

1	SAMMANFATTNING	1
2	INLEDNING	3
2.1	BAKGRUND.....	3
2.2	SYFTE OCH MÅL	3
2.3	PROJEKTORGANISATION	4
2.4	INTRESSENER I PROJEKTET	4
3	TIDPLAN.....	5
4	FINANSIERING	5
5	VARFÖR NÄTVERKS-RTK	6
5.1	HUR FUNGERAR NÄTVERKS-RTK	6
6	KONFIGURATION AV NÄT SAMT UPPBYGGNAD AV STATIONER.....	8
6.1	NÄTKONFIGURATION.....	8
6.2	REKOGNOSERING FÖR NYA STATIONER.....	8
6.3	ETABLERING AV NYA STATIONER.....	9
7	TESTMÄTNINGAR.....	11
7.1	TILLVÄGAGÅNGSSÄTT TESTMÄTNING	13
8	RESULTAT.....	14
8.1	RESULTAT FÖR ALLA MÄTNINGAR TOTALT I PROJEKTET.	14
8.2	RESULTAT MED AVSEENDE PÅ AVSTÅND FRÅN NÄRMSTA REFERENSSTATION	15
8.3	RESULTAT MED AVSEENDE PÅ VILKEN TRIANGEL SOM MÄTNINGARNA UTFÖRTS I.....	16
8.4	JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA FABRIKAT AV GPS-MOTTAGARE	16
8.5	DETALJERAD SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT.....	17
8.5.1	<i>Exempel på detaljerad sammanställning;</i>	18
8.6	PRAKTISKA ERFARENHETER FRÅN TESTMÄTNINGARNA	19
9	UTVÄRDERING	20
10	SLUTSATSER.....	24
	BILAGA 1.....	25
	BILAGA 2.....	26
	BILAGA 3.....	27
	BILAGA 4.....	28
	BILAGA 5.....	29
	BILAGA 6.....	30
	BILAGA 7.....	31
	BILAGA 8.....	32
	Bilagor.....	25-32

1 Sammanfattning

GPS/RTK är nu en fungerande teknik för praktisk detaljmätning med centimeternoggrannhet, som är på väg att ta över en allt större del av den vardagsmätning som kräver några centimeters noggrannhet i positionen. Vid användning av befintliga referenspunkter i terrängen som utgångspunkter för RTK-mätning krävs att användaren själv etablerar en tillfällig referensstation med tillhörande radiolänk.

Ett alternativ till etableringen av tillfälliga referensstationer kan vara att använda fasta referensstationer, som antingen kan etableras i egen regi eller som ett nät som kan användas av alla användare inom täckningsområdet, s. k. Nätverks-RTK. För användaren innebär Nätverks-RTK att varje mätlag behöver bara en GPS-mottagare istället för två vid traditionell RTK.

Lantmäteriet - division fastighetsbildning, Banverket, Vägverket och 11 kommuner runt Mälaren har i samarbete med SWEPOS[®] (Geodetiska utvecklingsenheten, Lantmäteriverket) under 1:a halvåret i år testat och utvärderat Nätverks-RTK i projektet Position Stockholm-Mälaren. I Stockholm – Mälardalsområdet etablerades ett testnät, som bestod av SWEPOS-stationerna Lovö och Västerås samt sex projektstationer. Avståndet mellan referensstationerna varierar mellan 88 och 48 km. I testen användes Nätverks-RTK programvaran GPS Network från Spectra Precision Terrasat, som installerades på SWEPOS driftsledningscentral i Gävle.

Projektets syfte var att undersöka hur beroende av avståndet mellan referensstationerna tekniken för Nätverks-RTK är och vilka användartekniska problem som kan förekomma. Resultatet från projektet skulle även kunna fungera som ett underlag för att bedöma vilka vinster som finns i att introducera Nätverks-RTK i organisationer som redan idag gör detaljmätning. Projektdeltagarna skulle även genom testmätningarna få möjlighet att prova på Nätverks-RTK

Under perioden februari – mars 2001 genomförde projektdeltagarna ca 1000 mätningar med Nätverks-RTK på punkter som var bestämda i SWEREF 93, det referenssystem som SWEPOS använder. Testpunkterna var jämnt fördelade över testområdet och testmätningarna genomfördes av 11 intressenter. De vanligaste fabrikaten av GPS-utrustning var representerade i testen.

Överlag har mätgrupperna rapporterat att det gått bra att mäta och att funktionaliteten varit bra vid mätningarna i testnätet. Resultatet visar att Nätverks-RTK är ett verktyg som idag kan användas för detaljmätning under produktionsförhållanden där noggrannhetskraven i den horisontella positionen ej överstiger 0.04 meter (i 95 % av fallen) och där GSM-täckning finns. Den erhållna positionsnoggrannheten är lägre än den som specificeras av tillverkaren av Nätverks-RTK programvaran. En förklaring till den lägre noggrannheten kan vara att programvaran i de använda GPS-mottagarna ej är anpassad för att använda data från Nätverks-RTK programvaran. Initialiseringstiderna vid användning av Nätverks-RTK är acceptabla för produktionsmätning.

Idag fungerar den använda Nätverks-RTK programvaran endast för GSM som distributionskanal, men utveckling pågår som innebar att även DARC och radiomodem (egen radiosändare) kan användas för distributionen av Nätverks-RTK data.

Resultatet visar också att nätverks-RTK i många situationer ger bättre funktion och bättre ekonomi än vid traditionell RTK-mätning med egen mobil eller fast referensstation. En ytterligare slutsats är att en gemensam regional nätverks-RTK-tjänst skulle underlätta införandet av GPS i de organisationer som har detta framför sig.

De erhållna resultaten ser mycket lovande ut, men ytterligare produktionsmätningar med en prototyp-tjänst bör genomföras på vägen mot en "färdig" positioneringstjänst. Enligt programtillverkaren bör en justering av nuvarande nätkonfiguration till maximalt 70 km mellan stationerna göras för att få högre noggrannhet genom en bättre fungerande atmosfärsmodellering.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

RTK (Real Time Kinematic) är idag en väl etablerad teknik för GPS-mätning med centimeternoggrannhet och används inom många olika mättningsorganisationer för t. ex detaljmätning. För att mäta RTK etableras först en GPS utrustning över en markerad referenspunkt i terrängen med kända koordinater (referensstation), medan den andra utrustningen (rovern) placeras över det objekt som skall mätas in (positionsbestämmas). Data skickas från referensstationen via radiomodem, GSM eller någon annan typ av datalänk till rovern där själva positionsberäkningen utförs, dvs. RTK-tekniken kräver tillgång till två avancerade GPS-utrustningar och modemplänk för överföring av data. Den relativt höga initialkostnaden för att köpa in två avancerade GPS-utrustningar (ca 300.000 kr) bidrar till att många organisationer (kommuner, mätkonsulter statliga verk etc.), kanske fortfarande drar sig för att börja använda RTK i sin mätverksamhet. Vid användningen av RTK-tekniken finns det dessutom en begränsning i avståndet mellan referensstationen och rovern, på grund av det systematiska fel som orsakas av olika jonosfärs- och troposfärsförhållanden för referensstationen och rovern. Instrumenttillverkarna rekommenderar idag ett maximalt avstånd mellan referensstation och rover på 10-15 km.

En vidareutveckling av RTK-tekniken har dock på senare tid gjorts där man binder ihop minst tre referensstationer i ett nätverk och beräknar en modell av jonosfärs- och troposfärskorrekationer, som används för att korrigera RTK-data till den punkt där användaren befinner sig, en s. k. virtuell referensstation. Användaren behöver dessutom bara ha tillgång till en avancerad GPS utrustning och ett GSM-modem vilket kan vara en billigare lösning än traditionell RTK. De användare som redan har tillgång till en komplett RTK-utrustning får möjlighet att mäta med två utrustningar istället för en, vilket ger vinster i form av bättre utnyttjande av utrustning. En annan fördel med Nätverks-RTK är att läget för referensstationerna hela tiden monitoreras, koordinaterna för referensstationen verifieras kontinuerligt samt att de data som sänds ut kontrolleras hela tiden.

Hösten 2000 samlades ett antal kommuner, Banverket, Vägverket, Onsala rymdobservatorium och Lantmäteriet för att diskutera möjligheten att starta upp ett Nätverks-RTK projekt för regionen Stockholm-Mälardalen. En projektgrupp bildades och beslut togs att starta upp och köra ett testnät för att testa och utvärdera noggrannhet och funktionaliteten i Nätverks-RTK tekniken.

2.2 Syfte och mål

Projektets syfte var att undersöka hur avståndsberoende tekniken för Nätverks-RTK är och vilka användartekniska problem som kan förekomma. Resultatet från projektet skulle även kunna fungera som ett underlag för att bedöma vilka vinster som finns i att introducera Nätverks-RTK i organisationer som redan idag gör detaljmätning. Projektgruppen ville undersöka om det fanns några vinster i form av högre kvalitet, besparingar i stamnätsunderhåll, arbetsorganisation mm. Projektdeltagarna skulle även genom testmätningarna få möjlighet att prova på Nätverks-RTK.

2.3 Projektorganisation

Bo Jonsson (Lantmäteriet) har fungerat som sammankallande i projektet och fungerat som ordförande vid mötena. Peter Wiklund (Lantmäteriet) har arbetat som projektledare och haft Jan Virking (Västerås Stad) som stöd i kommuntekniska frågor. Jan har även fört minnesanteckningar vid mötena.

2.4 Intressenter i projektet

De intressenter som har deltagit i projektet är;
Banverket Region Öst, Eskilstuna Kommun, Haninge Kommun, Köpings Kommun, Lantmäteriet Division Fastighetsbildning, Läns MBK föreningen i U-län, Stockholms Stad, Uppsala Kommun, Vägverket Region Mälardalen, Västerås Stad, Örebro Kommun, Enköpings Kommun, Tyresö Kommun, Värmdö Kommun, Sigtuna Kommun och SWEPOS (Geodetiska utvecklingsenheten, Division Landskaps- och Fastighetsdata, Lantmäteriet i Gävle).

3 Tidplan

En tidplan för projektet togs fram där planeringsfasen som innefattade rekognosering av stationer, sammanställning av utrustning till stationerna och planering av testmätningarna skulle vara klar i mitten av januari 2001. Implementeringen som innefattade uppmontering och igångsättande av referensstationerna samt installation av GPS Network programvara på SWEPOS-driften beräknades vara klart i mitten av februari.. Fältmätningarna planerades att vara klara i slutet av mars och utvärdering och slutrapport mot slutet av maj.

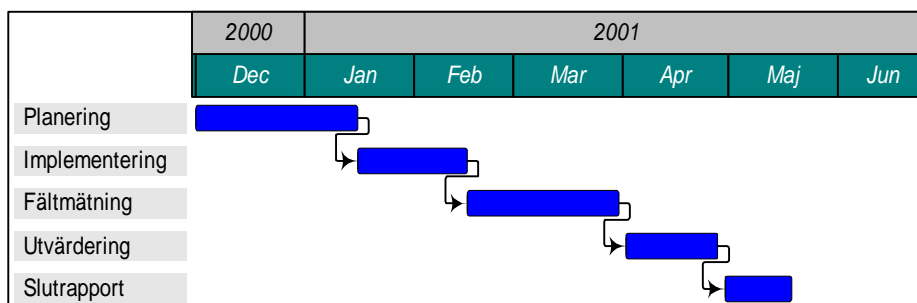


Bild 1. tidplan

Tidplanen har i stort sett följts och det är bara utvärdering och slutrapport som har tagit lite längre tid än beräknat.

4 Finansiering

Kostnaden för projektet, utöver intressenternas arbetsinsatser och SWEPOS insatser, beräknades till 255 000 Kr plus ca 1200 kr/intressent för mobiltelefonkostnader för testmätningarna. Med sexton intressenter kom kostnaden per deltagare ner på en rimlig nivå. Förutom projektledarens tid finansierade projektet antennstativ till alla sex nya stationer, ett utrustningsbidrag till den sjätte stationen samt kommunikationskostnader mellan driftsledningscentralen och stationerna för två referensstationer. Lantmäteriet ställde GPS-mottagare och kommunikationsutrustning till förfogande för fem av de nya stationerna, bekostade kommunikationskostnaderna för de övriga stationerna samt Nätverks-RTK programvaran. Onsala Rymdobservatorium lånade ut antenner till tre av stationerna.

