganisationens bekostnad. Vid markering och mätning skall avstängningsanordningar utföras enligt Vägverkets anvisningar. Underjordiska ledningar får inte skadas av punktmarkeringarna. Det är inte tillåtet att markera punkter i broar och viadukter eftersom det kan uppstå skador i betongen. Vid översyn och isolering av broar tas gamla markeringar bort.

Före markeringsarbetet måste kabelvisning beställas när det finns ledningar i närheten. Ofta är väntetiden någon dag. Siktröjning måste ibland göras. Ris och kvistar får inte lämnas kvar utan måste köras bort.

Punkterna ligger mestadels i gator och trafikleder vilket gör att mätpersonalen vid mätningarna befinner sig ute i trafiken och därmed utsätter sig för livsfara. Ofta finns inget val när det gäller punktens läge. Vid nymarkeringar återstår inga andra platser när hänsyn måste tas till underjordiska ledningar och sikter till grannpunkter.

Kostnaderna kan synas bli omotiverat höga för arbetet med stomnätet, trots att brukspunkterna behövs och vinsten kommer när mätningar blir aktuella i respektive område. Trots att många punkter kanske aldrig blir använda måste, med de hittills använda teknikerna och metoderna, ändå beredskapen vara god och punkter finnas överallt.

Stomnätet ska vara heltäckande och av bra kvalitet, med en täthet som motsvarar förväntad användning.

3. KOMMUNALA STOMNÄT OCH GPS-TEKNIK

GPS-tekniken har sedan flera år tillbaka förändrat och främst effektiviserat arbetsmetoderna vid stommätning och håller på att förändra metoderna vid detaljmätning. GPS-utrustningarna hanteras på andra sätt och kraven på sikter är annorlunda vid GPS-mätning jämfört med konventionell terrester mätning. Vid GPS-mätning vill man helst ha fri sikt upp mot satelliterna, medan det inte är nödvändigt att ha sikt mellan punkterna, som vid terrester mätning. Detta ställer andra krav och ge andra möjligheter beträffande utformningen av stornäten än vad som hittills rekommenderats. Av den anledningen bör man bl.a. kunna göra stornäten glesare.

3.1 Detaljmätning med GPS-teknik

Vid detaljmätning med GPS-teknik, i form av realtids semikinematisk bärvågsmätning med flygande bestämning av periodobekanta (SIS, 1994), används i princip två stycken GPS-mottagare. Den ena placeras över en punkt med känd position och utgör referens vid mätningen. Den andra GPS-mottagaren används för själva mätningen, som görs relativt referensen. Till denna rörliga GPS-mottagare kopplas någon form av registrerings- och beräkningsutrustning, oftast en fältdator. Där registreras, presenteras, beräknas och lagras resultaten; punktidentiteter, koder, koordinater, höjder och attribut vid inmätning samt utställningsdata vid utsättning.

För att få resultaten i realtid krävs att referensmottagaren kan sända data under mätningens gång till den rörliga GPS-mottagaren, för att denna ska kunna beräkna sin och därmed nypunktens position. Dataöverföringen görs vanligen med hjälp av ett par radiomodem. En sådan utrustning med maximalt 0,5 W effekt har en aktionsradie på ung. 2 km. Aktionsradien varierar beroende på bl.a. topografi, vegetation, bebyggelse och hur högt utrustningarna monteras. Högre effekt ger givetvis större aktionsradie, t.ex. finns radioutrustning med 25 W effekt, som ger en aktionsradie på ca. 10 km. För högre effekt än 0,5 W krävs särskilt frekvenstillstånd från Post- och Telestyrelsen.

3.2 Möjligheter till ny nätutformning med GPS-tekniken

GPS-tekniken i sig medger att området där detaljmätning ska utföras kan vara relativt långt bort från den eller de punkter som mätningen görs mot. Ett riktvärde för vad beräkningsalgoritmerna i GPS-mottagarna klarar för att få "detaljmätningssnoggrannhet" och snabbhet i resultaten är, enligt GPS-fabrikanernas specifikationer, 10 km. Detta leder till att de punkter som utgör referens i princip inte behöver ligga så tätt som punkterna gör i ett bruksnät utformat för terrester mätning, ung. 100 - 500 m. Punktavstånden kan ökas till ung. samma avstånd som i anslutningsnätet, men med en annorlunda punktplacering, som är anpassad även för GPS-användning. Detta medför i sin tur att de punkter som ska underhållas drastiskt minskar, vilket kan spara mycket pengar. En begränsande faktor vad gäller punkttätheten kan dock vara radioutrustningens räckvidd.

När ett nytt nät av referenspunkter skapas måste man se till att hänsyn tas till eventuella deformationerna i det befintliga stornätet. Gamla mätningar ska stämma överens med de nya mätningarna, med bra inbördes samband.

Man kan på olika sätt utnyttja GPS-tekniken samtidigt som sådana hänsyn tas. Ett enkelt sätt är att mäta på kända punkter i bruksnätet och på så sätt få ett transformationssamband för nypunkterna till bruksnätet. Det innebär dock inga vinster i form av färre punkter att underhålla.

Ett annat sätt, som beskrivs i denna rapport, är etablering av särskilda referenspunkter, som är välbestämda, välmarkerade och lättillgängliga. Det nya nätet av referenspunkter blir glesare än bruksnätet och bestäms mot punkter i anslutningsnätet. Punktbestämningen avslutas med att passa in de nya referenspunkterna på omgivande punkter i stomnätet, på ett sådant sätt att närsambanden bibehålls. Varje referenspunkt är representativ för ett visst område. Detaljmätningarna med GPS-teknik görs mot de nya referenspunkterna, där beräkningen av nypunkterna inkluderar inpassning med ett för området gällande samband. Där detaljmätning inte kan göras med GPS-teknik bestäms tillfälliga mätpunkter mot det nya nätet av referenspunkter, och detaljmätningen görs med terrestra metoder relativt de tillfälliga mätpunkterna.

Ett tredje sätt kan vara att utnyttja en befintlig SWEPOS-station, eller att en eller flera kommuner etablerar ett nät av fasta referensstationer. Dessa är permanent bestyckade med GPS-mottagare och radioutrustning för utsändning av data. Punktavståndet i ett sådant nät blir 10 - 20 km. Nätet kan antingen "förtätas" enligt principen med särskilda referenspunkter, som beskrivs i föregående stycke, eller så fastställs sambandet till befintligt stomnät med hjälp av anslutningsnätet, så att närsambanden mot det befintliga stomnätet bibehålls. Olika inpassningssamband eller korrektionsmodeller är representativa för olika områden. Detaljmätning med GPS-teknik görs i realtid mot de fasta referensstationerna. Mätutrustningen har verktyg för att i realtid passa eller "korrigera" in nypunkterna på stomnätet i området, se figur 1. Detta sätt är mer framtidsbetonat än det första - en referensstation på stadshustaket för hela kommunen - men framtiden kan snart vara här.

När GPS-tekniken ger möjligheter till annorlunda utformade stomnät blir en av "knäckfrågorna" i vilken utsträckning bruksnäten behövs i framtiden. Kommer de att ersättas av särskilda referenspunktsnät, som är anpassade för GPS-användning och bestämda mot anslutningsnätet, eller kan anslutningsnätet användas som referens vid detaljmätning med GPS-teknik? Den stora vinsten med användning av GPS-teknik i detta sammanhang förväntas ju bl.a. i form av glesare nät och därmed minskat eller eliminerat underhåll av bruksnäten.

En annan "knäckfråga" är höjdmätning med GPS. Primärt levererar GPS-utrustningarna höjden över en referensellipsoid, medan det är höjden över havet (geoiden) som man normalt vill använda. Ett antal olika metoder för att i realtid gå över från ellipsoidhöjder till höjder över havet har lanserats och behöver testas.

En tredje väsentlig fråga är hur detaljmätningen med GPS-teknik i plan och höjd rent metodikmässigt ska utföras. Kan, ur noggrannhetssynpunkt, GPS-teknik användas för alla slags objekt och hur långt från referenspunkten kan man mäta?

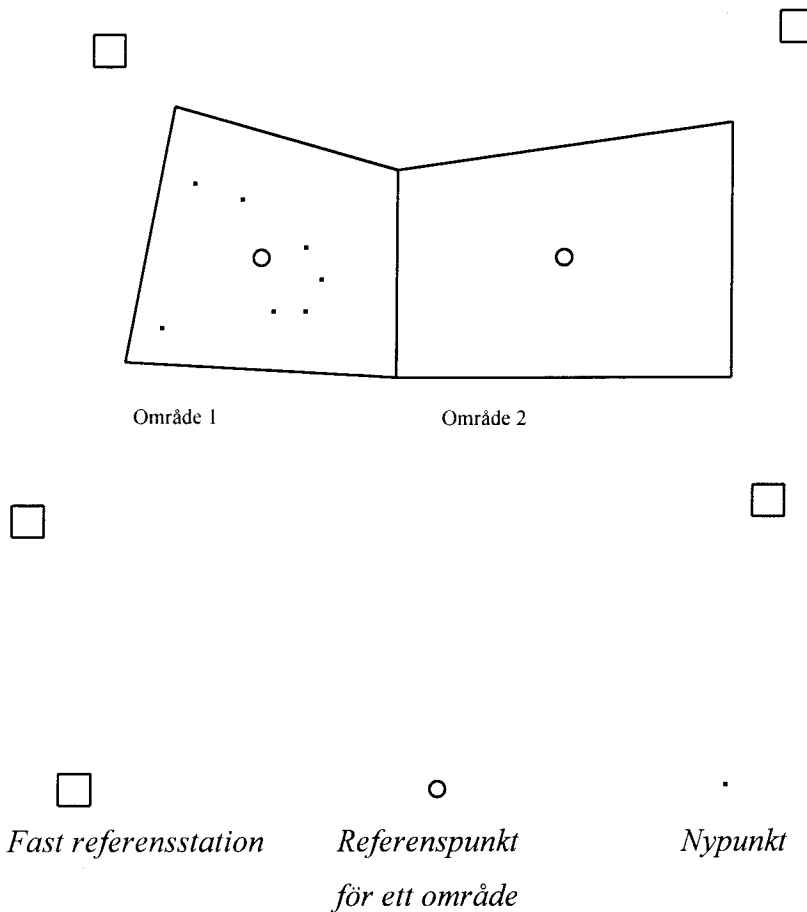
*Figur 1*

Illustration av nät av fasta referensstationer, t.ex. för en eller flera kommuner. Nätet "förtätat" med särskilda referenspunkter, som inpassats på det befintliga stomnätet.

3.3 Kommunala stomnät och riksnätet

Problembeskrivningen går till stora delar ut på att de nya referenspunkterna som eventuellt kan ersätta brukspunkterna ska vara representativa för deformationerna i omgivande stomnät, dvs. vara likvärdiga brukspunkterna. Däremot belyses inte möjligheterna att, om man nu behöver etablera nya referenspunkter, även få ett bra samband mellan det lokala stomnätet och riksnätet.

Ett infrastrukturprojekt som sträcker sig över flera kommuner, som har lokala stomnät, borde kunna utnyttja kommunala stompunkter av hög kvalitet i stället för att bestämma nya punkter i dessa kommuner. Ofta finns dock inga bra samband till riksnätet, det grundar sig på alltför få gemensamma punkter och har därmed inte tillräckligt hög kvalitet.

Problemet är att få punkter som dels är representativa för det lokala stomnätet och som kommunen kan använda, och dels få samma punkter representativa för ett större område och som ett infrastrukturprojekt kan använda.

Dessa frågor belyses i (LMV, 1994) och i (Engberg, 1995) ges en utförlig redovisning för anpassning av kommunala stornät till riksnätet. (Kvarnström, 1995) ger en utmärkt beskrivning av problemställningen samt en redogörelse för ett mätprojekt som kan vara en lösning på problemet. En slutsats som han drar är att det kanske är nödvändigt att kunna presentera informationen i mer än ett koordinatsystem för att tillgodose olika krav.

4. UTFORMNING AV KOMMUNALT STOMNÄT I EN GPS-VÄRLD

Själva GPS-tekniken tillåter att stomnätet kan göras glesare än ett vanligt bruksnät. Kan man då sluta använda bruksnätet och i stället göra sina mätningar mot anslutningsnätet, eller behöver man etablera ett särskilt referensnät som anpassas till GPS-tekniken? Terrester mätning kommer med stor säkerhet att finnas kvar i viss omfattning även i framtiden, vilket talar för att brukspunkter behövs. En fördel med att ha kvar någon form av bruksnät är också att ha möjligheter att säkerställa närmoggrannheten i mätningarna.

En kort sammanfattning av kapitlet visar att det är bättre att med hjälp av anslutningsnätet etablera särskilda referenspunkter som är anpassade även för GPS-mätning, än att göra detaljmätningen med GPS direkt mot anslutningsnätet. Den främsta anledningen till detta är att punkterna i anslutningsnätet är till för terrester mätning utan krav på fri sikt uppåt och ofta är belägna i gator och trafikleder, vilket försvårar deras användning. Ett sådant referensnät får ungefär samma täthet som ett anslutningsnät, men med en annan utformning. Punkterna ska vara lättillgängliga, väl skyddade och ha fri sikt uppåt. Det bör inte vara alltför svårt att finna platser för sådana punkter i tätbebyggda områden. Grunden för nätet blir anslutningsnätet, som ska vara homogent och ha en känd och bra kvalitet. Arbetet med ett nytt nät av referenspunkter börjar alltså med en undersökning av det befintliga stomnätets kvalitet.

Utgångspunkten i de följande avsnitten är att referensnätet används både för detaljmätning med GPS-teknik och att det är utformat så att hänsyn tas till eventuella deformationer i stomnätet.

