

Traditionell RTK och Nätverks-RTK

En jämförelsestudie

Therese Andersson & Julia Torngren

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2004-11-19

Författare Therese Andersson & Julia Torngren

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 90

LMV-Rapport 2004:16 – ISSN 280-5731

Traditionell RTK och Nätverks-RTK

En jämförelsestudie

Therese Andersson & Julia Torngren

L A N T M Ä T E R I E T



Traditionell RTK och Nätverks-RTK

En jämförelsestudie

Sammanfattning	9
1 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte och målsättning	12
1.3 Hypotes	12
1.4 Metod	12
1.5 Avgränsningar	13
2 Grundläggande beskrivning av GPS	13
2.1 GPS-systemet	13
2.1.1 Satellitsignalens struktur	14
2.1.2 Drift av satellitsystemet	15
2.2 Avståndsbestämning satellit - mottagare	15
2.2.1 Kodmätning	16
2.2.2 Bärvägsmätning	16
2.3 Positionsbestämningsmetoder	17
2.3.1 Absolut positionering	18
2.3.2 Relativ positionering	18
2.3.3 Statisk positionering	19
2.4 Mätnoggrannhet	19
2.4.1 Felkällor	19
2.4.2 Avsiktliga fel	23
2.4.3 Satellitkonfiguration	24
2.4.4 Höjdmätning	25

3 Real Time Kinematic (RTK)	25
3.1 Referensstationer	26
3.2 Initialisering	27
3.3 Överföringsformat	27
4 Nätverks-RTK	27
4.1 Referenssystem	30
4.2 SWEPOS	30
5 Statistik teori	32
5.1 Medelavvikelse	32
5.2 Standardavvikelse	32
5.3 Normalfördelning	33
5.4 Noggrannhet	33
5.5 Regressionsanalys	33
6 Fältstudie	35
6.1 Utrustning	35
6.2 Metod/Strategi	35
6.2.1 Traditionell RTK	36
6.2.2 Nätverks-RTK	36
6.3 Genomförande	36
6.4 Synpunkter/Reflexioner	38
7 Statistikstudie	39
7.1 Medelavvikelse	40
7.2 Precision	41
7.3 Noggrannhet	42
7.4 Initialiseringstid	43
7.5 Avståndsberoende Traditionell RTK	44
7.6 Synpunkter/Reflexioner	45
8 Diskussion och slutsats	45
9 Källförteckning	51
Litteratur	51
Internetkällor	51
Muntliga källor	52

10 Bilagor	53
10.1 Spridningsdiagram Noggrannhet i plan	54
Punkt 1 Baslinjelängd 557,8 m	54
Punkt 2 Baslinjelängd 3884,0 m	56
Punkt 3 Baslinjelängd 5361,4 m	58
Punkt 4 Baslinjelängd 7205,9 m	60
Punkt 5 Baslinjelängd 10 069,7 m	62
Punkt 6 Baslinjelängd 12 416,0 m	64
Punkt 7 Baslinjelängd 14 849,0 m	66
Punkt 8 Baslinjelängd 17 989,8 m	68
10.2 Spridningsdiagram Noggrannhet höjd	69
Punkt 1 Baslinjelängd 557,8 m	69
Punkt 2 Baslinjelängd 3884,0 m	71
Punkt 3 Baslinjelängd 5361,4 m	73
Punkt 4 Baslinjelängd 7205,9 m	75
Punkt 5 Baslinjelängd 10 069,7 m	77
Punkt 6 Baslinjelängd 12 416,0 m	79
Punkt 7 Baslinjelängd 14 849,0 m	81
Punkt 8 Baslinjelängd 17 989,8 m	83
10.3 Avståndsberoende T-RTK Precision	84
10.4 Avståndsberoende T-RTK Noggrannhet	86
10.5 Avståndsberoende T-RTK Tid till fix	88

Traditionell RTK och Nätverks-RTK

En jämförelsestudie

Sammanfattning

Navstar Global Positioning System (GPS) är ett rymdbaserat satellitsystem för positionering, navigering och tidsöverföring. Positions noggrannhet från några centimeter upp till några hundra meter kan erhållas, beroende av använd metod, mättid och utrustning.

Positionsbestämning med GPS-teknik kan delas in i absolut-, relativ- och statisk mätning. För att erhålla en position krävs det att avståndet mellan satellit och mottagare bestäms. Detta görs med hjälp av antingen bärvågs mätning eller kodmätning. En vanlig relativ mätmetod är Traditionell RTK (Real Time Kinematics), där en noggrannhet på några centimeter kan uppnås. Vid denna teknik används minst två mottagare, en referensmottagare (bas) och en rörlig mottagare (rover). Vektorn mellan dessa kallas baslinje. Korrektionsdata överförs från basen till rovern och kan därmed öka noggrannheten. Alltför långa baslinjer kan dock skapa problem, främst beroende på att atmosfärsförhållandena påverkar mottagarna olika.

Nätverks-RTK är en vidareutveckling av RTK-tekniken. Här verkar flera olika referensstationer i ett nätverk. Dessa beräknar en modell över atmosfärspåverkan i det område som stationerna täcker. Härmed försvinner problemet med för långa baslinjer.