5 Varför Nätverks-RTK

Traditionell RTK (Enstations-RTK) är idag en etablerad mätteknik som används i ett flertal tillämpningar. För att mäta RTK behövs två avancerade GPS utrustningar (tvåfrekvens GPS-mottagare), den ena utrustningen används som referensstation och den andra som "rover". Utrustningen som används som referensstation måste etableras över en känd punkt med kända koordinater och en radiolänk som i de flesta fall består av att två 0,5 W modem sätts upp för att sända data från referensstationen till den rörliga utrustningen (rovern). När referensstationen och radiolänken har etablerats kan man starta upp den rörliga GPS-utrustningen och påbörja mätningens arbete.

En del kommuner har idag satt upp egna permanenta referensstationer för att slippa det ofta tidsödande arbetet med att etablera referensstation när RTK mätning ska utföras. Utsändningen av data från referensstationen sker oftast med kraftigare radioutrustning för att nå längre än vad 0,5 Watt modem klarar. I vissa fall förekommer även repeatersystem för att förlänga räckvidden i radioutsändningen. Begränsningen i att mäta med egen RTK-station ligger dock inte bara i dataöverföringen utan även i de olika atmosfäriska förhållandena som råder på platsen där referensstationen respektive "rovern" står. Instrumenttillverkarna rekommenderar idag ett maximalt avstånd mellan referensstation och rover på 10-15 km.

Nätverks-RTK använder flera referensstationer sammanbundna i ett nätverk och modellerar jonosfär och troposfär för det område som stationerna täcker. Vid mätning inom detta område får "roverutrustningen" inte bara data från en referensstation utan även korrekationer för jonosfär och troposfär, detta innebär att det går att mäta på längre avstånd från referensstationen än med Enstations-RTK.

5.1 Hur fungerar Nätverks-RTK

Som nämnts ovan använder Nätverks-RTK data från flera referensstationer för att göra en modell över jonosfär och troposfär. Det Nätverks-RTK program som har använts i detta projekt arbetar efter principen "virtuella referensstationer". Programmet delar upp området som referensstationerna täcker i ett antal trianglar och samlar in och bearbetar data för varje triangel i realtid. Mottagaren som används i fält måste konfigureras så att den sänder sin position (NMEA, GGA meddelanden) ungefär var 30 sekund till Nätverks-RTK servern. När uppkoppling görs via GSM modem mot Nätverks-RTK servern tilldelas användaren en RTK-Generator. RTK-Generatoren väljer den triangel som användaren befinner sig i eller är i närheten av samt närmsta referensstation. RTK-data från den närmsta stationen förbättras sedan genom att påföra atmosfäriska korrekationer för den plats där användaren befinner sig, beräknade från atmosfärmodellen för den aktuella triangeln. Innan RTK korrektionerna sänds till GPS-mottagaren i fält så görs en geometrisk korrektion så att "rovern" får data för en referensstation med samma position som GPS-mottagaren har skickat in till nätverks-RTK servern via GSM-länken, därav namnet "Virtuell referensstation".

Det Nätverks-RTK program som använts i projektet var GPS Network version 1.5 från Spectra Precision Terrasat, ingår numera i Trimble koncernen. Programmet installerades på en Windows 2000 dator på SWEPOS-driftledningscentral. Dessutom installerades fem ingående ISDN ledningar på SWEPOS-driften för att hantera uppkopplingarna från mätlagen i fält. Som distributionskanal för data från Nätverks-RTK servern till användaren i fält har GSM

6 Konfiguration av nät samt uppbyggnad av stationer

6.1 Nätkonfiguration

Tre olika förslag av testnät togs fram. Alternativ 1 innebar en etablering av sex nya referensstationer, alternativ 2 innebar en etablering av fem nya stationer och alternativ 3 en etablering av fyra nya stationer. I alla tre alternativen ingick dessutom de befintliga SWEPOS stationerna Lovö och Västerås. Projektgruppen enades om att alternativ 1 med sex nya referensstationer var det alternativ som bäst tillgodosåg intressenternas behov. Alternativ 1 innebar att nya referensstationer skulle etableras i Uppsala, Skinnskatteberg, Örebro, Hälleforsnäs, Nynäshamn och Stavsån i Stockholms skärgård.

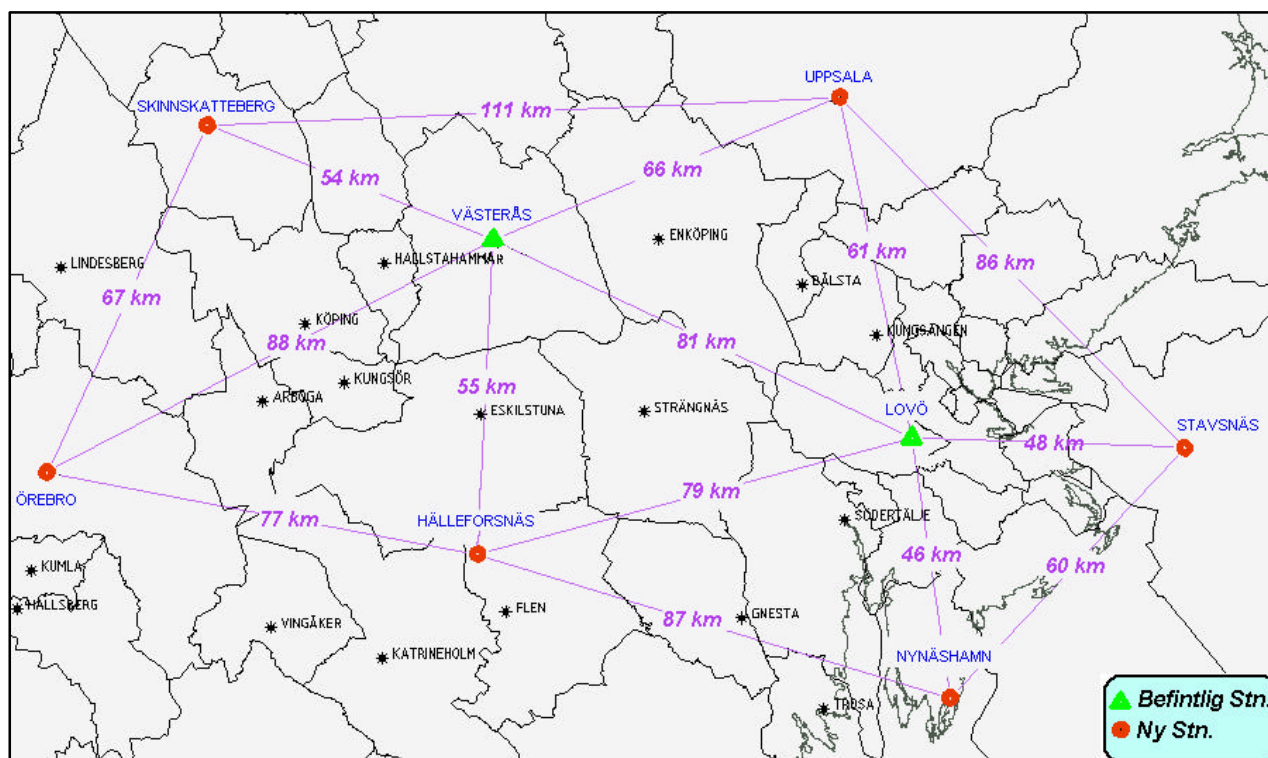


Bild 4. Nätkonfigurationen

6.2 Rekognosering för nya stationer

När beslut om nätkonfiguration tagits påbörjades rekognosering för de nya stationerna. Kontakter togs med lämpliga personer på respektive ort som utförde den inledande rekognoseringen. Det var personer med god lokalkännedom och med kännedom om vilka byggnader som var kommunägda. För att få en enkel hantering av tillstånd för att etablera stationerna var det ett naturligt val att först titta på alla kommunala anläggningar. När det sedan fanns några alternativ framme så studerades de närmare för att bestämma en slutgiltig placering. Eftersom de nya stationerna etableras på befintliga byggnader var det generellt

lättare att hitta lämpliga platser på större orter med ett större utbud av byggnader. Några riktlinjer som användes vid rekognoseringen var;

- **Antennen** bör placeras på stabil byggnad med så fri sikt runtom som möjligt. Sikthinder under 10 graders elevation är inte så kritiska
- **Byggnaden** får ej ha plåttak och helst ej andra plåtklädda objekt som kan ge upphov till sk. Multipath eller "flervägsfel. Dvs, signalerna från satelliterna studsar mot reflekterande objekt och går fel väg innan de når antennen.
- Det bör ej finnas **radiomaster, GSM master** eller liknande för nära platsen pga, att de kan störa signalmottagningen.
- Ett litet **utrymme/rum** inne i byggnaden behövs för att sätta upp ett rack av dimensionen 70*60*140 cm. Bra om inga obehöriga har tillgång till racket. Strömförsörjning måste finnas i anslutning till racket. Avståndet från racket till antennen bör ej överstiga 25 meter, det går att ha längre men det kräver en kraftigare modell av antennkabel.

På alla platserna gick det bra att klara de uppställda kraven och rekognoseringen gick väldigt smidigt med undantag för en station som krävde lite mer tid.

6.3 Etablering av nya stationer

Projektet bekostade antennstativen, kommunikationskostnaden för två stationer samt bidrog även med ett utrustningsbidrag för den sjätte stationen. Lantmäteriet lånade ut utrustningen till de nya stationerna som för varje station bestod av GPS-antenn (Dorne Margolin T), 2-frekvens GPS-mottagare (Ashtech Z-12), backup-dator, datakommunikationsutrustning, batteribackup för att klara kortare strömbortfall, diverse kablage samt rack att ställa in utrustningen i.

Pga. ganska lång leveranstid beställdes dataledning direkt när rekognoseringen av en ny station var klar. Individuellt utformade antennstativ tillverkades utifrån mått som tagits vid rekognoseringen. Antennstativen skickades ner och monterades på plats av hantverkare innan resten av utrustningen installerades av personal från SWEPOS i Gävle. Uppsalastationen startades upp vecka 6, Örebro och Skinnskatteberg vecka 7 samt Hälleforsnäs, Nynäshamn och Stavsån vecka 8. Innan stationerna kunde tas i bruk gjordes en preliminär beräkning av antennens position med 2-3 dagars insamlad data från stationen. Stationerna fick sedan en slutgiltig position beräknad efter ca, 2 veckor då även efterberäknad banddata fanns tillgänglig vid beräkningen. Skillnaden mellan den preliminära och efterberäknade positionen för stationerna visade sig endast vara någon eller några millimeter. I projektet tog det ungefär 6-7 veckor att få igång en station efter det att rekognoseringen var klar, största delen av tiden ligger då som även tidigare nämnts i leveranstiden för dataledningarna.



Bild 5. Antennstativ och rack

7 Testmätningar

För att samla in mätvärden på ett snabbt och effektivt sätt skulle alla deltagarna i projektet, som hade tillgång till utrustning och möjlighet, utföra testmätningar på ett antal punkter. Det blev därmed flera olika typer av utrustningar representerade i testmätningarna och med många olika mätgrupper förväntades resultatet bli så representativt som möjligt. Av projektets sexton deltagare var det elva som hade möjlighet att delta i testerna.