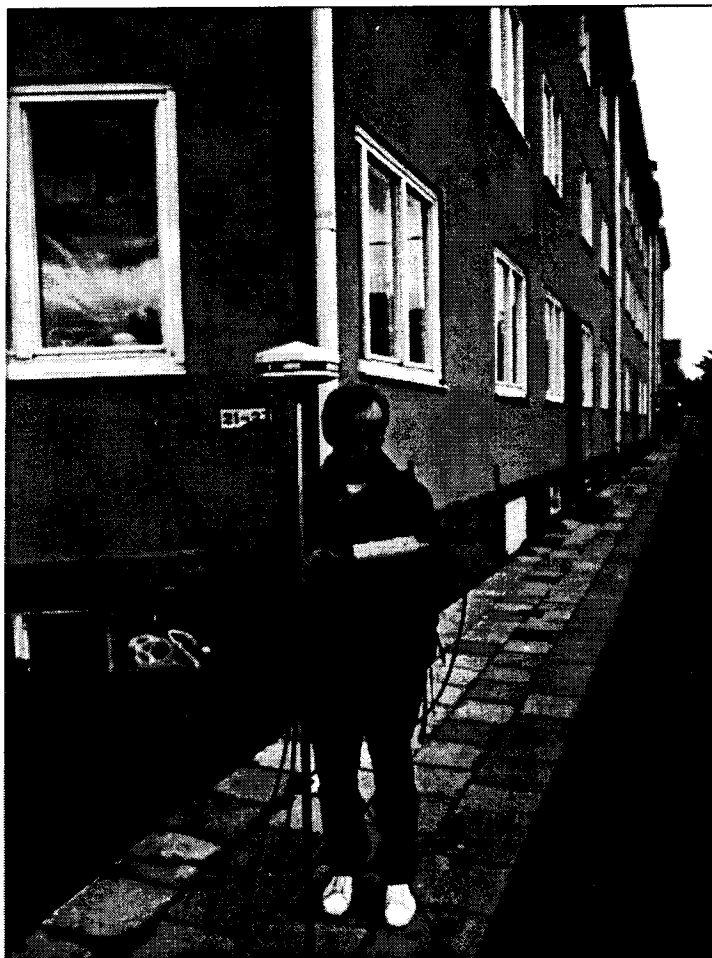
4.1 Anslutningsnätet som referensnät

Det ligger nära till hands att tänka på anslutningsnätet, med ett punktavstånd på ca. 1 - 5 km, som grund för detaljmätning med GPS-teknik. Anslutningsnät är dock i regel gjorda för terrester mätning. Det innebär att punkterna ofta ligger i större trafikleder och gator och ur den synvinkeln kan vara mindre lämpliga som referenspunkter. Det är inte säkert att den eller de punkter som ligger närmast detaljmätningområdet och ska utgöra referens, har tillräckligt fri sikt uppåt till satelliterna. Punkterna är ju inte i första hand anlagda för att ha fri uppåtsikt, utan i stället sikt till omgivande punkter. De närmast belägna punkterna är kanske inte heller så stabila som vore önskvärt. Punktlägena i trafikleder och gator gör att marksättning och gatuarbeten kan ha försämrat punkternas kvalitet. Spänningar i nätet kan också göra att en enstaka punkt inte är representativ för det område där detaljmätningen ska utföras.

4.1.1 Inventering av punkter i anslutningsnätet

För att se om antagandena ovan är riktiga gjordes en grundlig inventering av punkter i de östra stadsdelarna av Västerås stads anslutningsnät, en bit utanför själva citykärnan. 156 punkter besöktes för att kontrollera satellittillgängligheten. Till en början gjordes enbart okulär besiktning av personal med en GPS-vana som kan anses vara "liten till normal". Bedömningen blev att ca. hälften av punkterna borde gå att använda för GPS-mätning. Därefter fortsatte inventeringen för att med hjälp av GPS-mottagare se hur många av de tillgängliga satelliterna som det gick att ta emot signaler från, se figur 2. Då visade det sig

att alla punkter som besöktes skulle gå att GPS-mäta på. Avslutningsvis användes GPS-mottagare endast i tveksamma fall. Slutresultatet blev att knappt 10 procent av punkterna i anslutningsnätet inte var lämpliga att använda. Om fler satelliter varit tillgängliga vid inventeringstillfället hade eventuellt fler punkter kunnat klassas som användbara.



Figur 2.

Inventering av punkt i anslutningsnätet med hjälp av GPS-mottagare.

Vid inventeringen noterades också tämligen omgående att skyltning och avstängning måste göras i många fall, då punkterna ofta är belägna i eller intill gator, trafikleder och cykelbanor. Det innebär att mätpersonalen tvingas att vara strax intill eller mitt ute i trafiken samt korsa gator och trafikleder vid upp- och nedmontering av utrustningarna och därmed utsätta sig för livsfara. Regelmässiga avspärningar och skyltningar kan vara tidsödande, men är ett måste i sådana fall. Det är också lätt att tänka sig att en del punkter inte alltid är åtkomliga eller lämpliga att vistas vid vare sig för personal eller mätutrustning, när punkten behöver användas, se figur 3.



Figur 3.

Punkter i anslutningsnätet ligger ofta i gator och trafikleder, vilket försvårar användbarheten.

4.1.2 Resultat och erfarenheter

Resultatet av denna inventering av punkter i anslutningsnätet blev att det ur satellittillgänglighetssynpunkt borde gå att använda ca. 90 procent av punkterna större delen av dygnet. Detta är kanske något överraskande med tanke på att punkterna är belägna i tätbebyggda områden. För att inte bli alltför optimistisk i bedömningarna av punkternas användbarhet, förtjänar det att påpekas att satellittillgängligheten kan variera kraftigt under loppet av en arbetsdag, särskilt när det är trångt uppåt. Sikthinder uppåt i alla riktningar är svårt att undvika.

Observera också att inventeringen inte innefattade någon egentlig GPS-mätning och beräkning. Det är ju först efter baslinjeberäkningen som man vet om den valda punkten verkligen är användbar.

Om man bortser från satellittillgängligheten vid dessa punkter inser man rätt snart att användning av punkter i anslutningsnätet inte är någon bra lösning. Referenspunkterna måste vara mer lättgängliga, i princip vilken tid på dygnet som helst, väl skyddade och varaktigt markerade. Det är också helt nödvändigt att mätlaget vet vilken som är områdets referenspunkt innan de beger sig ut i fält för att göra detaljmätning med GPS. I annat fall finns risk för att dyrbar fältarbetstid går åt till att leta efter en lämplig och representativ referenspunkt, som inte är rubbad eller blockerad av t.ex. en bil eller container.

Av bl.a. dessa skäl anser vi att ett vanligt anslutningsnät inte duger som referensnät för GPS-mätning. I stället bör ett särskilt referensnät, som är anpassat även för GPS-mätning, etableras.

Anslutningsnätet har i stället andra viktiga uppgifter, kanske främst att ligga till grund för ett särskilt nät av referenspunkter för GPS-mätning och därmed även fortsättningsvis vara identifierare av stomnäten.

4.2 Särskilt nät av referenspunkter för GPS-mätning

När nu erfarenheterna från försöken visar att anslutningspunkterna inte duger som referenspunkter, åtminstone inte i de undersökta områdena, behöver särskilda referenspunkter för GPS-mätning etableras. Kriteriet vid etablering av ett sådant referensnät måste vara att resultaten vid detaljmätningen relativt det nya nätet ska vara de samma som resultaten vid detaljmätning mot bruksnätet. En ny referenspunkt för GPS-detalmätning ska ha en närnoggrannhet som är representativ för deformationerna i bruksnätet i samma område (Virking, 1995b). Bruksnätet i området är bestämt från omkringliggande anslutningspunkter. De nya referenspunkterna bestäms alltså även de från omkringliggande punkter i anslutningsnätet.

Det nya nätet av referenspunkter kan vara glesare än dagens bruksnät. En punkt i det nya nätet bör kunna ersätta tiotals, kanske hundratals, punkter i bruksnätet. Punkttätheten beror till stor del på kvaliteten i det nät som definierat de nya referenspunkterna.

Detaljmätning med GPS-teknik är inte möjlig och kanske inte heller lämplig att utföra överallt, särskilt inte i områden med sikthinder uppåt. Behovet av bruksnät kan kanske ändå reduceras genom att vid behov förtäta det nya referensnätet med tillfälliga mätpunkter, som bestäms relativt närbelägna punkter i det omgivande referensnätet. De tillfälliga mätpunkterna placeras i grupper om tre eller fler, eller som parpunkter med sikt emellan. På så sätt kan fri eller känd stationsetablering liksom den fortsatta detaljmätningen göras med terrestra metoder. En möjlighet kan också vara att en intressent tillfälligt förtätar referensnätet genom att lägga ut ett polygontåg mellan några punkter i nätet. (Ejhed & Norlin, 1995) konstaterar i sin sammanfattning att GPS-tekniken i stadsmiljö främst kommer till sin rätt i kombination med traditionella mätmetoder.

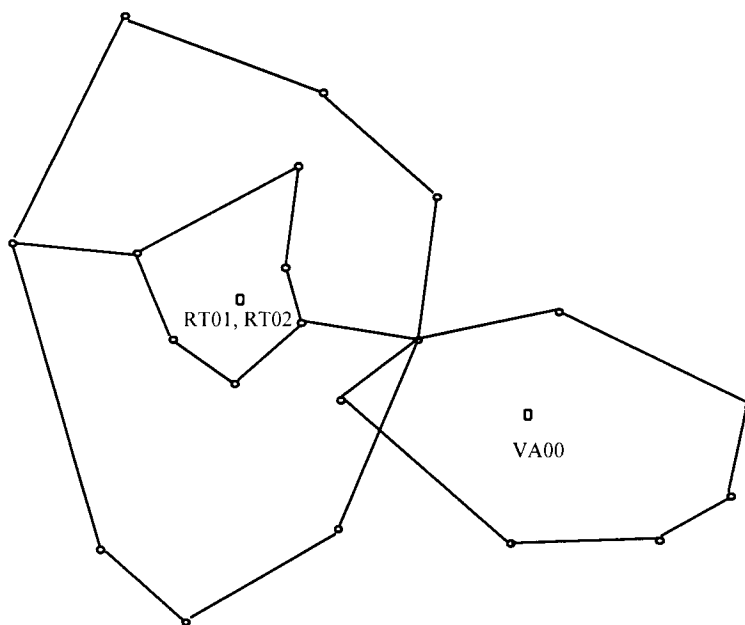
Genom möjligheterna att etablera tillfälliga mätpunkter bestämda mot punkter i det nya referensnätet kommer dagens detaljpunkter, pikéer och brukspunkter inte att behövas i samma utsträckning som tidigare. Underhållet av bruksnätet kan reduceras eller upphöra. Detta kommer att ge stora besparingar, liksom när mätlagen snabbt kan etablera sådana punkter och därmed slippa tidsödande uppsökningar av gamla punkter.

4.2.1 Hur undersöker man kvaliteten på sitt stomnät?

Punkterna i ett nytt referensnät blir alltså relativt få, men mycket viktiga. Det är därför än viktigare att grunden för det nya nätet, dvs. anslutningsnätet är homogent och har en känd och bra kvalitet. Anslutningsnätet måste kanske förtätas eller i vissa delar renoveras för att motsvara dessa krav. I bl.a. (HMK-Ge:S, 1993) ges råd och riktlinjer för sådana arbeten. Ett nät med känd kvalitet bör kunna underlätta frågan om punkttäthet vid etableringen av nya referenspunkter.

En väsentlig del i arbetet med ett nytt nät av referenspunkter är alltså att undersöka det aktuella stomnätets kvalitet. Utvärderingen kan göras på olika sätt. Ett vanligt sätt är att gå igenom utjämningsberäkningen av mätningarna i nätet. Ett annat sätt är att göra en koordinattransformation med gemensamma punkter mellan det koordinatsystem som ska undersökas och ett annat koordinatsystem med högre kvalitet. Ett tredje sätt är att med GPS-teknik mäta om hela eller delar av det nät som ska undersökas och på så sätt erhålla ett "facit", som nätet kan jämföras mot. I (Engberg, 1995) ges detaljerade och beprövade råd till ett sådant genomförande.

Inom ramen för detta försöksprojekt fanns inga möjligheter att mäta ett nytt yttäckande nät att kontrollera anslutningsnätet mot. I stället valdes olika områden ut där anslutnings- och bruksnäten är av bra kvalitet. På två ställen bestämdes tre stycken nya referenspunkter på noggrant utvalda platser mot omkringliggande punkter i anslutningsnätet.



Figur 4

Skiss som visar tre yttäckande nät för bestämning av de nya referenspunkterna RT01, VA00 och RT02, som bestämdes mot omgivande anslutningspunkter på olika långa avstånd från de nya referenspunkterna. (RT01 bestämdes mot den "inre ringen", RT02 mot den yttre.)

Punktbestämningen gjordes med stommätning enligt (HMK-Ge:GPS, 1993) så att tre stycken yttäckande nät erhöles, se figur 4. Kvaliteten på de punkter i anslutningsnätet som bestämt de nya referenspunkterna kan studeras på olika sätt. Ett sätt är att utföra detaljmätning med GPS-teknik på kända punkter i anslutnings- och bruksnäten relativt de nya referenspunkterna och jämföra de mätta punkternas koordinater med samma punkters kända koordinater. På så sätt kan man se inom hur stort område som den nya referenspunkten är representativ för deformationerna i stomnätet, under förutsättning att GPS-mätningarna inte är avståndsberoende. Ett annat sätt är att passa in det yttäckande GPS-nätet på punkterna i anslutningsnätet och studera inpassningsresultaten.

I följande avsnitt redogörs för bestämningen av nya referenspunkter och studier av kvaliteten på delar av anslutningsnätet.

5. ETABLERING AV NYA REFERENSPUNKTER

Vid försöken bestämdes nya referenspunkter relativt omkringliggande punkter i anslutningsnätet. Principen kan, förutom i figur 4 i avsnitt 4, liknas vid komplettering av befintligt stornät med fri station enligt (HMK-Ge:S, 1993). Vid GPS-mätningen bestämdes de nya punkterna med stommätningssmetoder och passades in på omgivande anslutningspunkter. Resultatet liknar nät av berlinertyp.

Dessutom bestämdes tre stycken tillfälliga mätpunkter mot de nyetablerade referenspunkterna. Fri stationsetablering gjordes mot dessa punkter och mot punkter i det omgivande bruksnätet.