Detta arbete har gått ut på att undersöka och jämföra mätkapaciteten för de båda teknikerna, Traditionell RTK och Nätverks-RTK. För traditionell RTK har en fast referensstation i Svedala kommun använts medan SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst utnyttjats för Nätverks-RTK. För undersökningen krävdes insamling av en stor mängd mätdata, vilket gjordes genom en fältmätning i Svedala kommun. Vi använde oss av åtta olika testpunkter som besöktes vid tio olika tillfällen. Vid samma tillfälle och vid samma punkt mätte vi med de båda teknikerna samtidigt. En antennförgreningsdosa har utnyttjats för att samma förutsättningar för båda tekniker skulle gälla. Totalt har 400 mätningar utförts, fördelade på 100 serier och 10 dagar. Mätdata har sedan statistiskt analyserats. Teknikernas precision, noggrannhet, initialiseringstider och avståndsberoende har undersökts.

Resultatet för Traditionell RTK visade på försämrad precision och noggrannhet med ökat avstånd från referensstation. Tydligast syntes försämringen av noggrannhet i plan. Nätverks-RTK gav stabilare värden, främst för precision och noggrannhet i plan. Initialiseringstiderna för Nätverks-RTK var överlag kortare än de för Traditionell RTK.

1 Inledning

Examensarbetet "Traditionell RTK och Nätverks-RTK - en jämförelsestudie" är gjort med hjälp och stöd från Leica Geosystems AB och Svedala kommun.

1.1 Bakgrund

Navstar Global Positioning System (GPS) är ett rymdbaserat system för positionering, navigering och tidsöverföring. Systemet består ca 30 navigationssatelliter som fördelats i 6 banplan. Från början utvecklades NAVSTAR-GPS (Navigation System with Timing and Ranging Global Positioning System) enbart för militära syften. GPS förser idag ett obegränsat antal användare med inmätning av olika detaljer och även all slags uppbyggnad av databaser med geografisk information med höga lägesnoggrannhetskrav, kan utnyttja de regionala positionstjänsterna. Andra användningsområden är precisionsnavigering, inmätning av fastigheter och positionering inom lantbruk och skogsbruk.

Med hjälp av satelliternas utsända signaler, vilka innehåller viss kodad information, ska snabb, praktiskt taget omedelbar lägesbestämning kunna göras. Satellitbanorna övervakas, inmäts och predikteras från marken med regelbunden uppdatering av satelliternas bandataminnen och tidsreferenser. Vid GPS-mätning krävs det i teorin tillgång till minst fyra satelliter för att lösa de fyra obekanta parametrarna, d.v.s. klockfelet och de tre dimensionerna i plan och höjd. Men i praktiken krävs det tillgång till minst fem till sex satelliter för att få ett riktigt bra resultat.

För att erhålla positionsnoggrannheter bättre än några meter krävs det att man gör simultana mätningar på en punkt med känd position. Detta görs för att kunna få korrektionsdata för den aktuella tillämpningen. Ur mätningarna på den kända punkten kan man beräkna en korrektion till den erhållna positionen. Korrektioner görs för inverkan av fel som uppstår när signalerna från GPS-satelliterna går igenom atmosfären, samt för felaktigheter som uppstår pga. fel i satellitens position.

GPS är ett kombinerat positionbestämnings- och tidsreferenssystem med en positionsnoggrannhet av storleksordning från några centimeter upp till 100 meter beroende av använd metod, mättid och utrustning.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med detta arbete var att undersöka mätkapaciteten för de båda teknikerna Traditionell RTK och Nätverks-RTK. Detta genom att analysera precision, noggrannhet, initialiseringstider och avståndsberoende.

Målet var att genom tillräckligt stort mätunderlag statistiskt kunna redovisa ett trovärdigt resultat. Syftet har också varit att för egen vinning lära sig hur GPS-tekniken fungerar på ett djupare plan.

1.3 Hypotes

De antaganden som ställs efter att ha studerat tidigare undersökningar på området är:

- Att Traditionell RTK visar försämrade precision och noggrannhet med ökat avstånd från sin referensstation.
- Att initialiseringstiderna för Traditionell RTK blir längre med ökat avstånd från sin referensstation.
- Att Nätverks-RTK visar stabilare mätvärden än Traditionell RTK.
- Att initialiseringstiderna för Nätverks-RTK är stabilare än de för Traditionell RTK.

1.4 Metod

Arbetet är i stort sammansatt i tre delar, en litteraturstudie, en fältstudie och en statistikstudie. Litteraturstudien och fältstudien gjordes parallellt, medan statistikstudien utfördes då alla våra punkter var inmätta.

Fältstudien pågick under perioden juni till juli och utfördes till största delen inom Svedala kommun. Här blev vi tilldelade ett antal punkter med kända koordinater som användes vid alla mätningar. Punkterna besöktes vid flera olika tillfällen

Vid samma tillfälle och vid samma punkt mätte vi med de båda teknikerna (Traditionell RTK och Nätverks-RTK) samtidigt. Detta för att kunna jämföra de två metoderna så rättvist som möjligt.