Ett mätschema sattes ihop där det var två till tre mätgrupper som utförde mätningar varje vecka. Testmätningarna utfördes under perioden 26 februari till 29 mars och varje mätlag utförde testmätningarna på fyra punkter som var väl bestämda i SWEREF 93. Eftersom Nätverks-RTK programmet arbetar i SWEREF 93 valde vi att redovisa koordinatvärdena för testpunkterna i SWEREF 93 för att undvika transformationer till andra system och transformationsfel. Punkterna var valda på sådant sätt att det i utvärderingen skulle gå att undersöka om noggrannheten påverkades av avståndet till närmsta referensstation. För att få testpunkter med kända koordinater i SWEREF 93 valdes ett antal RIX 95 punkter i området, som är bestämda i såväl RT 90/RH 70 som SWEREF 93. För varje mätgrupp och den triangel i testnätet som de skulle utföra testmätningar i valdes punkterna utifrån följande kriterier;

- första punkten mindre än 10 km. från närmsta referensstation i nätet.
- andra punkten ca, 10 km från närmsta referensstation
- tredje punkten så nära tyngdpunkten av den aktuella triangeln som möjligt
- fjärde punkten mellan den andra och tredje punkten

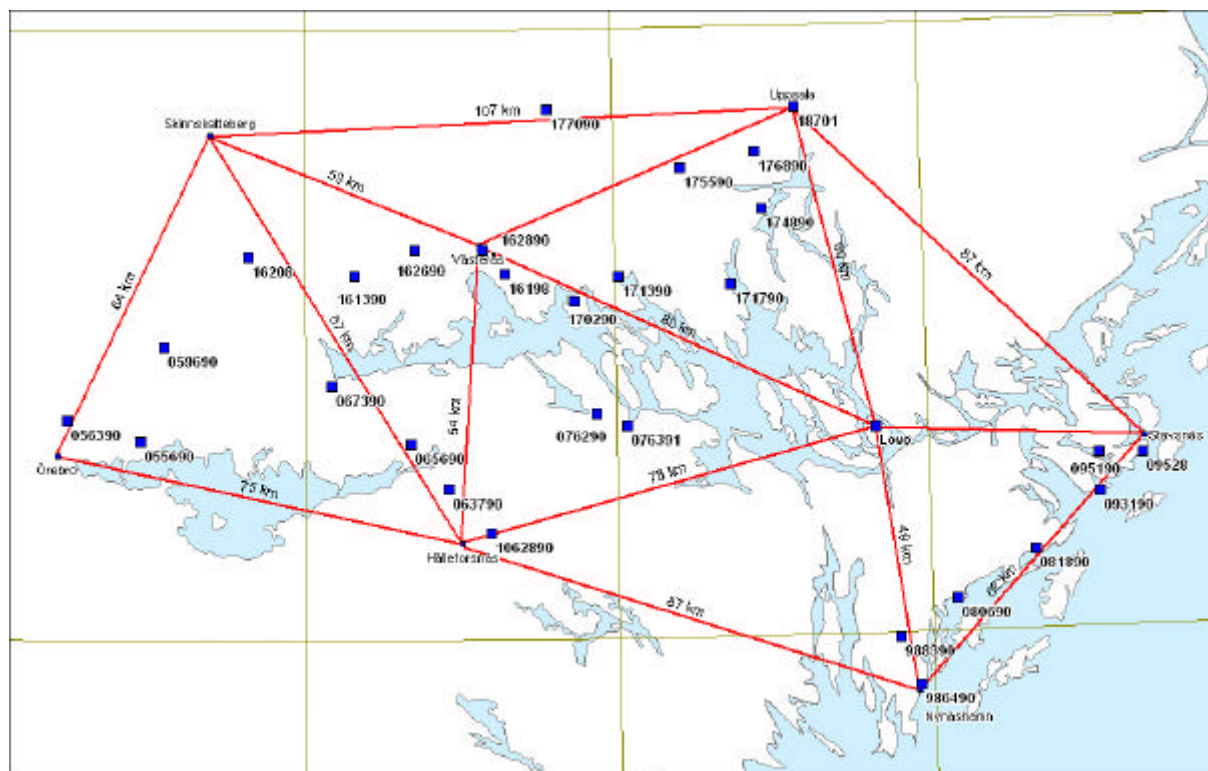


Bild 6 Testpunkternas placering i trianglarna

Testpunkterna blev därmed spridda med utgångspunkt från en referensstation och in mot tyngdpunkten av trianglarna. I vissa fall var det svårt att finna lämpliga punkter och det blev därför lite annorlunda placering av punkterna. Alla testgrupper hade dessutom någon eller några punkter gemensamma med någon annan grupp dels för att begränsa antalet mätpunkter och underlätta analysarbetet men även för att få en kontroll mellan grupperna. Testerna skulle dessutom ge information om eventuella tekniska problem med Nätverks-RTK, mätgrupperna fick därför bl.a. notera tid till fixlösning för att det skulle gå att bedöma användarvänligheten.

Mottagarfabrikat som var med i testet var Ashtech Z-Surveyor, Geotracer 3200, Leica 530, Topcon Legacy och Trimble 4700 resp.5700. De flesta av de GSM-modem som användes i testet var inlånade från instrumentleverantörerna, men några kom också från Lantmäteriet. Generellt kan man säga att instrumentleverantörernas egna GSM-modem lösningar var både mer användarvänliga och fältmässiga än de tidiga prototypmodem som Lantmäteriet hade köpt in hösten 2000.

För att underlätta igångsättningen av testmätningarna samlades alla mätlag i Uppsala vid Observatoriet på Stora Hällby för att tillsammans gå igenom mätrutiner, önskat format på redovisat resultat samt testa de utrustningar som sedan skulle användas under testmätningarna. De flesta utrustningar var ganska lätta att få att fungera medan ett par utrustningar fick startas upp någon dag senare bland annat pga. fel firmware i mottagare. Dagen i Uppsala visade sig dock vara väl investerad tid då testmätningarna i projektet har flutit bra och det har varit väldigt få problem med utrustningar under själva testmätningensperioden. Resultaten levererades in till projektledaren i det önskade formatet vilket har underlättat analysarbetet avsevärt.

Bild 7. Från Stora Hällby



7.1 Tillvägagångssätt testmätning

Alla mätgrupper gjorde två till fyra mätserier per punkt där en mätserie motsvarar tio mätningar. Varje mätning består av en medelvärdesbildning av 30 sekunders mätning. Alla mätgrupper följde den nedan beskrivna proceduren vid testmätningarna för att det efter testperiodens slut skulle gå bra att analysera alla mätresultat på ett likvärdigt sätt. Hur de olika mottagarfabrikaten hanterar en ominitialisering har dock inte analyserats djupare, ett par fabriker startades dessutom om helt och hållet inför varje mätning pga. att det var svårt att göra en ominitialisering av mottagaren. Under testmätningarna förde alla grupper protokoll för varje mätning där man noterade initialiseringstid, kvalitetstal, antal satelliter på bas/rover/gemensamt, PDOP eller motsvarande, kvalitet på GSM länk och ålder på referensstationsdata.

Upprepade mätningar i en mätserie

Ställ upp stativ med antenn över mätpunkten. Starta GPS-mottagaren och koppla upp GSM-länken. Kontrollera att allt fungerar. Låt GSM-länken vara uppkopplad hela tiden.

För varje mätserie utförs sedan 10 mätningar enligt följande procedur:

- 1 - GPS-mottagaren ominitialiseras.
 - 2 - Invänta fixlösning och notera tid till fix.
 - 3 - Notera eventuellt kvalitetstal (sigmavärde) vid fix.
 - 4 - Notera antal satelliter på rover/bas/gemensamt vid fix.
 - 5 - Notera PDOP vid fix.
 - 6 - Notera kvalitetstal för GSM-länk och ålder på referensstationsdata.
 - 7 - Logga RTK-data en gång i sekunden under 30 sekunder.
 - 8 - Ev, anmärkningar görs nedtill på bladet
- Upprepa sekvens 1 - 8

Eftersom Nätverks-RTK programmet arbetar i SWEREF 93 så lagrades även mätresultaten i SWEREF 93 för att undvika de fel som uppstår vid transformation till annat system. Resultat och mätprotokoll skickades sedan in till projektledaren för genomgång och analys.

8 Resultat

Under testperioden gjordes ungefär 1000 mätningar på kända punkter, SWEREF-punkter. Alla mätningar har sammanställts på ett antal översiktliga sätt. Mätningarna har dessutom sammanställts på ett mer detaljerat sätt för varje enskild grupp och punkt. Sammanställningarna är redovisade på följande sätt;

- resultat för alla mätningar totalt i projektet.
- resultat med avseende på avstånd från närmsta referensstation.
- resultat med avseende på vilken triangel som mätningarna har utförts i.
- jämförelse mellan olika fabrikat.
- detaljerad sammanställning.

8.1 Resultat för alla mätningar totalt i projektet.

För varje mätning har avvikelsen mellan erhållet värde på positionen och det kända värdet i SWEREF 93 beräknats. För att få ett översiktligt resultat är alla dessa differenser redovisade i två olika typer av diagram. I det första diagrammet är mätningarna redovisade med avseende på avståndet från närmsta referensstation. I det andra diagrammet är mätningarna sorterade från minsta till största avvikelse från det sanna värdet efter en procentuell skala (0-100%) och med linjer som markerar 67 och 95% i diagrammet. Diagrammen har tagits fram för avvikelse i plan, höjd samt initialiseringstid för alla mätningar i projektet, se bilaga 1-3.

Ur diagrammen fås följande största avvikelser mellan mätta och kända värden för 95 % av mätningarna (2 sigma nivån):

Största avvikelse i plan för 95% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i plan för alla mätningar (mm) då "orimliga värden" är bortplockade	Största avvikelse i höjd för 95% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i höjd för alla mätningar (mm) då "orimliga värden" är bortplockade	Antal "orimliga värden"	Längsta initialiseringstid för 95% av alla mätningar. (minuter:sekunder)
37	154	91	370	20	3:30

I geodetiska sammanhang anges ofta största avvikelsen i 67 % av mätningarna (1 sigma nivån). Ur diagrammen fås följande största avvikelser mellan mätta och kända värden för 67 % av mätningarna (1 sigma nivån):

Största avvikelse i plan för 67% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i höjd för 67% av alla mätningar (mm)	Längsta initialiseringstid för 67% av alla mätningar. (minuter:sekunder)
16	32	0:20

8.2 Resultat med avseende på avstånd från närmsta referensstation

För att på ett översiktligt sätt se hur noggrannheten i plan och höjd påverkas av avståndet till närmsta referensstation så har alla mätningar sorterats in i avståndintervall från närmsta referensstation. Mätningarna är sorterade i fem olika intervall, 0-7 km, 9-15 km, 18-24 km, 26-29 km och 34-37 km från närmsta referensstation. Motsvarande sammanställning är även framtagen för initialiseringstiderna.

Se appendix A

Ur diagrammen fås följande största avvikelser mellan mätta och kända värden för 95 % av mätningarna (2 sigma nivån);

Avstånd till närmsta referensstation (km)	Största avvikelse i plan för 95% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i plan för alla mätningar (mm) då "orimliga värden" är bortplockade	Största avvikelse i höjd för 95% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i höjd för alla mätningar (mm) då "orimliga värden" är bortplockade	Antal "orimliga värden"	Längsta initialiseringstid för 95% av alla mätningar. (minuter:sekunder)
0-7	17	149	34	325	1	0:33
9-15	30	76	65	110	0	1:57
18-24	40	154	84	310	10	6:12
26-29	42	148	108	168	2	4:21
34-37	46	73	116	370	7	5:45

Ur diagrammen fås följande största avvikelser mellan mätta och kända värden för 67 % av mätningarna (1 sigma nivån):

Avstånd till närmsta referensstation (km)	Största avvikelse i plan för 67% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i höjd för 67% av alla mätningar (mm)	Längsta initialiseringstid för 67% av alla mätningar. (minuter:sekunder)
0-7	9	23	0:14
9-15	14	34	0:20
18-24	22	34	0:34
26-29	26	61	0:22
34-37	26	46	0:40

8.3 Resultat med avseende på vilken triangel som mätningarna utförts i

För att på ett översiktligt sätt se hur storleken på trianglarna påverkar noggrannheten har mätningarna sorterats in efter respektive triangel. I det här fallet så jämfördes endast den minsta triangeln Lovö-Stavsnäs-Nynäshamn med de två största trianglarna Orebro-Skinnskatteberg-Hälleforsnäs och Skinnskatteberg-Västerås-Hälleforsnäs.