En kort sammanfattning av kapitlet visar att det går att hitta platser som kan användas för nya referenspunkter. Den vanligaste markeringstypen blir rör i mark med däcksel. Vid mätplaneringen har man stor hjälp av en grundlig rekognosering och upprättande av sikt-hinderprotokoll med hjälp av satellitalmanackor, för att undvika mätavbrott på grund av för få satellitsignaler. De nya punkterna bestämdes med GPS i plan och höjd med sedvanlig stommätningssmetodik och inpassning på omgivande kända punkter.

Undersökning av det befintliga stornätets kvalitet gjordes på två sätt. Det första sättet var inpassning av "berlinernätet" på punkter i anslutningsnätet. Det andra sättet var att GPS-detaljmäta på kända brukspunkter mot de nya referenspunkterna. Stommätningen har en högre noggrannhetsnivå än detaljmätningen och kan därmed upptäcka mindre deformationer i det befintliga stornätet. Det lokala stornätet i försöksområdet har en mycket hög kvalitet. Båda metoderna kan dock upptäcka små deformationer, men endast inpassning av ett yttäckande nät kan ge underlag för en korrektionsmodell, t.ex. Helmertinpassningens samband.

Tillfälliga mätpunkter bestäms antingen i nätform eller med GPS-detaljmätning i form av dubbelmätning mot de nya referenspunkterna och tvångscentrering. Punkterna ska helst vara fler än tre stycken för att få en bra fri stationsetablering.

5.1 Rekognosering och markering

Arbetet började med att leta lämpliga platser för de nya referenspunkterna. Förutom att punkterna ska bli välbestämda, är det också viktigt att de har fri sikt till tillräckligt antal satelliter i princip dygnet runt, kan markeras varaktigt, har skyddade lägen så att utrustningen kan lämnas under längre tider samt att de alltid är åtkomliga.

Eftersom nätet av nya referenspunkter kommer att vara mycket glesare än dagens bruksnät bör man ha tid och råd med stabila markeringar. Markeringar i gatumark bör undvikas, eftersom det inte är krav på sikt mellan punkterna. Det ideala vore berghällar i öppen avspärrad parkmark, vilket kan vara svårt att hitta. Andra lämpliga platser kan vara taken på höga byggnader.

Vid rekognoseringen har inte målsättningen varit att komma så långt in i city som möjligt. Där har snarare bedömningen gjorts att GPS-mätning i de flesta fall inte är realistisk, åtminstone inte i Västerås. Förhållandena kan givetvis variera mellan olika städer. Eftersom en förutsättning i försöken varit att GPS-mäta på kända punkter i bruks- och anslutningsnäten relativt de nya referenspunkterna, hade det inte heller varit möjligt i cityområdet, där bruksnätet består av väggmarkerade punkter.

Det gamla goda rådet att väggpunktsnät i citykärnan och terrester mätning med fri station är ett utmärkt komplement till GPS-användning, har inte blivit sämre genom åren.

5.1.1 Resultat och erfarenheter

Målet har varit att finna plats för en referenspunkt centralt placerad i varje stadsdel. Plats för referenspunkter har hittats i alla områden, inte alltid centralt i varje stadsdel, men bra platser med uppåtsikt. Bästa och vanligaste platserna är öppen parkmark. Skolgårdar är oftast öppna och centralt belägna, men där kan det vara olämpligt att lämna GPS- eller andra mätutrustningar. Trafikrondeller och trafikplatser är bra platser med öppna ytor och skyddade av trafiken, men de ligger ofta i utkanten av stadsdelarna.

På varje plats har kontroll gjorts med GPS-mottagare och signaler har alltid mottagits från det antal satelliter som funnits tillgängliga. Det finns ingen garanti att det vid varje tillfälle är så, eftersom satellittillgängligheten varierar över dygnet och mellan dygnet.

Inventeringen visade att markeringar med rör och däcksel kommer att bli vanligast, även om det går att hitta platser med berg i dagen där dubb kan användas. De utvalda platserna är belägna där det är minimala störningar och liten risk för att punkterna ska rubbas.

Två av de utsedda platserna valdes för etablering av referenspunkter. Det ena stället ligger på en liten gräsmatta med fri sikt uppåt, intill och skyddat av ett järnvägs- och industriområde på den ena sidan och av en bilserviceanläggning på den andra sidan. Ingen trafik av någon större omfattning förekommer, stora fria ytor finns för parkering av mätbuss e.dyl. och personalen på serviceanläggningen har uppsikt över området. För försöksändamålen markerades punkten med enbart rör i mark. (När punkten permanentas bör markeringen kompletteras med däcksel.) Den punkten omges av många små stadsdelar med varierande bebyggelse; industriområden, stora trafikleder, hamnområde och hyreshus.

Den andra platsen ligger på en berghäll med fri sikt uppåt, mellan en parkeringsplats och en gata vid ett köpcentrum. Punkten markerades med dubb. Här finns det alltid folk kring punkten och vid mätningarna spärrades området närmast punkten av, se figur 5. Punkten ligger mitt i en stadsdel som nästan uteslutande består av flervånings hyreshus och affärer.



Figur 5.

Ny referenspunkt vid ett köpcentrum. Punkten spärras av vid mätning.

På den första platsen bestämdes referenspunkten på två olika sätt. Sammanlagt bestämdes alltså tre stycken nya referenspunkter.

Det går att hitta bra platser, relativt väl skyddade och åtkomliga, i stadsmiljö. Även om försöken har gjorts utanför själva citykärnan hittades plats för en referenspunkt även inne i city.

5.2 Planering, mätning och beräkning

Efter rekognosering och bestämning av lämpliga platser att ha punkterna på, görs sedvanlig nät- och mätplanering för att med stommätning bestämma punkterna. Då GPS-mätningarna ska genomföras i tät bebyggelse/stadsmiljö, där sikthinder uppåt är mycket vanligt, är rekognosering och inventering av de kända punkterna som ska bestämma nypunkterna särskilt viktig. I detta fall användes punkter i anslutningsnätet för bestämning av de nya punkterna.

I avsnitt 4.1.1 beskrivs inventeringen av anslutningspunkterna. Där sägs bl.a. att man först efter baslinjeberäkningen verkligen vet om den utvalda punkten är användbar och att satellittillgängligheten kan variera ganska mycket under en dag. Med vetskap om detta bör man i en lyckad planering kunna få med strategiskt viktiga punkter, trots att dessa kan ta emot signaler från tillräckligt antal satelliter endast en kortare del av den sammanlagda mättiden, på grund av träd, byggnader o.dyl.

Beräkningsstegen följer rekommendationerna i (HMK-Ge:GPS, 1993). Dessa är kortfattat beräkning av initialkoordinater i SWEREF 93 för en punkt i nätet, utjämning av GPS-observationer baslinjevis, kontroller inom och mellan sessioner genom jämförelser av dubbelmätta baslinjer och sessionsvisa nätutjämnings, fri utjämning av hela nätet samt inpassning på punkter i anslutningsnätet.

Vid mätningarna användes Ashtech Z12 tvåfrekvens geodetiska GPS-mottagare med hel våglängd på L2-frekvensen och tre Mbyte minnesutrymme. Beräkningarna utfördes i Ashtechs programsystem PRISM, med programdelarna PNAV för baslinjeberäkningen och FILLNET för nätutjämnings. För koordinattransformationer, inpassningar och geoidhöjdsberäkningar användes Lantmäteriverkets egna programsystem.

5.2.1 Resultat och erfarenheter

Utgångspunkten vid nätplaneringen var att bestämma de nya referenspunkterna relativt omgivande punkter i anslutningsnätet och se inom hur stora ytor den nya punkten är representativ för stomnätets deformationer i området. Före nätutformning och mätplanering hade besök gjorts på alla för mätningarna aktuella punkter och platser.

Som hjälp vid planeringen användes satellitalmanackor samt planeringsprogram på PC. Vid rekognoseringen upprättades polärdiagram, både för de nya referenspunkterna och punkterna i anslutningsnätet. Jämför även (Ejhed & Norlin, 1995).

En av de två punkterna bestämdes på två olika sätt, dels mot de närmast belägna anslutningspunkterna och dels mot anslutningspunkter "ett steg längre bort" från den nya punkten, se figur 4 i avsnitt 4. På det sättet kan man bl.a. ur inpassningsresultaten och GPS-detaljmätnings relativt dessa punkter få vägledning om nätkvaliteten.

Med fyra GPS-mottagare och som mest elva punkter att mäta på var inte mätplanering och nätutformningarna särskilt komplicerade att utföra. Beräknad tid för mätning av de nya referenspunkterna var två dagar plus en dag i reserv.

En av GPS-mottagarna var hela tiden placerad på den nya referenspunkten, de övriga tre flyttades runt på anslutningspunkterna enligt mätschemat. Snabb statisk mätning användes, mätdata lagrades var femte sekund med elevationsgräns 13° och mätsessionens längd sattes till 10 minuter. Mätgenomförandet underlättades betydligt av mätpersonalens goda lokalkännedom.

De nya referenspunkternas (RT01, VA00 och RT02) och de använda anslutningspunkternas lägen framgår av figur 4 i avsnitt 4. Mätningarna genomfördes under två arbetsdagar, som också inkluderade ommätning av två baslinjer, som inte gick att lösa, för punkt VA00.

Mätningarna och beräkningarna av den första punkten RT01 genomfördes i stort sett problemfritt. Mättiden var drygt två timmar i tre sessioner. Alla baslinjer användes och den fria nätutjämnings gav grundmedelfelet 0,645 med viktsättning enligt (HMK-Ge:GPS, 1993). De standardiserade förbättringarna låg väl under varningsgränsen 2 sigma.

Vid mätning av punkten VA00 den första dagens eftermiddag hade satellittillgängligheten försämrats från förmiddagen och mätsessionerna förlängdes för den tredje sessionen från 10 till 20 minuter. Mättiden var ca. två timmar i fyra sessioner. Under den efterföljande

kvällens kontroll av baslinjerna visade det sig (som väntat) att två baslinjer måste mätas om. Förlängningen av mättiden räckte alltså inte till för att "kompensera" för den försämrade satellittillgången. Ommätning var i princip enda alternativet. Efter eliminering av tre baslinjer utjämnades nätet fritt med grundmedelfelet 1,153. De standardiserade förbättringarna låg under varningsgränsen 2 sigma, utom för höjdkomponenten för tre av baslinjerna, som låg strax över denna gräns. Efter kontroller behölls dessa baslinjer.

På samma markering som referenspunkt RT01 bestämdes punkt RT02, men mot andra punkter i anslutningsnätet. Mättiden var tre timmar i sex sessioner och med observations-tider varierande mellan 10 och 20 minuter. Efter att ha kasserat tre baslinjer gjordes fri nätutjämnning, som gav grundmedelfelet 0,796. De standardiserade förbättringarna låg väl under varningsgränsen 2 sigma, utom för två av baslinjerna. Efter kontroller behölls dessa baslinjer.

Vid plan Helmertinpassning av punkten RT01 på de omgivande sex punkterna var grundmedelfelet 4 mm, vridningen -0,95 mgon och skalan -4,1 ppm. Fem av de sex omgivande anslutningspunkterna är höjdbestämda och användes för höjdinpassningen. Den gjordes med anpassning av ett lutande plan, efter att först ha bestämt punktens höjd i RH 70 med hjälp av geoidmodellen RN 92. Grundmedelfelet i inpassningen blev 6 mm med största förbättring -8 mm.

Plan Helmertinpassning av punkten VA00 gjordes på sex punkter med grundmedelfelet 8 mm, vridningen -0,75 mgon och skalan -1 ppm. Höjdinpassningen gjordes på fem av de sju punkterna. Grundmedelfelet i inpassningen blev 2 mm med största förbättring -2 mm.

Punkten RT02:s plana Helmertinpassning gjordes på nio punkter med grundmedelfelet 6 mm, vridningen -0,51 mgon och skalan -8,9 ppm. Åtta av de tio punkterna är höjdbestämda, sju stycken användes för höjdinpassningen. Grundmedelfelet blev här 5 mm med största förbättring 6 mm.

Eftersom det är svårt att undvika sikthinder i alla riktningar blir en förändring av satellittillgängligheten mycket märkbar. Man bör i planeringen givetvis avsätta tid för eventuella ommätningar. Mätsession var från början satta till 10 minuter. I sessioner med relativt liten tillgång på satellitsignaler var 10 minuter för knapp tid. I sådana här områden blir alternativen antingen längre observationstid och/eller inväntande av tidpunkter med fler satellitsignaler eller ommätningar vid ett annat tillfälle.