Se bilaga 4-6.

Ur diagrammen fås följande största avvikelser mellan mätta och kända värden för 95 % av mätningarna (2 sigma nivån);

Triangel	Största avvikelse i plan för 95% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i höjd för 95% av alla mätningar (mm)	Längsta initialiseringstid för 95% av alla mätningar. (minuter:sekunder)
Lov-Sta-Nyn	36	78	1:45
Ore-Ski-Hal Ski-Vas-Hal	36	77	4:00

8.4 Jämförelse mellan olika fabrikat av GPS-mottagare

Fem olika fabrikat av GPS-mottagare deltog i testet och en jämförelse har gjorts mellan tre av de fem olika fabrikaten. Två fabrikat är ej med i jämförelsen eftersom de fabrikaten bara var representerade med en utrustning vilket ger ett för litet underlag för en rättvis jämförelse. Initialiseringstiderna har inte jämförts pga. att ominitialiseringen av mottagarna gjordes på lite olika sätt beroende på fabrikat.

Se bilaga 7-8 och Appendix A

Ett utdrag från diagrammen ger följande resultat;

Fabrikat	Största avvikelse i plan för 95% av alla mätningar (mm)	Största avvikelse i höjd för 95% av alla mätningar (mm)
Ashtech	37	74
Leica	37	104
Trimble	28	59

8.5 Detaljerad sammanställning av resultat.

En detaljerade sammanställningar har tagits fram för att noggrannare kunna studera resultaten för varje enskild mätserie som mätgrupperna har mätt, se appendix A. För varje mätgrupp och testpunkt har ett blad sammanställts där avvikelserna i plan och höjd plottats i två olika diagram. Varje mätserie har dessutom sammanställts i en tabell där mätvärdenas medelvärde, standardavvikelse och noggrannhet har redovisats i Latitud, Longitud samt Höjd över ellipsoiden.

På bladet redovisas;

- i vilken triangel som mätningarna har utförts och avstånd till närmsta referensstation.
- start tid och slut tid för mätserien

I varje tabell redovisas;

- vilken mätserie och över vilken punkt som mätningarna är gjorda.
- **Medelvärde diff** = differensen mellan medelvärde och sant värde

$$= \sum x/n$$

- **Standardavvikelsen för en differens** = Ett skattat medelfel som anger spridningen kring mätseriens medelvärde eller tyngdpunkt.

$$= \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

- **Standardavvikelsen för medelvärde** = Ett skattat medelfel för medelvärdet

$$= \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2(n-1)}}$$

- **Noggrannhet** = Ett teoretiskt skattat medelfel som anger mätningarnas spridning kring det "sanna" värdet.

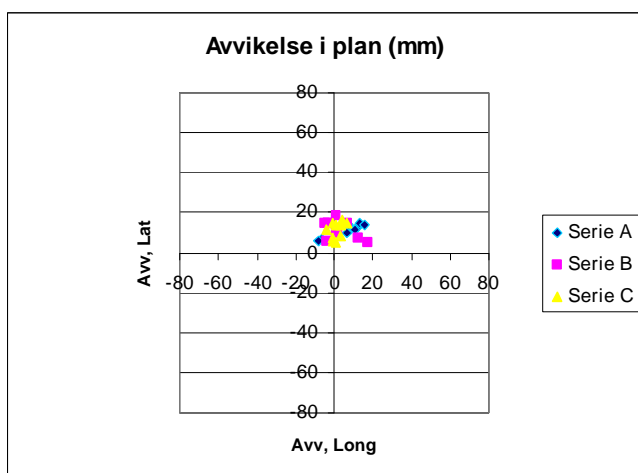
$$= \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}$$

I alla formler är x skillnaden mellan sant och mätt värde, och n antalet mätningar.

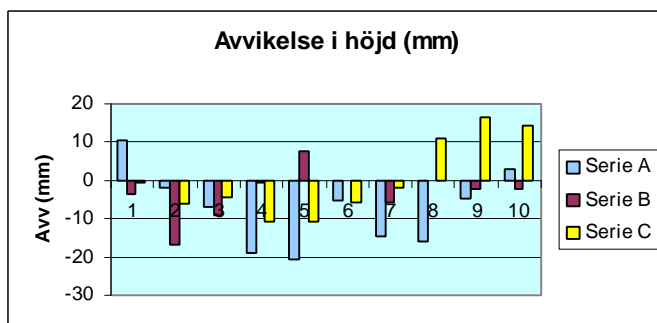
8.5.1 Exempel på detaljerad sammanställning;

Resultat från testmätning i projekt "position Stockholm-Mälaren"				
Triangel "Vas-Upp-Lov"				
Avstånd till närmsta referensstation 7 km				
Start tid:		01-02-27/ 14:00		
Slut tid:		01-02-27/ 14:20		
Serie A	Medelvärde	Std. avv. för	Std. avv. för	Noggrannhet
Punkt 116198	diff. (mm)	en differens	medelvärde	
Lat	-3	7,2	2,3	7,4
Long	-15	4,9	1,6	15,5
h	-11	7,6	2,4	13,1
Start tid:		01-02-27/ 14:30		
Slut tid:		01-02-27/ 15:00		
Serie B	Medelvärde	Std. Avv. för	Std. avv. för	Noggrannhet
Punkt 116198	diff. (mm)	en differens	medelvärde	
Lat	1	3,2	1,0	3,3
Long	-5	5,1	1,6	7,3
h	-13	2,6	0,8	12,9

I diagrammet nedan redovisas avvikelser i plan i förhållande till det sanna värdet som befinner sig i origo.



I diagrammet nedan redovisas avvikelser i höjd i förhållande till det sanna värdet.



8.6 Praktiska erfarenheter från testmätningarna

Överlag har mätgrupperna rapporterat att det gått bra att mäta och funktionaliteten har varit bra. Det har dock ibland uppstått problem som verkar bero på GSM-länken, dels att det helt enkelt varit dålig täckning på vissa platser men även att "bandbredden" inte har räckt till. En grupp redovisade att det på samma punkt gått väldigt bra på förmiddagen och inte alls på eftermiddagen pga. dålig GSM-länk. En del grupper upplevde även att resultatet verkade försämrats med avståndet från referensstationen och en grupp upplevde stora svårigheter att få fixlösning på speciellt en av de tilldelade punkterna.

Uppsala gruppen utförde även en nattmätning den 29 mars där de av någon anledning hade stora problem att få fixlösning. Nattmätning borde normalt gå lättare eftersom jonosfären är lugnare under natten, undersökningar av Onsala Rymdobservatorium/ Sveriges Provnings och Forskningsinstitut (SP) har dock visat att det har varit ovanligt stor jonosfärsaktivitet även nattetid under hela testperioden och speciell runt den 29 mars vilket kanske kan förklara deras problem.

Ett par grupper har även utfört lite egna mer produktionsinriktade testmätningar och även gjort jämförelser mot Enstations-RTK. Fler sådana tester skulle dock behövas för att dra någon riktigt bra slutsats om skillnaden mellan de olika metoderna, men resultatet från dessa första inledande produktionstester visar att Nätverks-RTK verkar vara mer stabil och fungera bättre än Enstations-RTK speciellt på de lite längre avstånden.

Generellt så har mätningarna fungerat bra och alla mätag har redovisat mätresultat från sina punkter.

9 Utvärdering

Enligt specifikationen för nätverksprogramvaran GPS Network kan man enligt tester i Tyskland förvänta sig nedanstående resultat om man ej har längre avstånd mellan referensstationerna än 70 km.

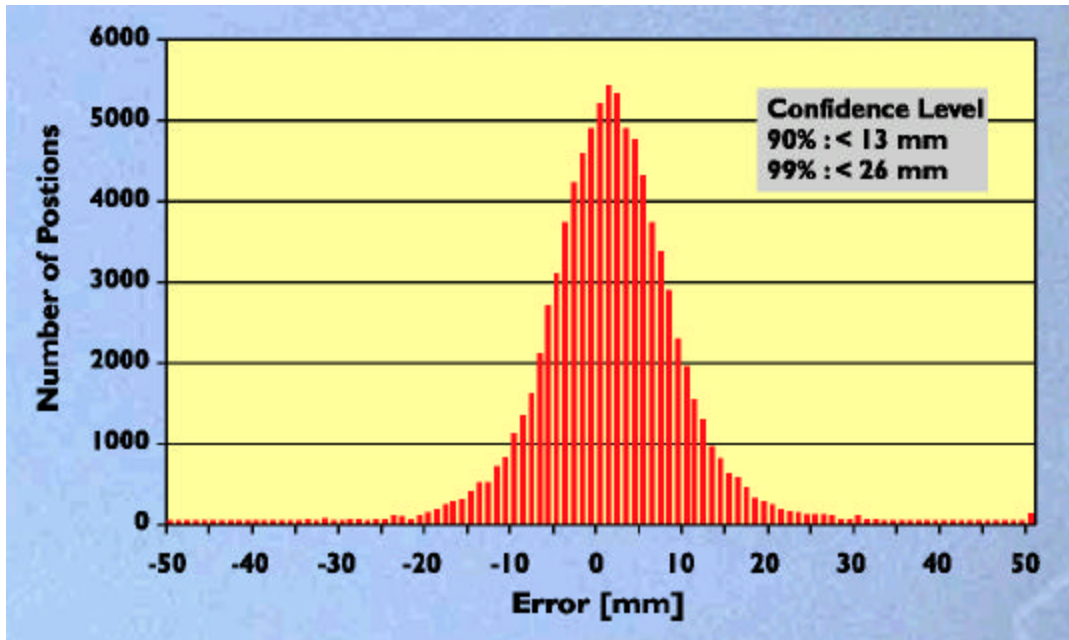


Bild 8, Avvikelse plan i nord-sydlig riktning.

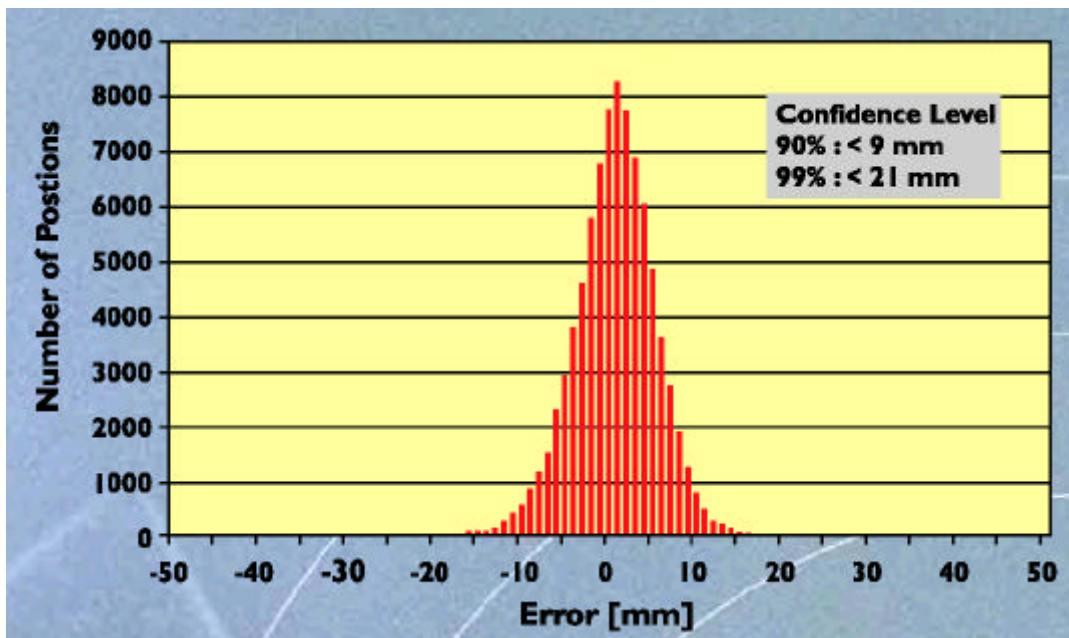


Bild 9, Avvikelse plan i öst-västlig riktning.

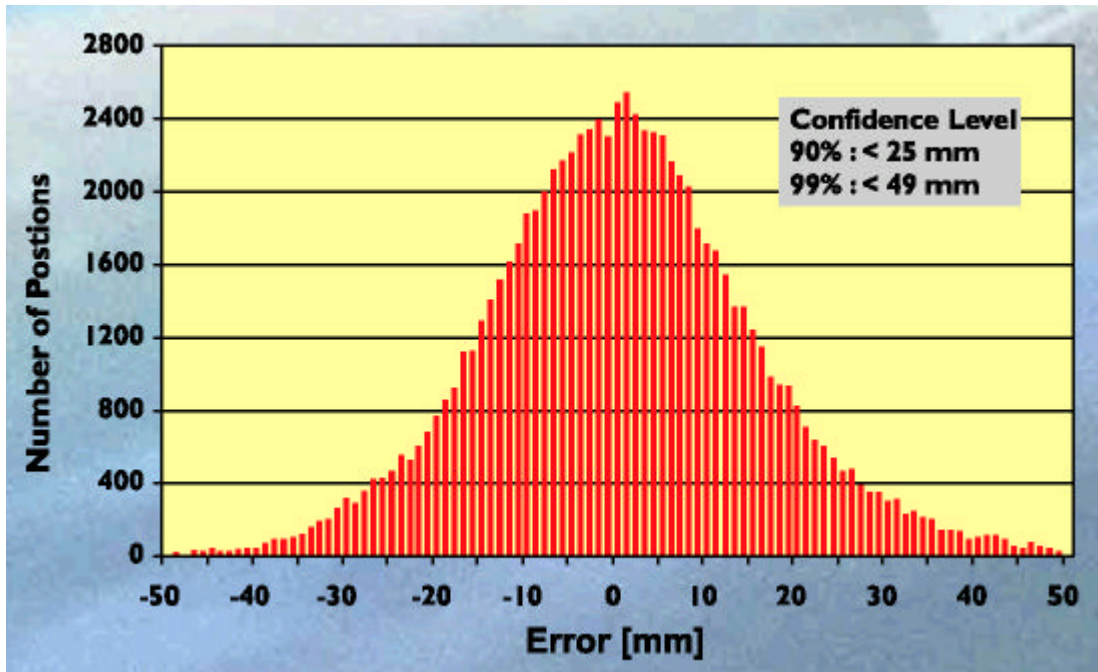


Bild 10, Avvikelse i höjd.

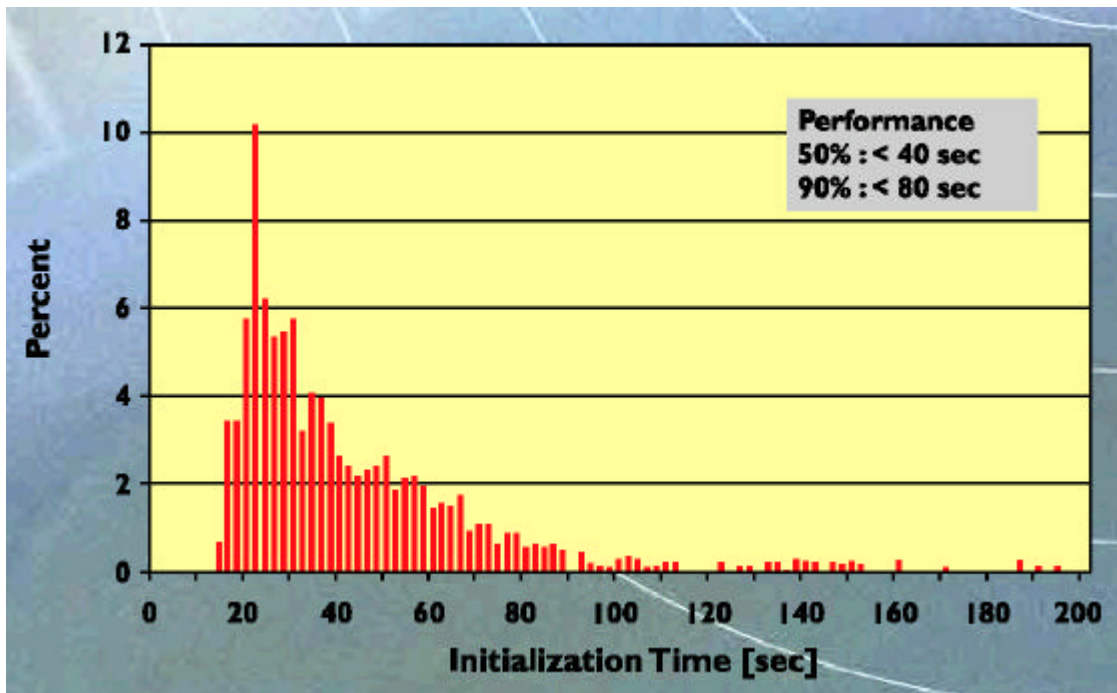


Bild 11, Initialiseringstid.

Bild 8-11 hämtad från Spectra Precision Terrasats GPS Reference Station Networks broschyr

För att kunna jämföra resultatet från mätningarna i projekt Stockholm – Mälaren med specifikationen för den Nätverks-RTK programvara som använts beräknas värdena för konfidensintervallen 90 and 99% för avvikelserna mellan de mätta och kända positionerna i testmätningarna..

Följande värden erhålls för avvikelserna mellan mätt och känd position för alla mätningarna:

Avvikelse i plan mellan mätt och känd position (mm)				Avvikelse i höjd mellan mätt och känd position (mm)			
Konfidensinterv 90 %		Konfidensinterv 99 %		Konfidensinterv 90 %		Konfidensinterv 99 %	
Testmät.	Spec.	Testmät.	Spec.	Testmät.	Spec.	Testmät.	Spec.
Alla mätningar							
30	16	61	33	68	25	160	49
Triangeln Stavsnäs – Nynäshamn –Lovö							
32	16	55	33	67	25	115	49

För initialiseringstiden erhålls följande värden:

Längsta initialiseringstid (min:sek)			
50 % av mätningarna		90 % av mätningarna	
Testmät.	Spec.	Testmät.	Spec.
Alla mätningar			
0:14	0:40	1:30	1:20
Triangeln Stavsnäs – Nynäshamn –Lovö			
0:13	0:40	0:35	1:20

Noggrannheten i den horisontella positionen och i höjd är i vårt fall lägre än den som erhållits vid testerna i Tyskland. Från redovisningen av mätningarna på de enskilda punkterna framgår att repeterbarheten varierar, någon sammanställning av repeterbarheten har ännu inte gjorts. Initialiseringstiderna är i vårt projekt i nivå med de som redovisas från testerna i Tyskland.

En förklaring till de långa initialiseringstiderna då 95 % av mätningarna beaktas kan vara att vi väntat tills initialiseringen slutförts oberoende av hur lång tid detta tagit. Vid produktionsmätning gör man vid ”misslyckad” initialisering förmodligen en omstart av initialiseringen efter ett par minuter, vilket totalt borde förkorta initialiseringstiderna.

Det går inte att dra några generella slutsatser om positionsnoggrannheten vid jämförelsen av avvikelser från trianglar med korta resp. långa avstånd mellan referensstationerna, däremot så ser man att initialiseringstiderna är avsevärt mycket kortare i triangeln med korta avstånd mellan referensstationerna. Resultaten indikerar att det bör undersökas hur programvaran i GPS-mottagarna på ett optimalt sätt skall kunna ta hand om de korrigerade RTK-data, som fås från Nätverks-RTK programmet, bl. a. bör GPS-mottagaren använda båda GPS-frekvenserna vid RTK-beräkningen, vilket inte sker hos alla tillverkare idag,

Resultatet visar också att det trots modellering av jonosfär och troposfär fortfarande förekommer ett svagt avståndsberoende till närmsta referensstation i positionsnoggrannheten. Avvikelsena från det sanna värdet i både plan och höjd ökar något med avståndet från närmsta referensstation. En orsak till detta kan vara att programmet har svårt att fullt ut modellera variationen i jonosfären och troposfären mellan referensstationerna och den punkt där mätningen sker. En annan orsak kan vara den ovan diskuterade RTK-beräkningen i GPS-mottagaren. För att förbättra resultaten har vi efter diskussioner med tillverkaren av programvaran för Nätverks-RTK fått rekommendationen att så långt som möjligt ej ha längre avstånd mellan referensstationerna än 70 km.

Det är idag inte klarlagt hur stor del av de ”orimliga värdena” (outliers) som kan upptäckas direkt vid fältmätningen. En visst samband mellan långa initialiseringstider och orimliga värden har dock konstaterats. Ytterligare studier av möjligheten att upptäcka orimliga värden vid RTK-mätning sker i ett examensarbete som genomförs under sommaren/hösten 2001 på Lantmäteriverket.

Onsala Rymdobservatorium/Sveriges Provnings och Forskningsinstitut (SP) har jämfört jonosfärsaktiviteten för testveckorna med resultaten från mätningarna, men kan inte se något klart samband mellan hög jonosfärsaktivitet och dåliga resultat. De skriver ”residualerna är överraskande stora nattetid i hela perioden, inte minst natten till 29 mars, då Uppsala-folket mätte. Hela vecka 13 var jonosfären antingen intensiv eller oregelbunden och här har vi ganska många outliers och långa fixtider. Kanske att man också kan säga att jonosfären var ’snäll’ vecka 10, och att det var relativt få stora ’outliers’ här, men i det stora hela ser jag inget ’jätte-klart’ samband mellan dåliga mätningar eller långa fixtider och jonosfärsaktiviteten.”

En del grupper upplevde även att det låg en begränsning i GSM-länken, dels i den bristande täckningen på landsbygden men även i begränsad ”bandbredd” under vissa tider på dygnet. Det går dock ej att se något samband mellan dålig GSM-länk och dåliga mätresultat. Man kan nog snarare dra slutsatsen att det tar längre tid att få fixlösning och det blir lättare att tappa en fixlösning när GSM-länken är dålig. En erfarenhet från detta är att det är mycket viktigt att man kan se kvalitén på data-länken i instrumentet oavsett om det är GSM eller någon annan distributionskanal som används.

Jämförelsen mellan resultaten från olika fabrikat av GPS-mottagare indikerar att problematiken vid användning av olika antenner för referensstation och rover bör studeras mycket grundligt. Hur hanteras antenmodeller i de olika fabrikaten av GPS-mottagare då både L1- och L2-mätningar används. Hur är antennens elektriska centrum fysiskt markerad på antennen för att få rätt antennhöjd vid GPS-mätning?