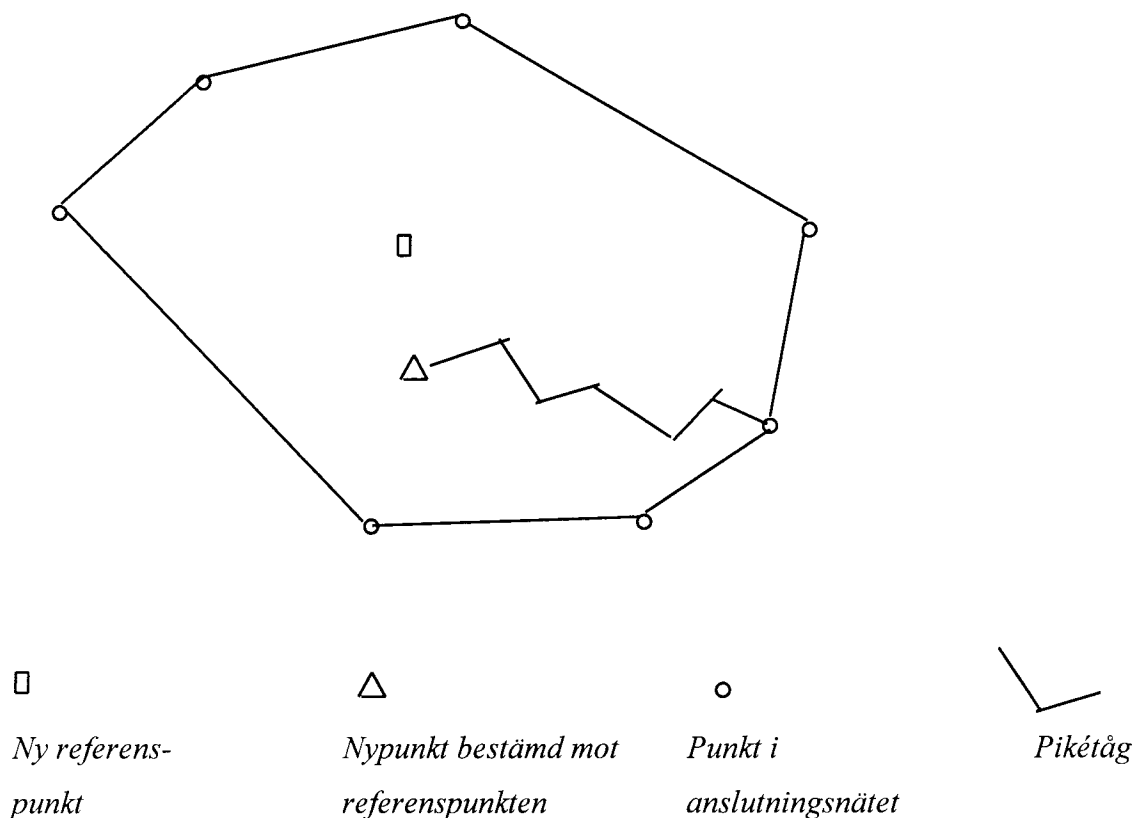
Master kan också användas för att hissa upp GPS-antennen ovanför sikthinder. Detta kan dock vara besvärligt när punkterna ligger på cykelbanor, i gator och vid trafikleder. Ett alternativ här är s.k. bushstativ, som också användes på en av punkterna.

Vid planeringen av uppskattades mättiden till två arbetsdagar plus en arbetsdag i reserv. Mätningarna genomfördes på två arbetsdagar inklusive ommätning av två baslinjer, den "effektiva mättiden" var knappt åtta timmar. Med drivna GPS-användare i produktionsmätning hade sannolikt dessa mätningar kunnat genomföras på en till en och en halv arbetsdag på två till tre personer. Detta under förutsättning att det inte är alltför många tidpunkter med få satellitsignaler och att matrast o.dyl. anpassas till signalförhållandena.

Beräkningsresultaten visar att anslutningsnätet i Västerås är av mycket hög kvalitet med små deformationer. I vilken utsträckning nätets kvalitet kan betraktas som representativt för kommunala nät i allmänhet kan diskuteras.

De nya referenspunkterna bestämdes mot relativt många omgivande punkter. En fördel med detta är att få tillförlitlighet i resultaten. En annan fördel är att kunna ansluta och

kontrollera t.ex. ett pikétåg som går mellan en punkt bestämd relativt den nya referenspunkten och anslutningspunkten, som varit med om att bestämma den nya referenspunkten, se figur 6 nedan.



Figur 6

Skiss som illustrerar nypunkt bestämd mot referenspunkten. Pikétåg från nypunkten ansluts och kontrolleras mot punkt i anslutningsnätet, som varit med om att bestämma den nya referenspunkten.

De efterföljande detaljmätningarna gjordes på olika avstånd mot de nya referenspunkterna RT01, VA00 och RT02 på höjd- och plankända punkter i bruks- och anslutningsnäten. Avstånden till referenspunkterna varierade mellan ca. 0,5 och 4,2 km. Därmed kunde de nya referenspunkterna kontrolleras, eventuella avståndsberoenden studeras och man kunde se inom hur stort område som den nya referenspunkten är representativ för deformationerna i stomnätet, jämför avsnitt 4.2.1.

Vid detaljmätningarna användes GPS-mottagare Ashtech Z12 tvåfrekvens geodetiska GPS-mottagare med hel våglängd på L2-frekvensen och tre Mbyte minne att lagra data på. Den rörliga mottagaren var utrustad med programvara för realtids bärvägsmätning med flygande bestämning av periodobekanta. Till denna GPS-mottagare var en fältdator kopplad för beräkning och registrering av positionens medelvärde. För efterbearbetningen användes Ashtechs programsystem PRISM, med programmet PNAV.

Nedan redovisas en mer utförlig analys av dessa mätningar.

5.3 Analys av testmätningar och resultat

Analysen av mätningarna och resultaten är uppdelad i tre delar och innefattar nätets kvalitet, höjdbestämningen, GPS-mätningarnas kvalitet med eventuella avståndsberoenden och jämförelser med toleranskraven i (HMK-Ge:D, 1993). Den fullständiga analysen finns i bilaga A.

5.3.1 Plant yttäckande nät

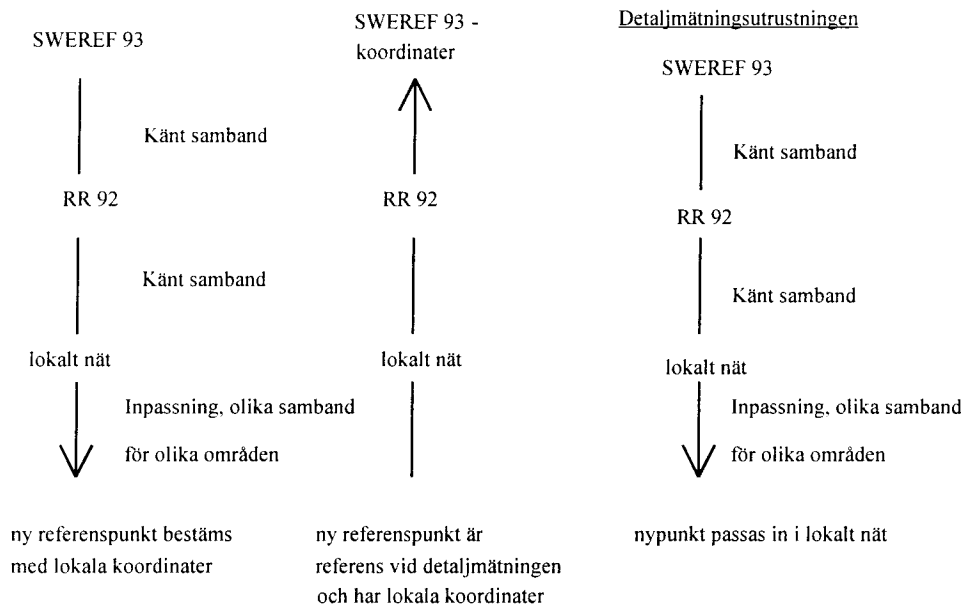
Med hjälp av inpassning av ett yttäckande stornät kan man upptäcka mindre deformationer än med GPS-detaljmätning, eftersom stommätningen har högre noggrannhet, i form av lägre medelfel vid punktbestämningen. Däremot krävs betydligt större mätinsats vid stommätning än vid GPS-detaljmätning för att täcka lika många punkter.

I försöksområdet håller det lokala stornätet en mycket hög kvalitet. Det finns dock små deformationer, som kan upptäckas med båda metoderna, men endast metoden med inpassning av ett yttäckande nät kan ge underlag för en korrektionmodell, t.ex. sambandet från Helmertinpassningen. En enklare form är att "kalibrera" skala och vridning genom att skapa en transformationsformel efter mätning på minst tre kända punkter i området.

I detta fall gav korrigering av detaljmätningarna med en Helmertinpassning ingen förbättring. Anledningen är att effekten av skala och vridning på de här korta avstånden (i snitt 500 m) är så små i jämförelse med precisionen i detaljmätningarna.

I ett nät med större deformationer, längre avstånd från referensstationen eller eventuellt bättre detaljmätningar skulle modellen med en Helmertinpassning kunna vara användbar. Modellen har dock nackdelar då den endast gäller för ett visst område. Problem uppstår i randen mellan olika områden och extrapolation kan ge stora fel. Någon form av hel-täckande deformationsmodell är att föredra, men innebär naturligtvis en hel del arbete innan man kan komma igång. I ett uppstartningsskede när GPS-detaljmätning endast används i enstaka områden kan Helmertinpassningen vara en lämplig metod att korrigera för deformationer (om det behövs).

Ett exempel på användning av sambandet från inpassningen vid GPS-detaljmätningen illustreras i figur 7 nedan. Mätutrustningen måste alltså kunna applicera sambandet på nypunkterna innan lagring.



Figur 7

Skiss över användning av inpassningssamband från bestämning av ny referenspunkt vid detaljmätningen mot den nya referenspunkten.

5.3.2 Höjdbestämning

Primärt levererar GPS-utrustningarna höjden över en referensellipsoid, medan det är höjden över havet (geoiden) som man oftast vill använda. För att få höjden över havet måste man alltså känna geoidhöjden i området. Jämförelser har gjorts mellan höjdbestämning med fyra olika modeller; geoidpolynom, geoidgrid, anpassning av ett lutande plan tillsammans med geoidgrid och enbart anpassning av ett lutande plan.

Som väntat ger geoidpolynomet betydligt sämre resultat på avstånd över 1-1,5 km från referenspunkten. De övriga tre modellerna kan betraktas som likvärdiga. På försöksrådets korta avstånd (0,5 - 4 km) ger anpassning av ett lutande plan tillsammans med geoidgrid inget extra, vilket stämmer väl överens med tidigare erfarenheter (Strandberg, 1995).

Då återstår två modeller, geoidgrid och anpassning av ett lutande plan. Fördelen med en geoidmodell är att den fungerar även på längre avstånd. På avstånd över 10 km klarar inte ett lutande plan att modellera eventuella variationer i geoiden. En annan fördel jämfört med ett lutande plan är att man inte behöver mäta in ett antal tidigare höjdbestämda punkter och det föreligger ingen risk för extrapolation. Nackdelen är att det kan vara svårt att få plats med hela geoidgriden med interpolationsprogramvara i fältdatorn. Möjligheten att endast ta in en liten del av geoidgriden, t.ex. en kommun med omgivning, bör undersökas. (Strandberg, 1995) föreslår användandet av en digital terrängmodell för geoidmodellen.

5.3.3 GPS-detalmätning

Det går inte att konstatera något avståndsberoende i plan för GPS-mätningarna, där de längsta baslinjerna är drygt 4 km. Detta bekräftas också av resultat från (Bredin & Nilsson, 1995), med baslinjer upp till 2 km.

En jämförelse med toleranskraven i (HMK-Ge:D, 1993) på 2 sigma-nivån visar att precisionen i försökens detaljmätningar inte räcker för detaljmätning av objekt, som har de strängaste toleranskraven, 20 mm i plan och 5 mm i höjd (t.ex. byggnader och gränspunkter). Skattade punktstandardavvikelser (på 1 sigma-nivån) för realtidsmätningarna i höjd 9 mm och i plan 15 mm inklusive centreringsfel. Dessa kan enligt (Bredin & Nilsson, 1995) uppskattas till 5 - 7 mm. Precisionen i försökens GPS-mätningar stämmer ganska väl överens med resultat från bl.a. (Wylde & Featherstone, 1995).

5.4 Tillfälliga mätpunkter

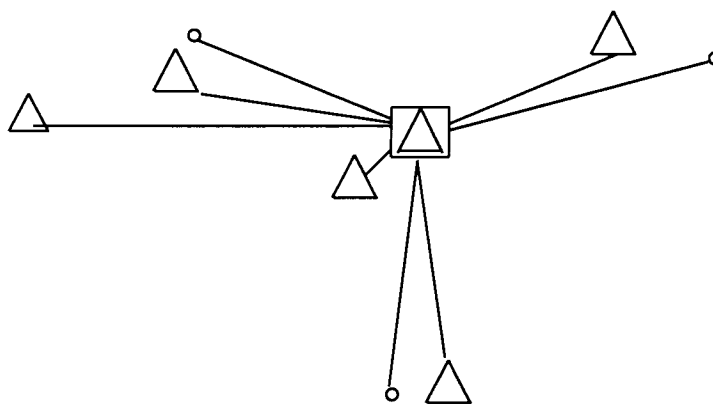
Behovet av utgångspunkter för terrester mätning kommer att finnas även när GPS är den dominerande mättekniken, kanske särskilt i stadsmiljö med dålig sikt uppåt. För dessa behov kan tillfälliga mätpunkter etableras med GPS-teknik relativt nätet av nya referenspunkter. Genom mer "behovsprövad" etablering av sådana punkter än hittills, kan underhållet av bruksnätet, detaljpunkter o.dyl. reduceras även om terrestra metoder används för detaljmätningen.

Vid etablering av de tillfälliga mätpunkterna är det lämpligt att placera dem så att fri stationsetablering kan göras vid den terrestra mätningen. Då behöver det inte vara sikt mellan punkterna och stationsetableringen kan anpassas till mätförhållandena på ett flexibelt sätt. För att få tillförlitliga och kontrollerbara resultat vid den terrestra mätningen bör punkterna vara minst tre stycken och anläggas så att de omger stationen för en bra mätkonfiguration. Dessutom ska givetvis stationen vara belägen så att man kan mäta så mycket som möjligt från den.

5.4.1 Resultat och erfarenheter

Hur ska då tillfälliga mätpunkter etableras? Det ska gå snabbt och lätt, och punkterna ska vara jämförbara med punkter i bruksnätet. Det senare talar för att man mäter punkterna i ett nät med någon statisk metod och stommätningsteknik, medan det förra talar för någon snabb mätmetod, t.ex. semikinematisk dubbelmätning av punkterna eller mätning mot två referenspunkter för kontroll.

GPS-bestämning av punkterna i nätform ger stora möjligheter till bra resultat, jämför avsnitt 5.2. För att se hur resultaten blir vid semikinematisk GPS-mätning, dubbelmättes tre stycken tillfälliga mätpunkter med sådana metoder relativt de nya referenspunkterna, se figur 8 nedan. Därefter kontrollerades punkterna genom att göra fri stationsetablering dels mot de tillfälliga mätpunkterna och dels mot fem stycken omgivande brukspunkter.



Punkt i bruksnätet



Tillfällig mätpunkt



Fri station

Figur 8

Skiss över fri stationsetablering mot tillfälliga mätpunkter och mot brukspunkter. De tillfälliga mätpunkterna är bestämda mot ny referenspunkt.