10 Slutsatser

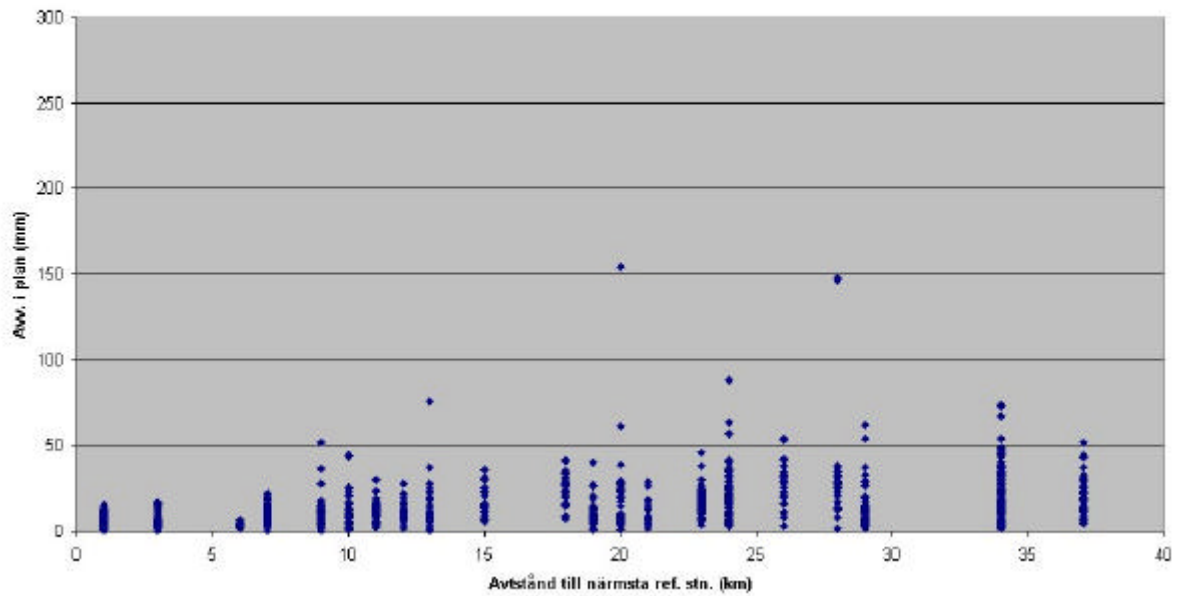
Testmätningarna har visat att Nätverksprogramvaran GPS-Network tillsammans med SWEPOS-nätet och GSM som datalänk är verktyg som idag kan användas för detaljmätning under produktionsförhållanden där noggrannhetskraven i den horisontella positionen ej är högre än 0,04 m (95 %) och GSM-täckning finns. Trots modellering av jonosfär och troposfär finns det indikationer på ett visst avståndsberoende från närmsta referensstation. Enligt programtillverkaren bör en justering av nuvarande nätkonfiguration till maximalt 70 km mellan stationerna göras för att få högre noggrannhet genom en bättre fungerande atmosfärmodellering i trianglarna. Vidare bör hanteringen i de olika fabrikaten av GPS-mottagare av de RTK-korrektioner som levereras från Nätverks-RTK programvaran och av olika antenner på referensstation och rover undersökas grundligt. Initialiseringstiden ser lovande ut och man bör även ha i åtanke att vi just nu befinner oss i en period av stor solaktivitet vilket försvårar den här typen av mätningar.

Datalänken för överföring av data från Nätverksprogrammet till mottagarna i fält har ibland upplevts som en svag länk, det är dock svårt att se något samband mellan dålig GSM-länk och dåliga resultat. DARC och radiomodem som alternativ till GSM kommer att finnas tillgängligt i framtiden.

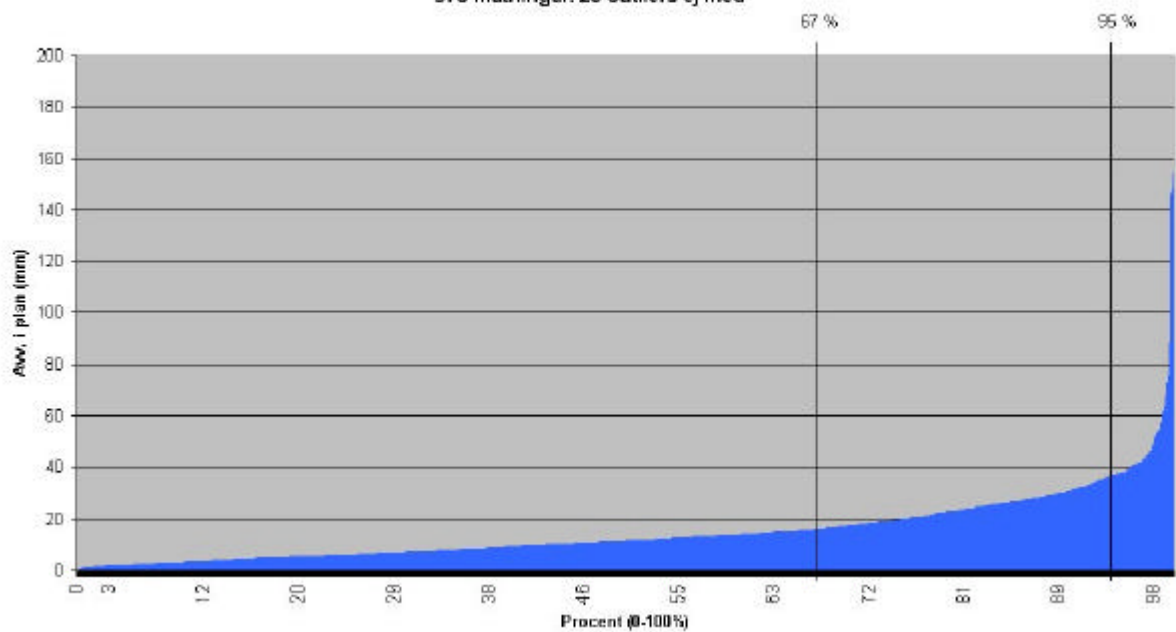
Resultatet ser totalt sett lovande ut men om ett produktionsnät ska etableras så bör det dock göras med en modifierad nätkonfiguration där avstånden mellan stationerna så långt som möjligt blir maximalt 70 km. På vägen mot en ”färdig” positioneringstjänst för produktionsmätning erfordras ytterligare produktionsmätningar med en prototypjänst.

Bilaga 1

Avvikelse i plan (mm)
Skillnad i förhållande till närmsta referensstation
970 mätningar. 20 outliers ej med

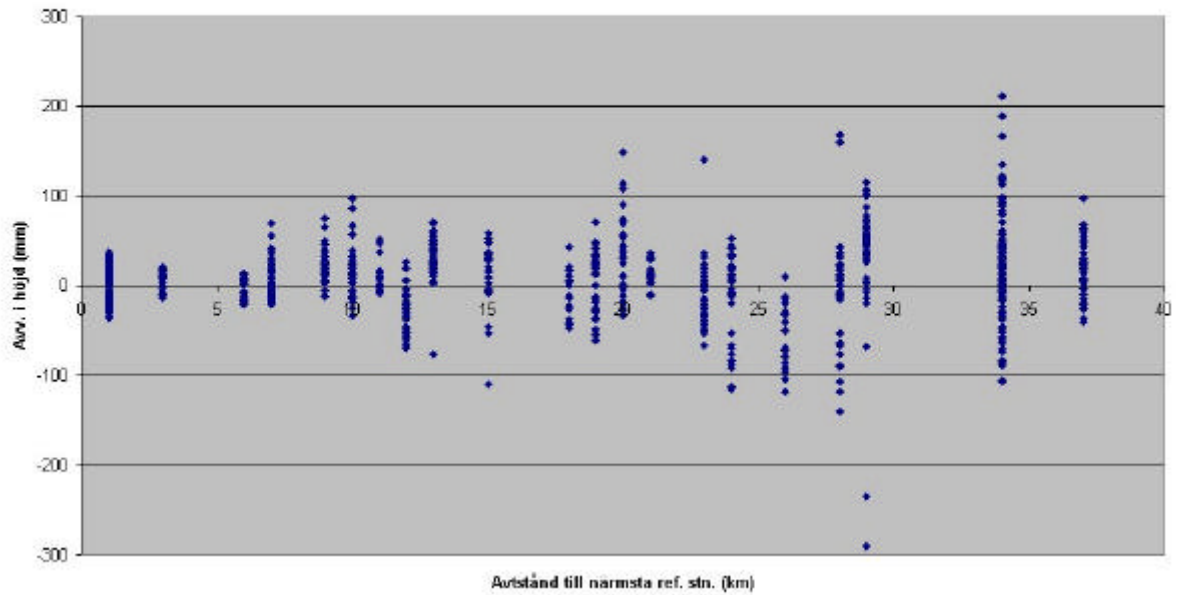


Avvikelse i plan (mm)
Mätningarna sorterade från minsta till största avvikelse
970 mätningar. 20 outliers ej med

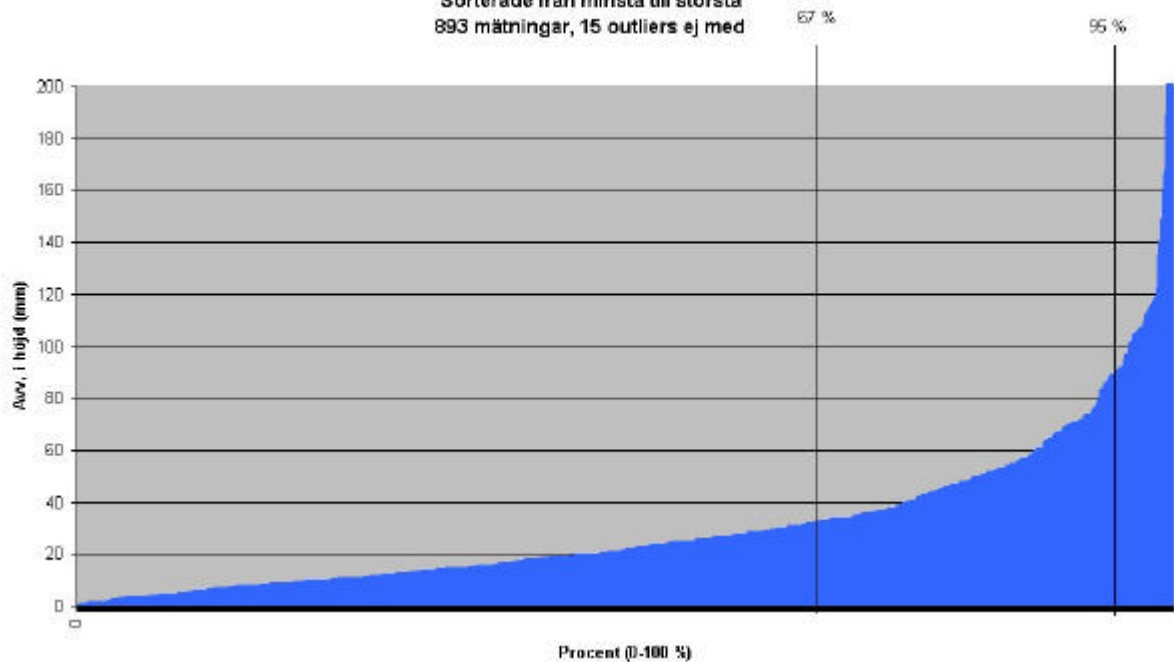


Bilaga 2

Avvikelse i höjd (mm)
Skillnad i förhållande till närmsta referensstation
893 mätningar. 15 outliers ej med

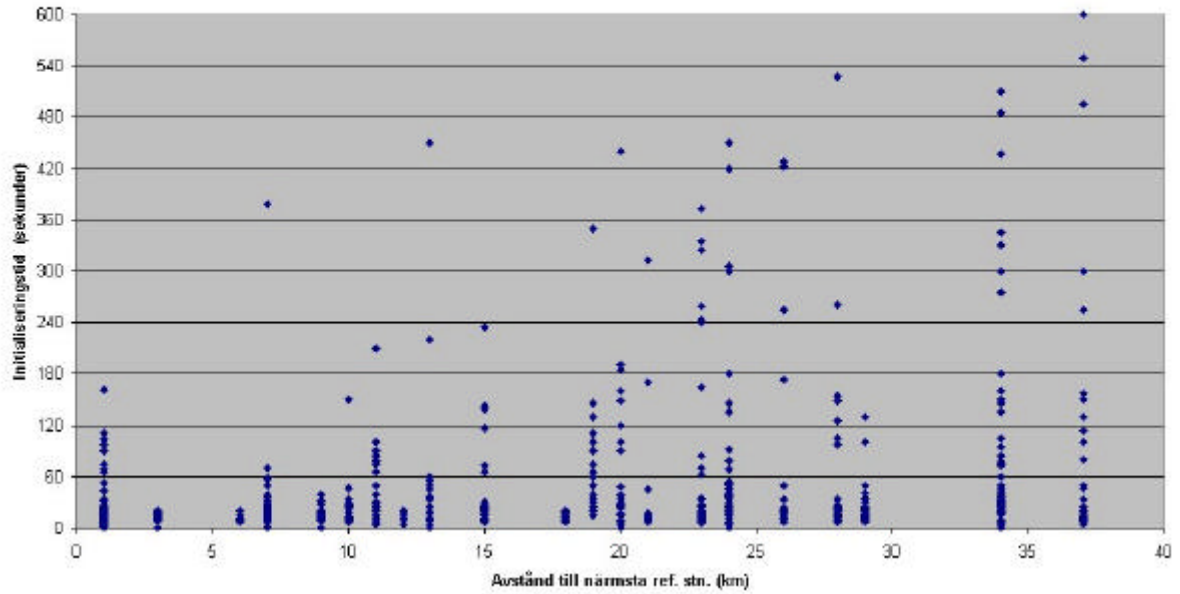


Avvikelse i höjd (mm)
Sorterade från minsta till största
893 mätningar, 15 outliers ej med

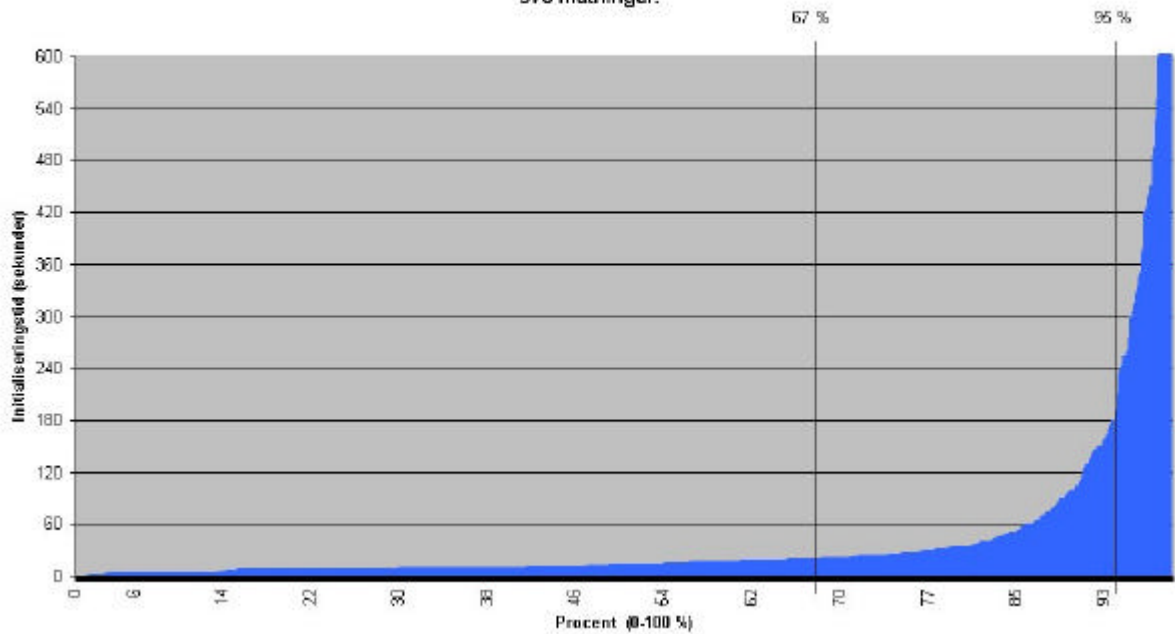


Bilaga 3

Initialiseringstid (sekunder)
Skillnad i förhållande till närmsta referensstation
970 mätningar.

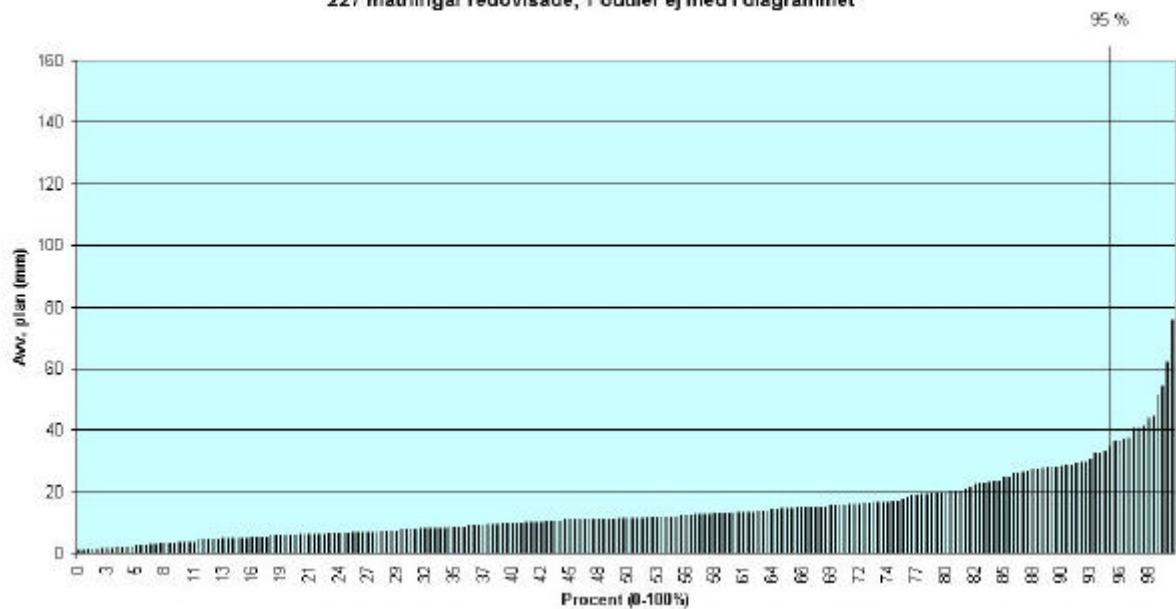


Initialiseringstid (sekunder)
Sorterade från snabbaste till långsammaste
970 mätningar.

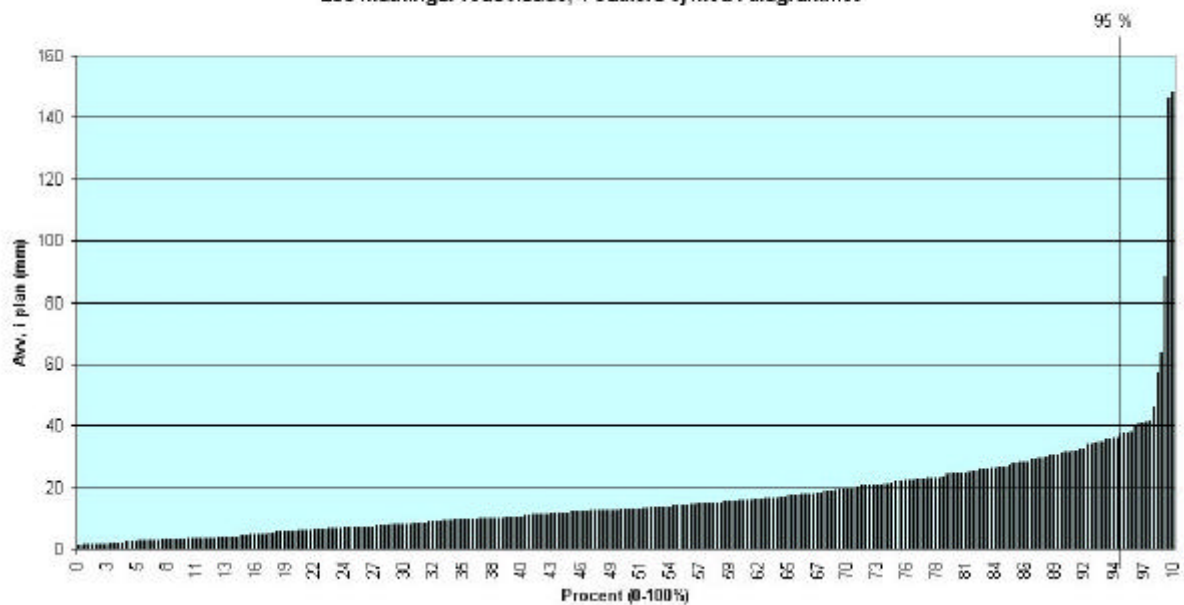


Bilaga 4

Radiell avvikelse i plan (mm)
Alla mätningar i triangel "Lov-Sta-Nyn"
Mätpunkternas avstånd från närmsta referensstation; 0-29 km
227 mätningar redovisade, 1 outlier ej med i diagrammet

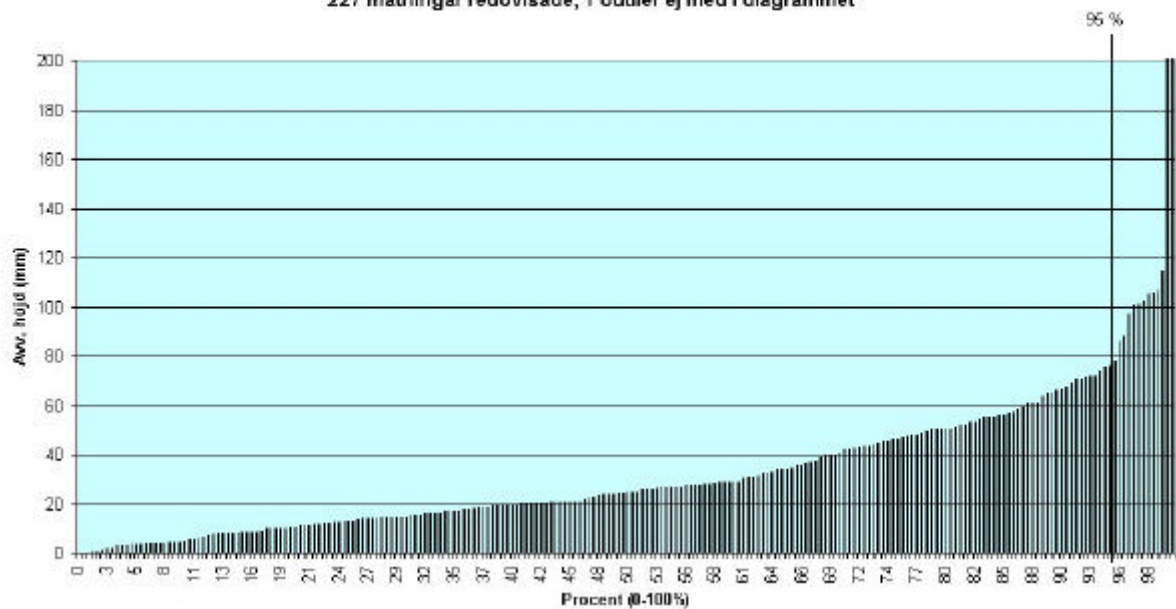


Radiell avvikelse i plan (mm)
Alla mätningar i triangel "Ore-Ski-Hal" och "Ski-Vas-Hal"
Mätpunkternas avstånd från närmsta referensstation; 0-37 km
296 mätningar redovisade, 4 outliers ej med i diagrammet