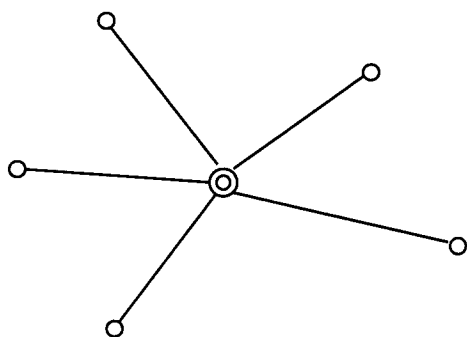
I detta fall blev resultaten av de fria stationsbestämningarna mot punkterna i bruksnätet bättre än mot de tillfälliga mätpunkterna. Jämförelserna visar, tillsammans med resultat från (Bredin & Nilsson, 1995), att om inte de tillfälliga mätpunkterna antingen kan bestämmas med stommätning eller med GPS-detaljmätning och användning av tvångscentrering. Vid användning av fältdatorprogram för fri stationsetablering med sträng utjämning enligt minsta kvadratmetoden, ges möjligheter till lokalisering och detektering av grova fel i mätningar och utgångspunkters koordinater. Mätningar och punkter kan vid beräkningen strykas och läggas till. För att kunna utnyttja sådana kraftfulla program, bör man bestämma fler än tre stycken tillfälliga mätpunkter att göra sin fria stationsetablering mot.

6. FÖRSÖK MED DETALJMÄTNING MED GPS

Detaljmätningen görs genom bestämning av en baslinje från referensstationen till nypunkten, alltså en polär bestämning av punkten. I början av mätningarna krävs signaler från minst fem stycken satelliter för att kunna fixera periodobekanta och få faslösning. Under mätningens gång krävs kontakt med minst fyra satelliter för att få en position, men då kan inte överbestämningar av avstånden till satelliterna göras. Signaler från fem satelliter ger en överbestämning, för att få fler överbestämningar och därmed en säkrare punktbestämning krävs signaler från minst sex satelliter, vilket inte alltid är så lätt i tätbebyggda områden. Kontrollmöjligheter måste därför finnas.

Den polära mätmetoden innebär att närsambandet mellan intilliggande punkter bestäms indirekt, se figur 9. Följden blir dålig kontrollerbarhet och sämre närsamband än om punkterna bestäms direkt i förhållanden till varandra. I (HMK-Ge:GPS, 1993) ges en utförlig redovisning av detta. Det är därför viktigt att även av denna anledning kunna kontrollera resultaten.

Mätningen görs som semikinematisk mätning med flygande bestämning av periodobekanta och där resultaten fås i realtid. Realtidsresultat är nödvändigt vid utsättning, men inte vid inmätning, även om det är en fördel. En stor fördel med flygande bestämning av periodobekanta är att man slipper börja om med denna bestämning på känd punkt eller baslinje när faslösningen till satelliterna förlorats.



Figur 9

Polär mätning, innebär bristande kontrollerbarhet och försämrade noggrannhet mellan intilliggande punkter, (HMK-Ge:GPS, 1993).

Försöken visar att vid detaljmätning mot de nya referenspunkterna kan stomnätets deformationer modelleras genom att använda det samband som fås vid inpassningen av referenspunkterna. Vid höjdbestämning vore det bäst om geoidmodellen kunde användas i detaljmätningstrustningen, även om anpassning av ett lutande plan är likvärdig på avstånd upp till 10 km. Inga avståndsberoenden kunde konstateras vid detaljmätningen med GPS relativt de nya referenspunkterna. Ur realtidsdubbelmätningar skattade punktstandardavvikelse (på 1 sigma-nivån) var i plan 15 mm inklusive centreringsfel och

i höjd 9 mm. Detaljmätningen i försöken klarar alltså inte de strängaste toleranskraven på 2 sigma-nivån i (HMK-Ge:D, 1993), 20 mm i plan och 5 mm i höjd.

6.1 Kontroller

Realtidsmätning ger stora möjligheter till och underlättar de nödvändiga kontrollerna under mätningens gång. Dessa kan göras på olika sätt, t.ex. genom dubbelmätning av punkterna, mätning på kända punkter i anslutnings- och bruksnät i området, börja och avsluta mätningen på en annan punkt i referensnätet, eller göra omlottmätning, dvs. mäta om ett antal av nypunkterna från en annan referenspunkt.

Försöksmätningarna gjordes hela tiden mot de nya referenspunkterna RT01, VA00 och RT02 och uteslutande på höjd- och plankända punkter i bruks- och anslutningsnäten, se avsnitt 5.2 och 5.3. Avstånden till referenspunkterna varierade mellan ca. 0,5 och 4,2 km.

Det går att mäta på många ställen men givetvis inte överallt, främst på grund av skymd sikt uppåt. I sådana områden bör en kombination av GPS-mätning och terrester mätning vara mycket användbar, bl.a. genom förfarandet med tillfälliga mätpunkter. Jämför avsnitten 4.2 och 5.4. I vissa områden kan mätning göras endast under en del av dagen. Vid försöksmätningarna var det bäst att mäta på eftermiddagarna och kvällarna. Att planera även detaljmätningarna t.ex. med hjälp av satellitalmanackor är ett sätt att undvika perioder med färre satelliter och dålig satellitgeometri.

6.2 Felkällor och problem

Några faktorer som kan försämra resultaten jämfört med terrestra mätningar från ett stomnät, är den indirekta bestämningen av närsambandet mellan punkterna, flervägsfel som innebär att punktbestämningen blir fel, bestämning av fel periodobekanta (som kan bero på flervägsfel), samt att man vid bestämning av två på varandra följande punkter sällan använder sig av samma uppsättning satelliter, vilket försämrar närsambandet. Vid bestämning av en punkt har man en viss satellituppsättning och vid bestämning av den intilliggande punkten har man en satellituppsättning som skiljer sig från den förra, på grund av att någon eller några satelliter i den förra uppsättningen är skymda och nya har kommit i stället.

En annan felkälla är centreringen av GPS-antennen över punkten. I många fall är man tvungen att hissa upp GPS-antennen över huvudhöjd för att kunna ta emot tillräckligt antal satellitsignaler. Därmed kan det bli svårt att hålla prismastång och antenn i lod. Därför rekommenderas någon form av stöd för antennstången vid mätningarna. När man blir tvungen att ändra antennhöjden under mätningens gång, finns också stor risk för att man glömmer ändra antennhöjden i mätutrustningen, vilket leder till fel höjd på punkten.

Förutom att försöka få tillgång till signaler från tillräckligt antal satelliter (i praktiken minst 6 - 7) måste även radiokommunikationen mellan referensstationsmottagaren och den rörliga GPS-utrustningen fungera. Radians räckvidd är starkt beroende av topografi, vegetation, byggnader o.dyl. Idag är radioutrustningar med 0,5 W effekt vanliga, och dessa brukar ha en räckvidd av ca. 2 km. Det finns även radioutrustningar med högre effekt, bl.a. 25 W, som har en räckvidd på ca. 10 km. I det fallet blir beräkningsalgoritmerna i GPS-mottagarna den begränsande faktorn.

Vid försöksmätningarna användes två olika radioutrustningar, den ena på 0,5 W effekt, den andra på 25 W effekt. Den sändande utrustningen var monterad i en 7 m hög mast, medan den mottagande delen var monterad på en teleskopstång som kunde hissas till ca. 4 m höjd.

Avstånden till referensstationen var med 0,5 W-utrustningen som längst ca. 1,5 km. Trots detta var det ibland problem att få radiokontakt, t.ex. vid mätning inne på ett industriområde. När 25 W-utrustningen användes varierade avstånden mellan 2 och drygt 4 km. Även här monterades sändaren på den 7 m höga masten. Trots den höga effekten var det ibland problem med radiokontakten, bl.a. "skymde" en betongviadukt och skogsområden.

Det gäller alltså att försöka montera åtminstone den sändande delen i radioutrustningen mycket högt, för att få en bra aktionsradie.

6.3 Kombination mellan GPS- och terrester mätning

En del detaljer kan inte mätas med GPS. Att kombinera terrester mätning och GPS-mätning är dock med dagens datorkraft i fält inga större problem. Det finns utrustningar som gör kombinationen möjlig. Olika sätt kan användas. Ett är att i en fältdator ha program som kan registrera mätdata och positioner från både totalstationer/enmansstationer och GPS-mottagare. GPS-utrustningen är monterad tillsammans med prisma på prismastången. Tillfälliga mätpunkter etableras med GPS-teknik och lagras i den tillkopplade fältdatorn. Strax därefter mäter den från prisma styrda och fritt uppställda totalstationen in punkten. Mätvärdena registreras i fältdatorn, som nu är kopplad till prismaenheten. När samtliga tillfälliga mätpunkters positioner och totalstationens mätdata mot dem är registrerade, beräknar fältdatorn den fria stationsetableringen. Därefter fortsätter detaljmätningen terrestert och/eller med GPS-teknik. När detaljmätningen görs med GPS-teknik, bör fältdatorprogrammet i realtid kunna använda sambandet från inpassningen för att på så sätt transformera in nypunkterna i det lokala nätet innan lagring.

Detaljmätningen kan också göras kombinerat med konventionell mätning relativt bruksnätet och med GPS-teknik relativt det nya nätet av referenspunkter. Fältdatorutrustningen är alltså densamma i båda fallen.

7. SLUTORD

När GPS-utrustningarna anpassas även för detaljmätning blir frågor om hur stomnäten ska utformas allt mer aktuella. GPS-mätning kräver, till skillnad mot terrester mätning, inte sikt mellan punkterna. Detaljmätning med GPS-teknik kan enligt fabrikanternas specifikationer göras med baslinjer på upp till ung. 10 km. Det bör innebära att stomnäten kan göras glesare än vad som idag rekommenderas. Om underhållet av t.ex. bruksnätet kan reduceras eller rent av upphöra kommer mycket pengar att kunna sparas.

Tre modeller kan användas för att beskriva möjligheterna att utnyttja GPS-tekniken för utformning och användning av stomnäten i framtiden.

Modell ett är den enklaste. Vid GPS-detaljmetning mäter på minst tre stycken kända brukspunkter, som omger mätområdet och skapar på så sätt ett transformationssamband. Det skalar och vrider in mätningarna i stomnätet och man får en bra kontroll av resultaten och kan komma igång relativt snabbt med den nya tekniken. Nackdelarna är att det inte ger någon förändring beträffande stomnätet, t.ex. i form av glesare nät och färre punkter att underhålla. Därmed får man också ett merarbete jämfört med terrester detaljmätning.

Den andra modellen innebär etablering av särskilda välbestämda, välmarkerade och lätt-tillgängliga referenspunkter. Nätet av sådana punkter blir glesare än dagens bruksnät och bestäms mot punkter i anslutningsnätet. Punktbestämningen avslutas med en inpassning på omgivande anslutningspunkter, så att närsambanden bibehålls och hänsyn tas till eventuella deformationer i omgivande stomnät. GPS-detaljmetning görs relativt de nya referenspunkterna och inkluderar en inpassning av de mätta nypunkterna med ett för området gällande samband. Där GPS-mätning inte kan användas, görs terrester detaljmätningen mot tillfälliga mätpunkter, som är bestäms med GPS relativt de särskilda referenspunkterna.

Den tredje modellen innebär utnyttjande av fasta referensstationer med punktavstånd på 10 - 20 km. Referensstationsnätet kan "förtätas" enligt principen med särskilda referenspunkter eller genom att passa in referenspunkterna på anslutningsnätet. Varje referenspunkt är representativ för ett visst område. Inpassningssambandet för respektive område eller en korrektionsmodell används vid GPS-detaljmetning mot de fasta referensstationerna.

Modell två beskrivs i denna rapport, som grundar sig på försök genomförda i stadsmiljö i Västerås stads lokala stomnät. Slutsatserna är att modellen går att genomföra i befintligt stomnät. Den kan vara ett bra sätt att komma igång med de nya möjligheterna.

Andra slutsatser är att fler praktiska försök måste göras med GPS-detaljmetning och korrektionsmodeller för sådan mätning, för att se i vilken utsträckning man kan erhålla högre noggrannhet än de som uppnåddes i försöken. Vidare är det nödvändigt att göra fler tester av kombinationen nya referenspunkter och tillfälliga mätpunkter, samt försök med mätutrustningar för både GPS- och terrester mätning.

Möjligheterna med modell tre är mycket intressant och bör testas med praktiska försök.

REFERENSER

Bredin Jenny & Nilsson Maria, 1995: Delresultat från examensarbetet "Stommätning och detaljmätning med GPS i järnvägsmiljö", som ingår i Banverkets projekt "Jämförande tester av GPS stop & go och realtidsmätning av detaljer".

Ejhed Anna & Norlin Stefan, 1995: Undersökning av GPS-teknikens användbarhet i stadsmiljö. KTH, TRITA-GEOD Report 3045.

Engberg Lars E, 1995: Om utvärdering och anpassning av kommunala stornät med anledning av GPS-teknikens införande. Stockholms stad, Stadsbyggnadskontoret, Stads-
mätningen.

HMK-Ge:GPS, 1993: Handbok till mätning skungörelsen - Geodesi, GPS. Lantmäteriverket.

HMK-Ge:S, 1993: Handbok till mätning skungörelsen - Geodesi, Stommätning. Lantmäteriverket.

HMK-Ge:D, 1993: Handbok till mätning skungörelsen - Geodesi, Detaljmätning. Lantmäteriverket.

Kvarnström Lars, 1995: GPS-anslutning av kommunalt stornät. Lantmäteritidskriften 4/95.

LMV, 1994: RIX 95. En utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stornät. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1994:24.

LMV, 1995: Diskussioner av frågeställningar relaterade till GPS-detalj mätning. Lantmäteriverket KG, diskussionsunderlag.

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

Strandberg Hans, 1995: Höjdbestämning med GPS bärvågsmätning i realtid. KTH, TRITA-GEOD Report 3046.

Virking Jan, 1995a: Uppgifter om stornätssituationen i Västerås.

Virking Jan, 1995b: Hur ska kommunala stornät se ut och mätas i en GPS-värld. Sinus nr 3 1995.

Wylde Glenn P & Featherstone Will E, 1995: An evaluation of some stop-and-go kinematic GPS survey options. The AUSTRALIAN Surveyor, september 1995.

Lantmäteriverket
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Lotti Jivall

A. Analys av mätningarna i SMED-projektet

Analysen är uppdelad i tre delar. Först behandlas GPS-mätningarnas kvalitet. När denna är känd kan nätets kvalitet undersökas med hjälp av GPS-mätningarna. Höjdbestämningen studeras separat i den tredje delen.

A.1 GPS-mätningarnas kvalitet

Noggrannheten kan inte studeras, eftersom vi inte har tillgång till något riktigt facit. Precisionen kan däremot undersökas genom att jämföra dubbelmätningar. Resultaten speglar den sammanvägda precisionen av GPS-mätningarna och centreringsavvikelsen av antenn-stången.

A.1.1 Realtid och efterbearbetning

I plan finns 27 dubbelmätta punkter som fått fixlösningar både vid realtidsmätningen och efterbearbetningen (41 vid realtidsmätning och 30 vid efterbearbetning).

Metod	RMS ΔX	RMS ΔY	RMS radiellt
Realtid	16 mm	15 mm	22 mm
Efterbearbetning	14 mm	12 mm	18 mm

RMS (Root Mean Square) av differenser mellan dubbelmätningar.

Punktstandardavvikelser skattas ur RMS för dubbelmätningarna.

$$S_p = S_{\text{dubbel}} / \sqrt{2}$$

Realtid, S_{pr}	= 15 mm
Efterbearbetning, S_{pe}	= 13 mm

S_p = punktstandardavvikelse

S_{dubbel} = standardavvikelse (RMS) för dubbelmätning

S_{pr} = punktstandardavvikelse vid realtid

S_{pe} = punktstandardavvikelse vid efterbearbetning

Lantmäteriverket
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Lotti Jivall

Finns det någon signifikant skillnad mellan realtidsmätningar och efterbearbetning?

$$S_{pr}^2 / S_{pe}^2 = 1.3 < 1.9 = F_5(27,27)$$

Ett F-test visar att det på 5%-risknivå inte finns någon signifikant precisions-skillnad mellan realtidsmätning och efterbearbetning.

I höjd kan vi endast använda mätningar på fixar och rörkant eftersom den stång som användes har sjunkit ner olika långt vid olika mättillfällen i polygonpunkternas rörmärkningar. Fem sådana dubbelmätningar finns med både i realtid och efterbearbetning (litet material).

RMS i realtid = 13 mm
RMS vid efterbearbetning = 7 mm

vilket ger

Realtid, S_{hr}	= 9 mm
Efterbearbetning, S_{he}	= 5 mm

S_{hr} = standardavvikelse i höjd vid realtid

S_{he} = standardavvikelse i höjd vid efterbearbetning

$$S_{hr}^2 / S_{he}^2 = 3.4 < 5.0 = F_5(5,5)$$

F-testet visar att man inte heller i höjd kan konstatera någon signifikant skillnad i precision på 5%-nivån.

A.1.2 Avståndsberoende

För att undersöka om det finns något avståndsberoende i GPS-mätningarna delades materialet upp i fyra klasser. Differenser för dubbla realtidsmätningar beräknades, varur klassvisa punktstandardavvikelser skattades. Ur resultatet som redovisas i tabellen nedan kan inget avståndsberoende upptäckas. I höjd är materialet för litet för motsvarande studie.

Lantmäteriverket
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Lotti Jivall

Avstånd	antal	punktstandardavv
< 400 m	9	15
400 - 600 m	11	23
600 - 1000 m	10	18
> 1000 m	11	13

A.1.3 Slutsatser

Ur mätningarna kan man inte konstatera någon signifikant skillnad i precision mellan realtidsmätning och efterbearbetning, varken i plan eller höjd. Detta innebär att vi likaväl kan använda efterbearbetningar som realtidsmätningar för våra vidare studier. Någon skillnad hade vi inte förväntat oss eftersom samma beräkningsprogram används i båda fallen. Realtidsmätningen får dock fler fix-lösningar.

Inte heller kan man konstatera något avståndsberoende i GPS-mätningarna, som här omfattar baslinjer upp till 4 km. (Bredin & Nilsson, 1995) bekräftar detta (baslinjer upp till 2 km).

En jämförelse med (HMK-Ge:D, 1993) med toleranskrav på 2-sigma-nivån visar att precisionen i de här GPS-mätningarna inte räcker till för detaljmätning av de objekt som har de strängaste kraven (20 mm i plan, 5 mm i höjd, t.ex. byggnader och gränspunkter). Den precision som de här GPS-mätningarna uppvisar stämmer ganska väl överens med resultaten i (Wylde & Featherstone, 1995).

A.2 Nätets kvalitet

När vi nu känner GPS-mätningarnas kvalitet kan vi använda dessa för att studera nätets kvalitet. Olika metoder för detta är möjliga. Vi har provat två. Den första går ut på att studera bruksnätet genom att utföra GPS-detaljämätning på brukspunkter. I den andra metoden studeras anslutningsnätet genom att passa in ett yt-täckande GPS-nät på anslutningsnätet.

A.2.1 Detaljmätning

Genom att utföra detaljmätning på ett antal brukspunkter får man direkt en totalbild över vilken noggrannhet som erhålls i det lokala referenssystemet. Differenserna speglar såväl onoggrannhet i GPS-mätningarna och centrerings- och deformationer i nätet. Eftersom det går relativt snabbt att mäta, kan man på en kort tidsrymd täcka ett stort antal punkter. Nackdelen är att precisionen inte är så hög, vilket gör att endast större inhomogeniteter kan upptäckas med denna metod.

Lantmäteriverket
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Lotti Jivall

Vi har använt efterbearbetningar från RT02 för den här undersökningen.
De olika områdenas placering framgår av figur A1 nedan.

Område	n	$\overline{\Delta x}$	$S\overline{\Delta x}$	RMS_x	$\overline{\Delta y}$	$S\overline{\Delta y}$	RMS_y
1	15	4	2	10	8	3	12
2	23	-10	3	17	6	3	14
3	7	6	5	13	16	3	18
4	8	-10	5	17	-10	5	16
5	25	-16	3	23	-8	2	13

Medelavvikelser och RMS i olika områden.

n = antal punkter

$\overline{\Delta x}$, $\overline{\Delta y}$ = medelvärde av differenserna i x resp. y

$S\overline{\Delta x}$, $S\overline{\Delta y}$ = medelvärdets standardavvikelse i x resp. y

RMS_x , RMS_y = RMS av differenserna i x resp. y

I alla områden utom nr 4 kan man upptäcka differenser som är skilda från noll på 2 sigma-nivån ($\overline{\Delta x} > 2 S\overline{\Delta x}$). Differenserna är dock så små att de är i samma storleksordning som precisionen i detaljmätningen. Resultatet indikerar att det finns deformationer i det lokala nätet, men differenserna är för små i förhållande till precisionen i mätningarna för att utgöra underlag för en korrektionsmodell.

A.2.2 Yttäckande nät

Inom projektets ram fanns ingen möjlighet att göra ett yttäckande nät över hela det kommunala stornätet, eller ens hela det område där detaljmätningar gjordes. Mätningarna för bestämning av referenspunkt RT01 och RT02 (täckande detaljmättningsområde 1,2 och 3) användes för undersökningen. Stornätet är mätt med snabb statisk mätning på punkter i anslutningsnätet. Den fria nätutjämnningen gav grundmedelfelet 0,751 med viktsättning enligt (HMK-Ge:GPS, 1993). Precisionen är alltså betydligt högre än vid detaljmätningen.

GPS-nätet passades på det lokala stornätet dels med en plan Helmert, dels med endast translation. Av de 14 gemensamma punkterna avvek en, varför vi även gjorde motsvarande inpassningar med endast 13 punkter.

Inpassning	σ_0	skala	vridning	max v_x	max v_y	
Helmert	14 p	7 mm	-9.0	-0.87 mgon	8 mm	19 mm
Translation	14 p	10 mm	-	-	13 mm	34 mm
Helmert	13 p	5 mm	-8.1	-0.57 mgon	9 mm	10 mm
Translation	13 p	7 mm	-	-	13 mm	18 mm

Lantmäteriverket
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Lotti Jivall

Både skalan och vridningen är signifikanta i Helmertinpassningarna. I båda fallen nästan halveras max-passfelen vid en Helmertinpassning jämfört med en translation. Resultaten från translationsinpassningen motsvarar det man får vid detaljmätning utan hänsyn till lokal skala och vridning, dvs på det sätt som detaljmätningen genomförts i föregående avsnitt.

Med bakgrund av detta applicerade vi Helmertinpassningen på detaljmätningen i område 1-3 och jämförde med okorrigerade värden (endast translation) och med det lokala stomnätet. Skillnaden mellan korrigerade och okorrigerade värden är ca. 5 mm. Följaktligen drunknar denna (eventuella) förbättring i detaljmätningens brus (punktstandardavvikelse ca. 15 mm) och ingen förbättring uppnås. Radiellt RMS vid direkt detaljmätning (translation) är 26 mm och vid korrigerande med en Helmertinpassning 28 mm.

A.2.3 Slutsatser

Med inpassning av ett yttäckande stomnät kan man upptäcka mindre deformationer än med detaljmätning, eftersom stommätningen har högre noggrannhet. Däremot krävs betydligt större mätinsats för att täcka lika många punkter. I det här fallet håller det lokala stomnätet en mycket hög kvalitet. Det finns dock små deformationer, som kan upptäckas med båda metoderna, men endast metoden med inpassning av ett yttäckande nät kan ge underlag för en korrektionsmodell.

I vårt fall gav korrigerande av detaljmätningarna med en Helmertinpassning ingen förbättring. Anledningen är att effekten av skala och vridning på de här korta avstånden (i genomsnitt 500 m) är så små i jämförelse med precisionen i detaljmätningarna.

I ett nät med större deformationer, längre avstånd från referensstationen eller bättre detaljmätningar skulle modellen med en Helmertinpassning kunna vara användbar. Modellen har dock nackdelar då den endast gäller för ett visst område. Problem uppstår i randen mellan olika områden och extrapolation kan ge stora fel. Någon form av heltäckande deformationsmodell är att föredra men innebär naturligtvis en hel del arbete innan man kan komma igång. I ett uppstartnings-skede när GPS-detaljmätning endast används i enstaka områden kan Helmertinpassningen vara en lämplig metod att korrigera för deformationer (om det behövs).

Lantmäteriverket
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten
Lotti Jivall

A.3. Höjdmätning

Fyra olika metoder för höjdbestämning testades på område 1-3, med RT02 som referens.

1. Geoidpolynom
2. Geoidmodell
3. Geoidmodell + lutande plan
4. Lutande plan

Geoidpolynomet och geoidmodellen ger ungefär likvärdigt resultat på punkter som ligger inom en radie på 1.5 km från referensstationen (område 1-4), RMS c:a 10 mm.

På längre avstånd (2-4 km, område 5) ger geoidmodellen ungefär samma noggrannhet som tidigare, men geoidpolynomet avviker c:a 2-5 cm.

Vid stommätning brukar en anpassning av ett lutande plan göras för höjdbestämmningen. Vi provade motsvarande metod här, både med och utan geoidmodell. Stomnätsmätningen av RT01 och RT02 användes för bestämningen av parametrarna i det lutande planet, som sedan applicerades på detaljmätningarna i område 1-4.

Grundmedelfelet i inpassningen av ett lutande plan blev 11 mm med geoidmodell och 10 mm utan. RMS för differenserna i de åtta kontrollpunkterna blev 7 mm med geoidmodell och 16 mm utan. I det senare fallet avvek en punkt som ligger utanför stomnätet (extrapolation). Då denna punkt ströks sjönk RMS till 6 mm.

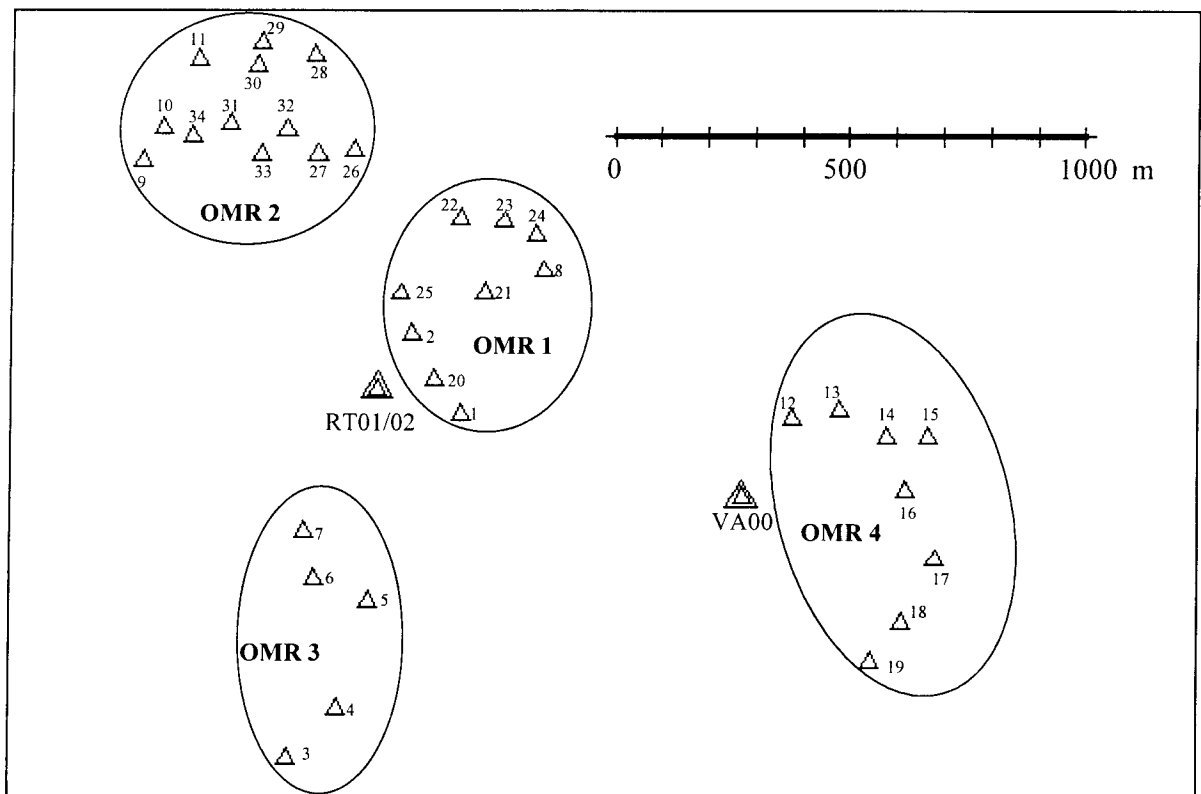
A.3.2 Slutsats

Geoidpolynomet ger betydligt sämre resultat på avstånd större än 1-1.5 km, jämfört med övriga metoder som kan betraktas som likvärdiga. Metod 3 med både geoidmodell och inpassning av ett lutande plan ger på dessa korta avstånd ingenting extra. Detta stämmer väl överens med tidigare dokumenterade erfarenheter, bl a (Strandberg, 1995).