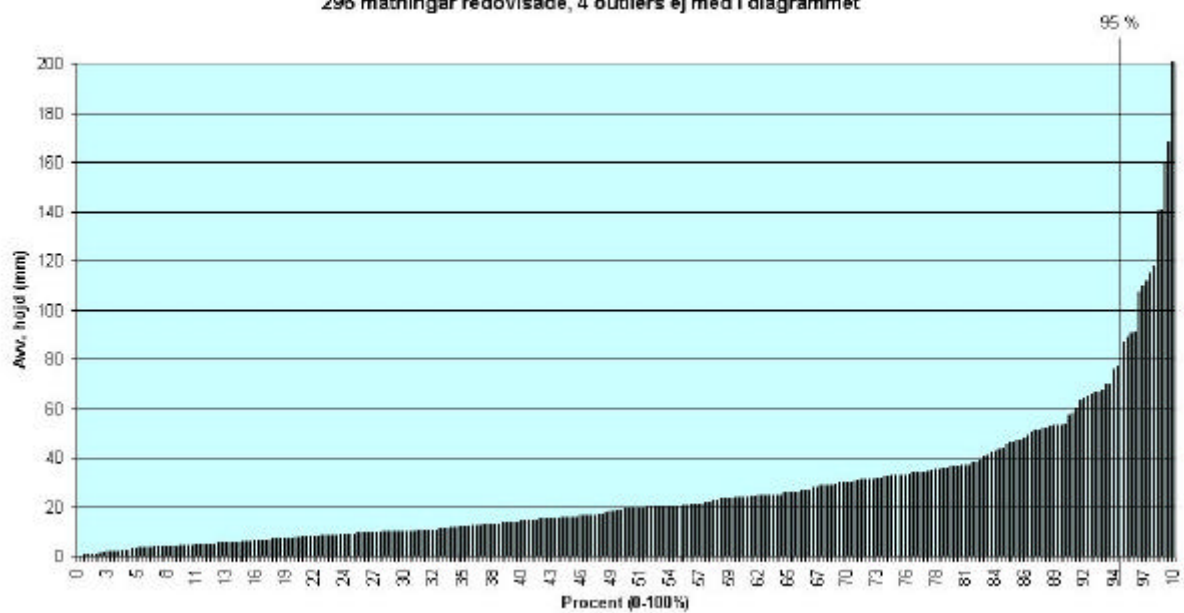


Bilaga 5

Avvikelse i höjd (mm)
Alla mätningar i triangel "Lov-Sta-Nyn"
Mätpunkternas avstånd från närmsta referensstation; 0-29 km
227 mätningar redovisade, 1 outlier ej med i diagrammet

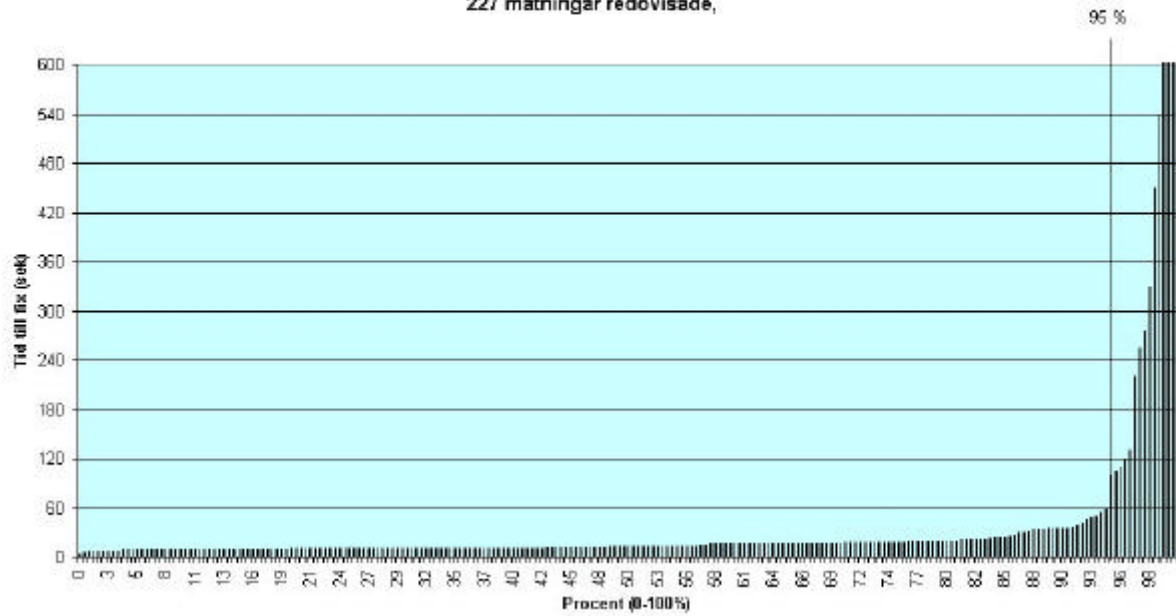


Avvikelse i höjd (mm)
Alla mätningar i triangel "Ore-Ski-Hal" och "Ski-Vas-Hal"
Mätpunkternas avstånd från närmsta referensstation; 0-37 km
296 mätningar redovisade, 4 outliers ej med i diagrammet

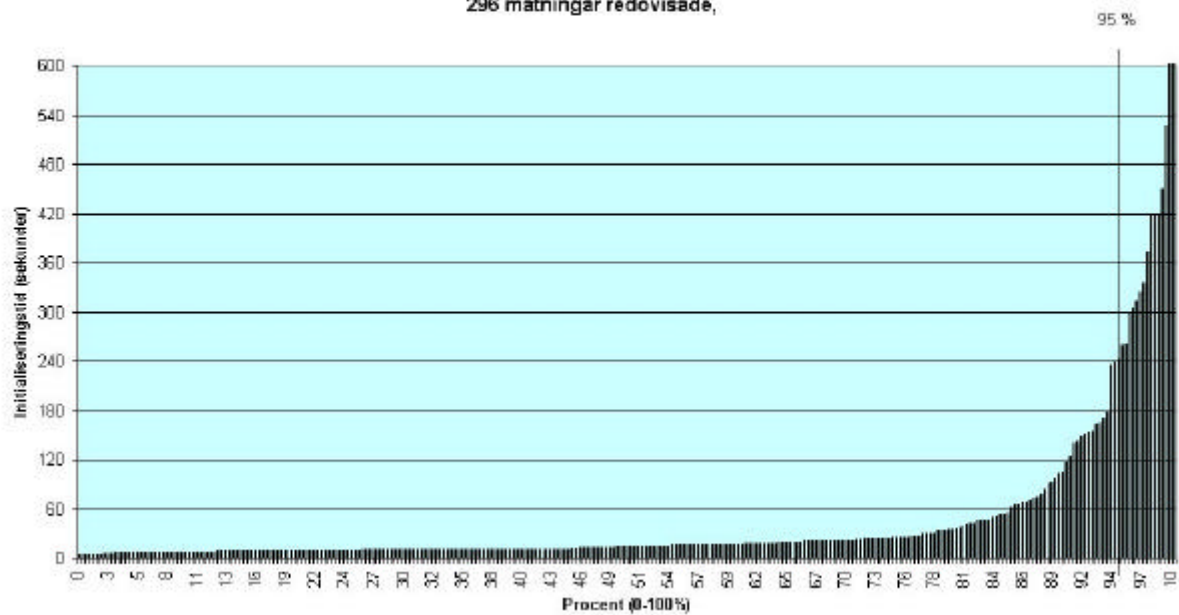


Bilaga 6

Initialiseringstid (sekunder)
Alla mätningar i triangel "Lov-Sta-Nyn"
Mätpunkternas avstånd från närmsta referensstation; 0-29 km
227 mätningar redovisade,

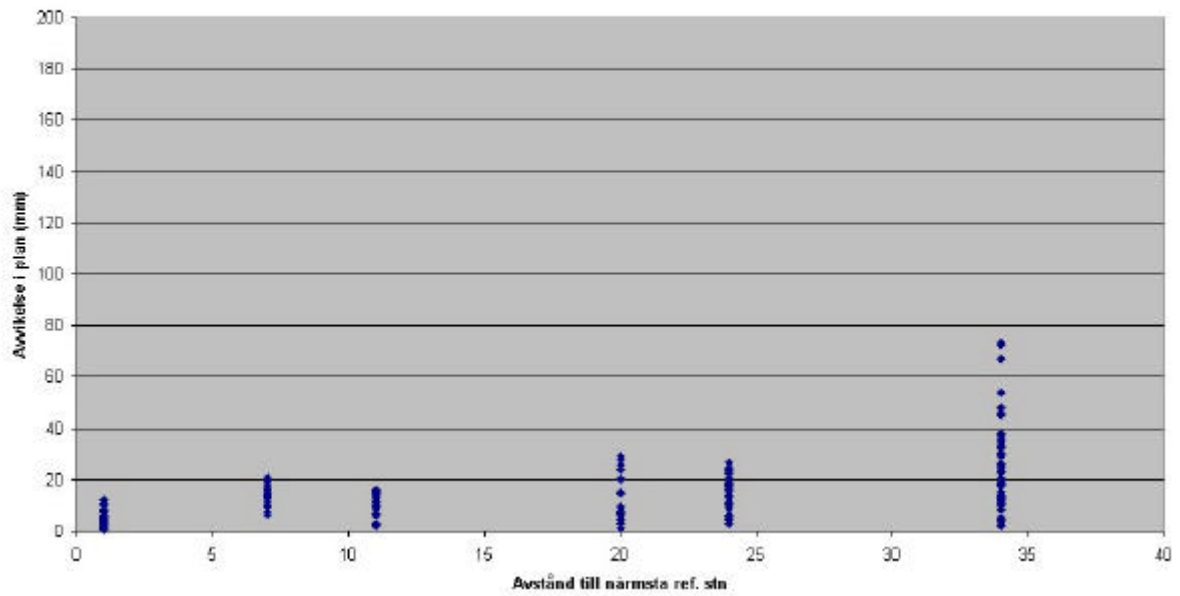


Initialiseringstid (sekunder)
Alla mätningar i triangel "Ore-Ski-Hal" och "Ski-Vas-Hal"
Mätpunkternas avstånd från närmsta referensstation; 0-37 km
296 mätningar redovisade,

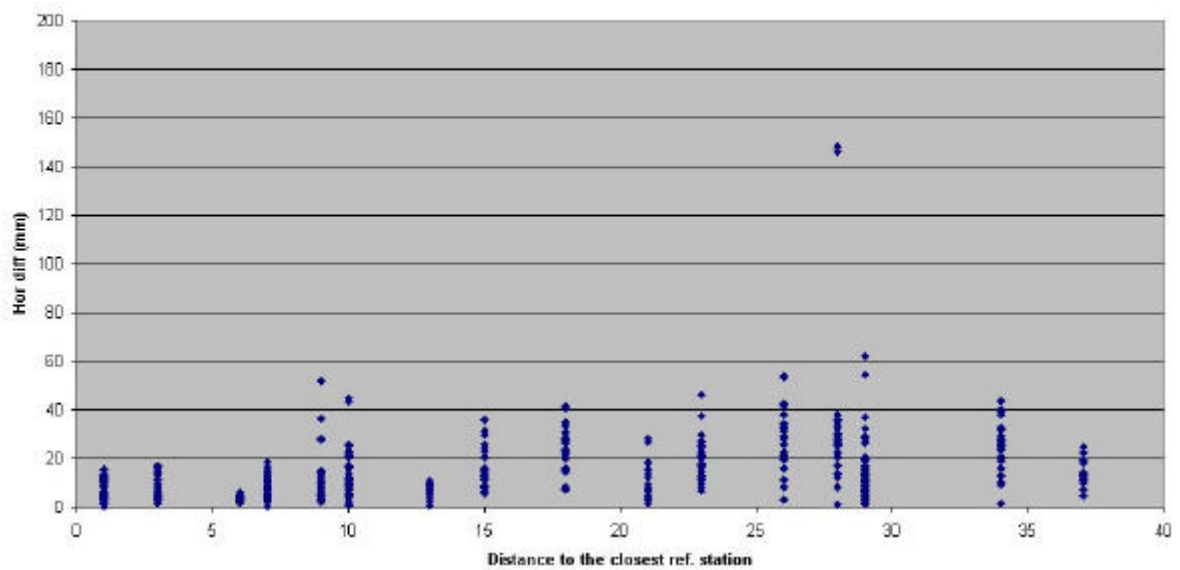


Bilaga 7

Avvikelse i plan (mm)
GPS-utrustning: Ashtech Z-Surveyor
Avvikelse i förhållande till avstånd till referensstation
185 mätningar



Avvikelse i plan (mm)
GPS-utrustning: Leica 530
Avvikelse i förhållande till avstånd till referensstation
457 mätningar



Bilaga 8

Avvikelse i plan (mm)
GPS-utrustning: Trimble 4700, 5700
Avvikelse i förhållande till avstånd till referensstation
132mätningar