Återstår gör då metoderna 2 och 4, dvs enbart geoidmodell eller enbart ett lutande plan. Fördelen med en geoidmodell är att den fungerar såväl på korta avstånd som längre. På långa avstånd (10 km och uppåt) klarar inte ett lutande plan att ta upp alla ev geoidundulationer. En annan fördel jämfört med ett lutande plan är att man inte behöver mäta in ett antal tidigare höjdbestämda punkter och att ingen risk för extrapolation föreligger. Nackdelen är att det kan vara svårt att få plats med hela

Lantmäteriverket
 Kartavdelningen
 Geodetiska utvecklingsenheten
 Lotti Jivall

geoidmodellen med interpolationsprogramvara i fältdatorn. Möjligheten att endast ta in en liten del av geoidmodellen (t.ex. en kommun med omgivning) borde undersökas. (Strandberg, 1995) föreslår användandet av en digital terrängmodell för geoidmodellen.



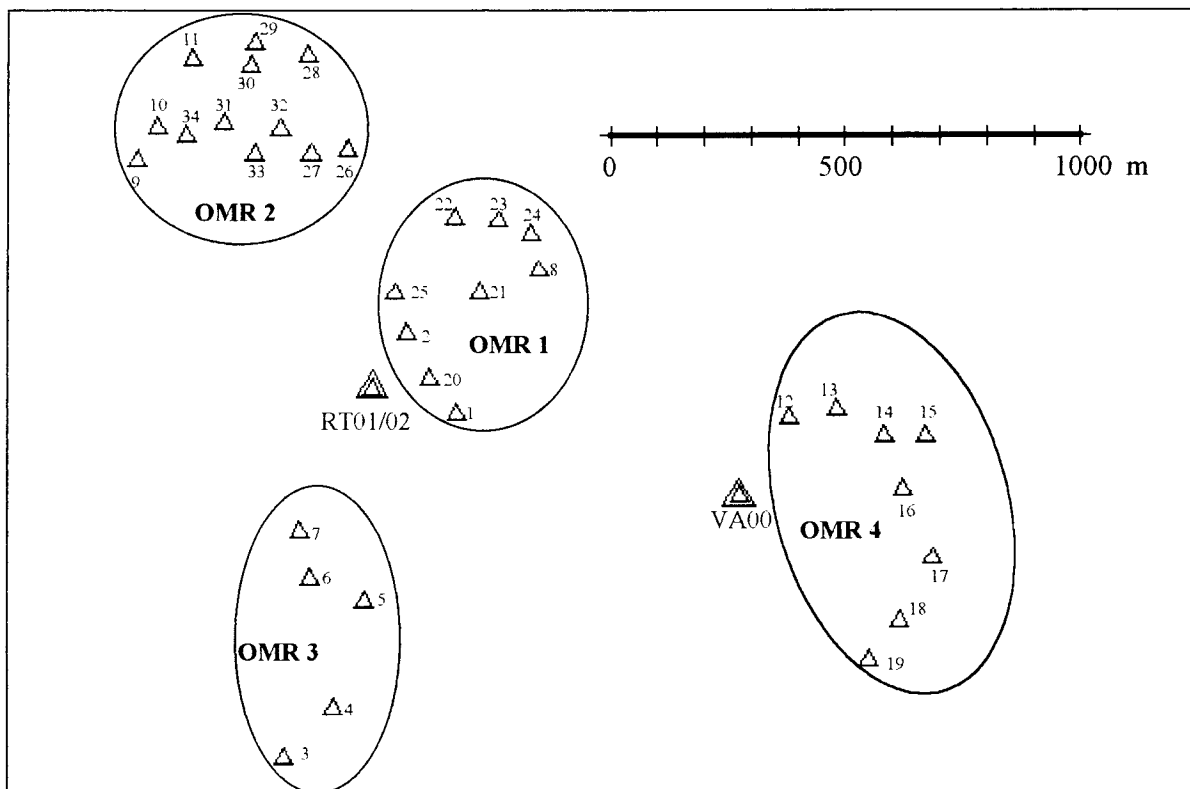
Figur A1

Fyra försöksområden, där detaljmätning med GPS-teknik gjordes relativt referenspunkt RT02. Det femte området är beläget 2 - 4,2 km sydväst om referenspunkten.

Bilaga B

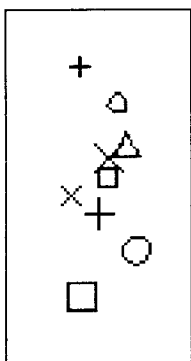
Jämförelser mellan olika mätningar och beräkningar

34 befintliga polygonpunkter i fyra olika områden har bestämts med semikinematisk GPS-mätning vid två olika tillfällen. Beräkning gjordes i realtid med RT02 som referensstation för områdena 1-3 och med VA00 som referensstation för område 4. Dessutom har efterbearbetning gjorts mot RT01, RT02 och VA00. RT01 och RT02 är samma fysiska punkt men med olika koordinater.

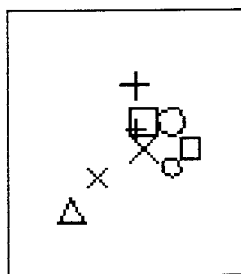


Resultaten av de olika mätningarna och beräkningarna redovisas grafiskt i skala 1:1. Följande symboler har använts:

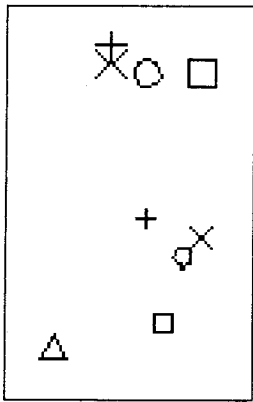
Konventionell stommätning	△	
<u>Semikinematisk bärvågsmätning</u>	<u>mättn. 1</u>	<u>mättn. 2</u>
realtidsberäkning	□	◻
efterbearbetning, ref.stn. RT02	○	◊
efterbearbetning, ref.stn. RT01	+	+
efterbearbetning, ref.stn. VA00	×	×



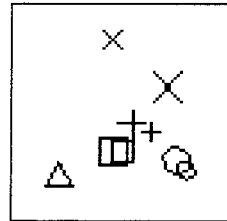
1 = 21633



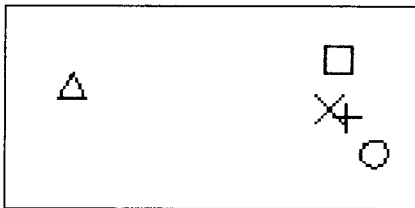
2 = 21634



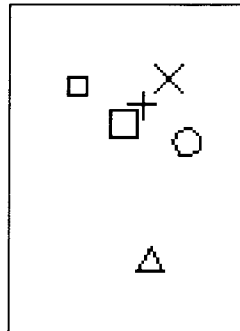
3 = 21916



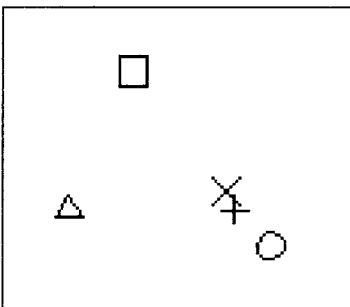
4 = 21918



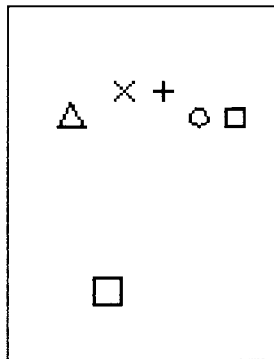
5 = 21920



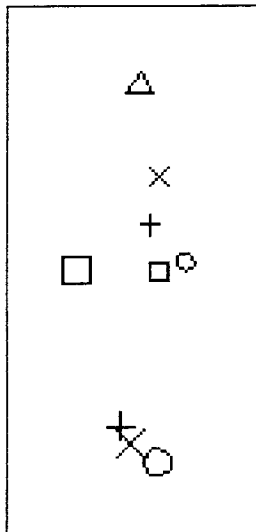
6 = 21924



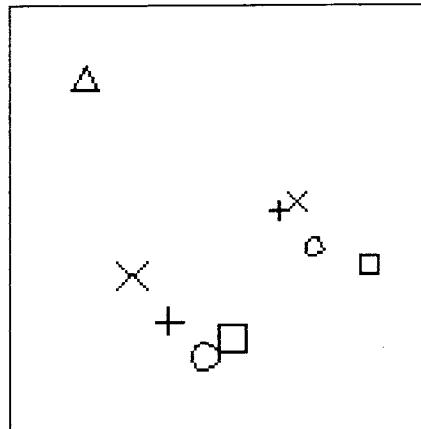
7 = 21925



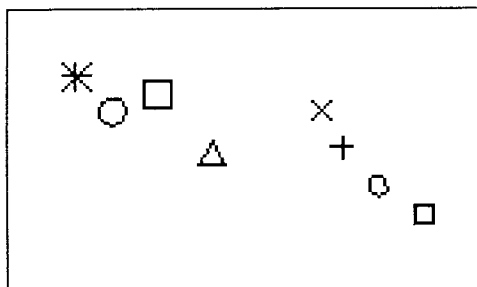
8 = 24333



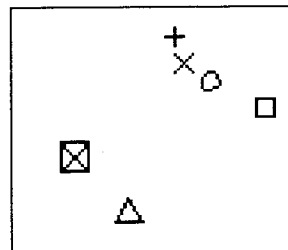
9 = 24348



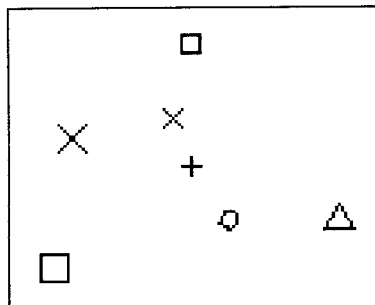
10 = 24351



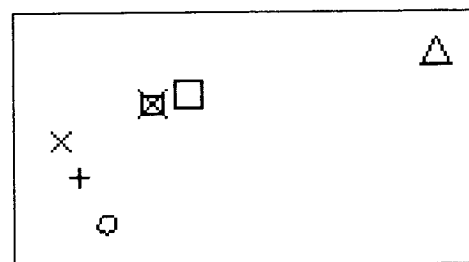
11 = 24352



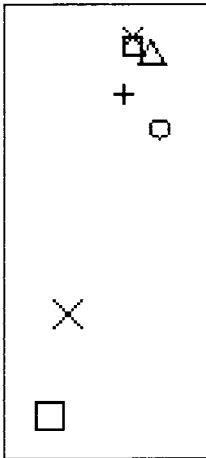
12 = 24356



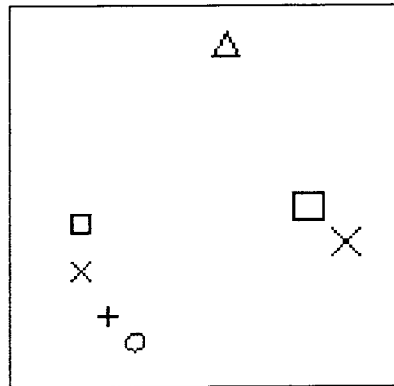
13 = 24357



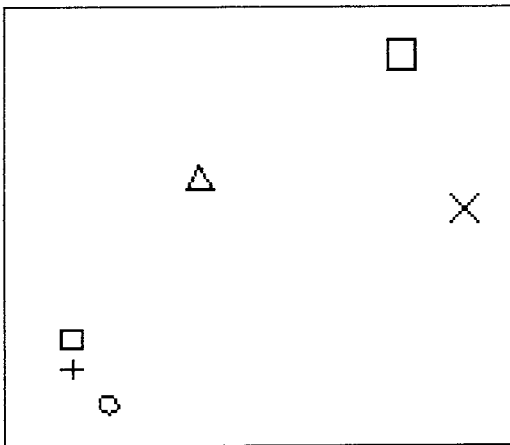
14 = 24358



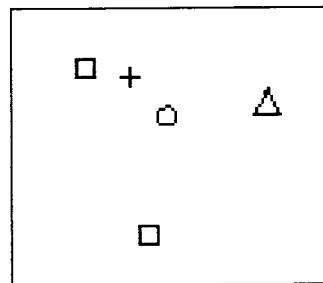
15 = 24359



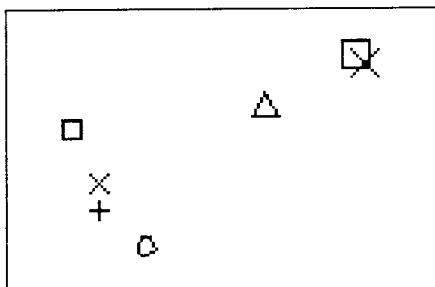
16 = 24362



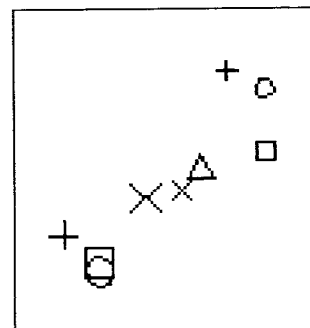
17 = 24379



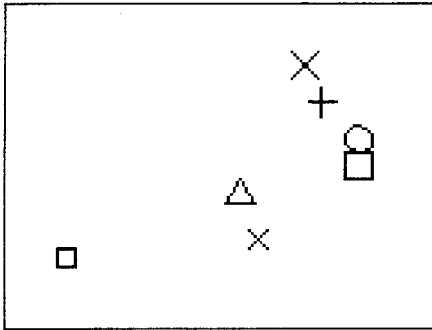
18 = 24380



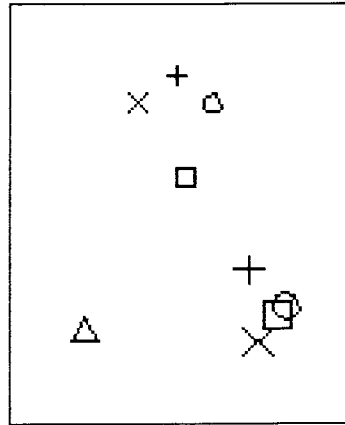
19 = 24384



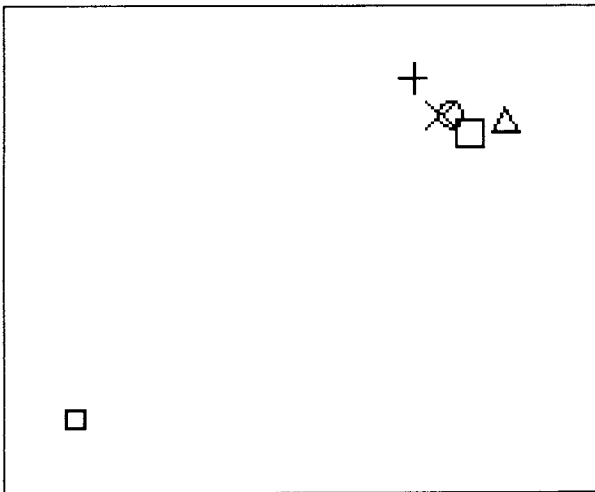
20 = 24523



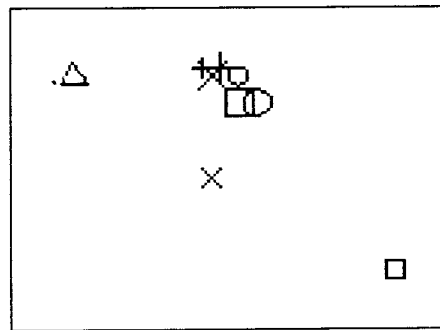
21 = 24524



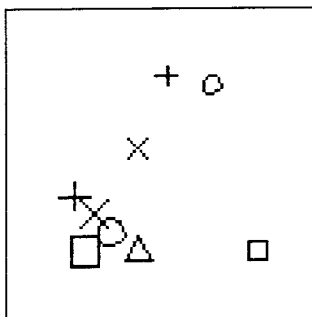
22 = 24525



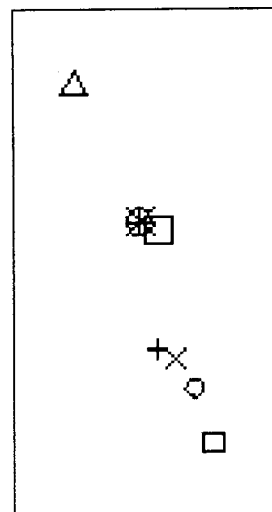
23 = 24526



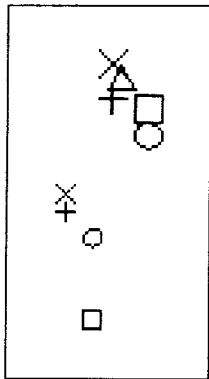
24 = 24527



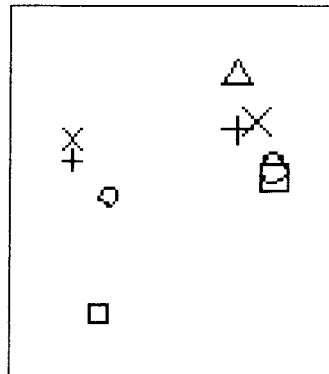
25 = 24529



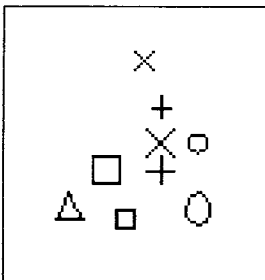
26 = 24540



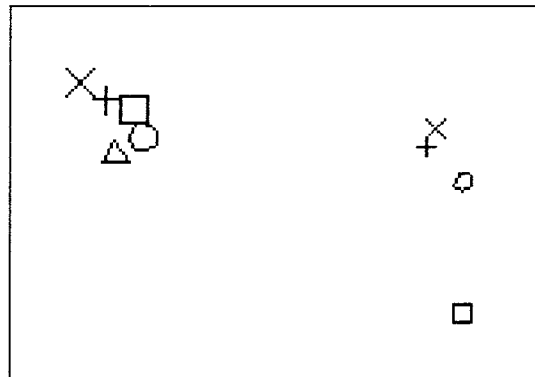
27 = 24542



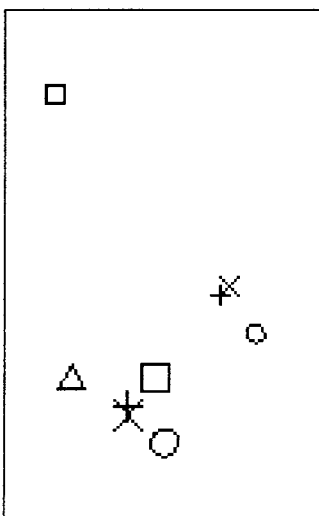
28 = 24544



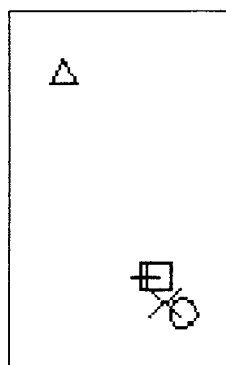
29 = 24545



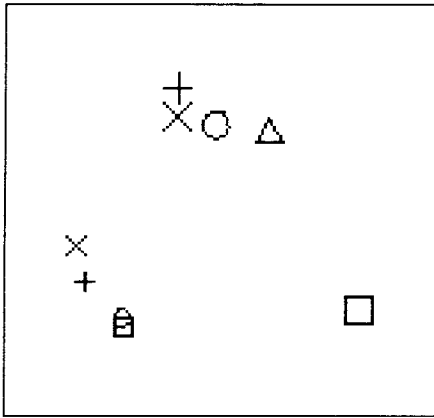
30 = 24546



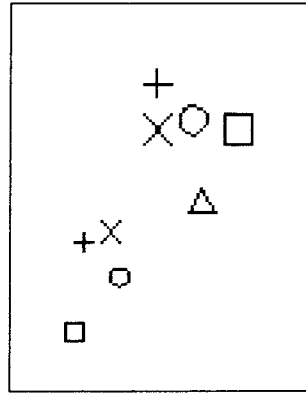
31 = 24547



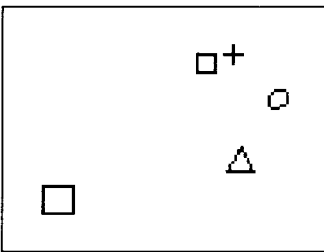
32 = 24548



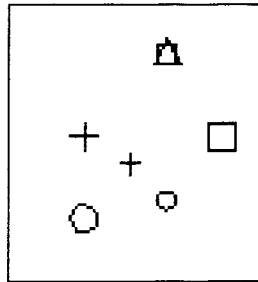
33 = 24549



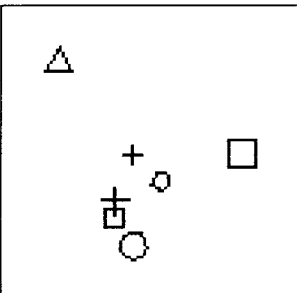
34 = 24555



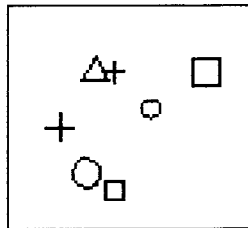
35 = 20292



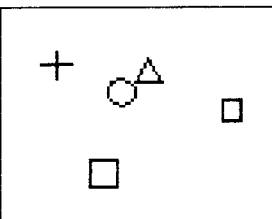
36 = 20293



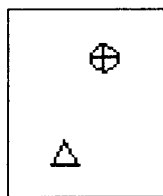
37 = 20321



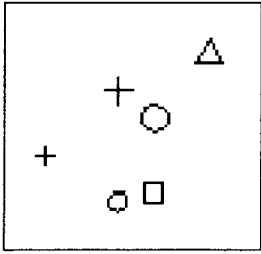
38 = 20320



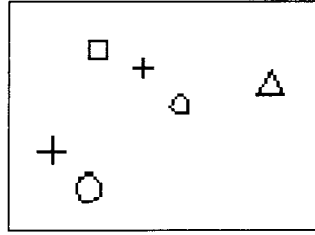
39 = 20327



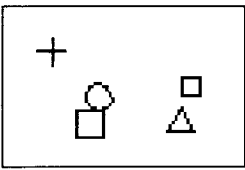
40 = 20191



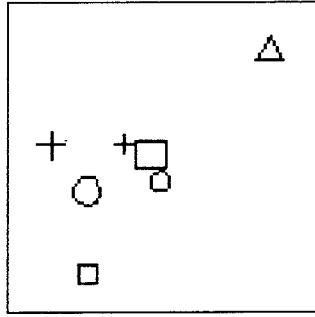
41 = 20189



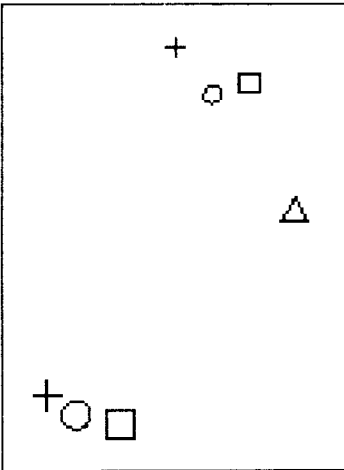
42 = 20100



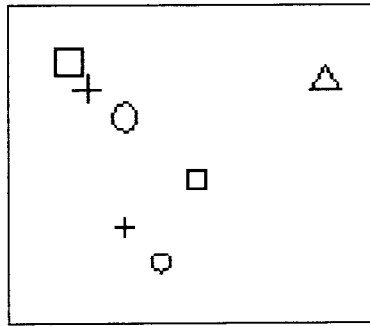
43 = 20402



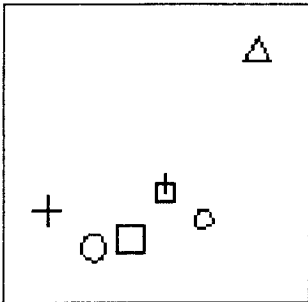
44 = 20393



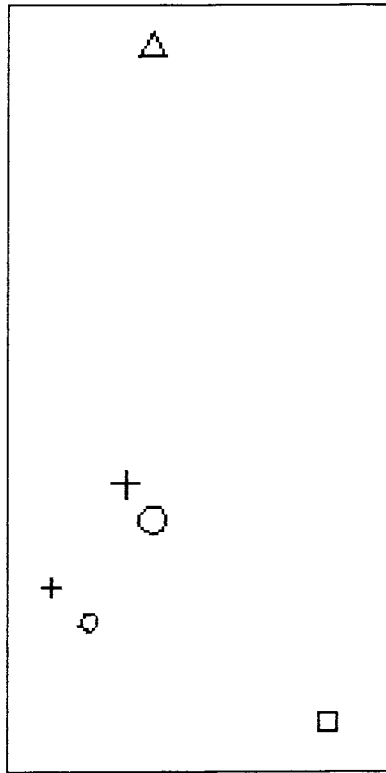
45 = 20401



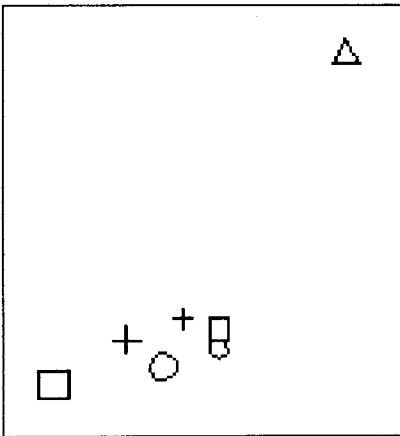
46 = 20404



47 = 523



48 = 21608



49 = 23914

9 höjdfixar och 3 polygonpunkter har mätts in i höjd. Tabellen visar avvikelser i mm relativt kända höjder. Ingen höjdanpassning med lutande plan har utförts. Vid realtidsmätningarna har geoidpolynomet använts och vid efterbearbetningarna har geoidmodellen använts.

Kod	PUNKT											
	1144	1519	1521	1522	1744	2043	2052	2088	2108	21633	24333	24525
11R					4			-9				
11A					4			-8				
11B					2			-10				
11C					-7			-1				
12R					4			3	3	-9	4	27
12A					0			3	2	-5	12	15
12B					-8			-10	-1	-7	10	1
12C					9			-4	-6	-4	2	1
32R						-13						
32A						2						
32B						0						
32C						13						
41R									-9			
41C									3			
42R		12					-17		1			
42A		15							6			
42B		17							3			
42C		26							8			
51R	-34		-29									
51A	0		5	3								
51B	-2		3	2								
52R	-44		-49	-23								
52A	6		-3	-9								
52B	4		-5	-22								

Förklaring av koderna:

R är realtidsmätning.

A, B, C är efterbearbetning mot punkterna RT01=A, RT02=B och VA00=C.

1 - 5 i första position är område 1 - 5, där det femte området är beläget 2 - 4,2 km sydost om punkt RT02.

1 - 2 i andra position är mätomgång 1 resp. 2.