För att kunna analysera våra mätvärden gjordes sedan en studie av statistisk litteratur och programmet Microsoft Excel. Det är i detta program alla beräkningar, diagram och tabeller utförda i. För bl.a. koordinattransformation har vi använt oss av LEICA Geo Office Combined, ett program från Leica Geosystems AB.

1.5 Avgränsningar

Endast ett mottagarfabrikat, Leica Geosystems AB, har använts under fältstudien.

Mätningar har utförts dagtid och under sommarmånaderna juni, juli. Eftersom vi med tanke på noggrannheten vid mätningarna ville använda en fast referensstation, minskade valet av område för denna studie.

2 Grundläggande beskrivning av GPS

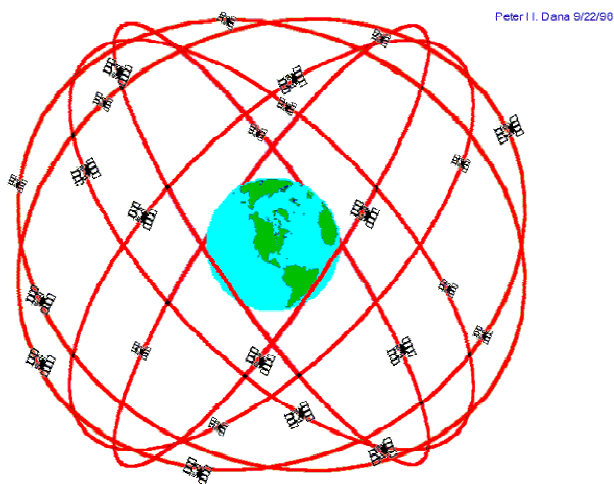
2.1 GPS-systemet

Navstar Global Positioning System, GPS, är ett rymdbaserat satellitsystem för positionering, navigering och tidsöverföring, från början uppbyggt av det amerikanska försvaret.

Systemet består av ca 30 navigations satelliter som fördelats i sex olika banplan.

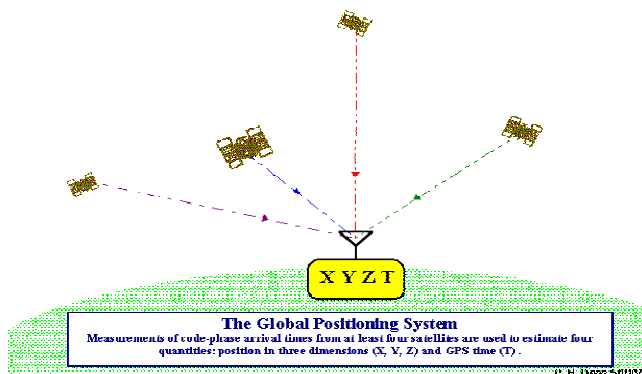
Varje satellit har en omloppstid på ca tolv stjärntimmar och har en genomsnittlig banhöjd på 20 200 kilometer ovanför jordytan. Banplanen har en inklinationsvinkel på 55 grader relativt jordekvatorn. Detta medför att tillgängligheten till satelliter på nordligare latituder begränsas. (Jonsson, Nordling, 2003)

Konstellationen med minst 24 satelliter i sex olika banor ger global täckning dygnet runt och betyder att var som helst på jorden och vid varje tidpunkt ska GPS-mottagaren få kontakt med minst fyra satelliter. (Rehders, 2000) Med hjälp av dessa ska det teoretiskt gå att utföra positionsbestämning när som helst.



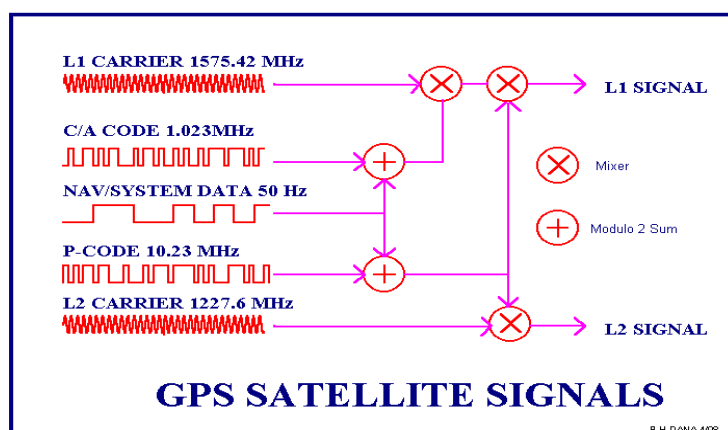
GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

Positionsbestämning med GPS går i princip ut på att bestämma avståndet mellan satellit och mottagare. Det finns tre obekanta positionsparametrar (t.ex. longitud, latitud och höjd) men även en obekant tidsskillnad. Tidsskillnaden uppstår eftersom mottagarens klocka inte är synkroniserad med GPS-satelliternas tid. För att kunna lösa ut dessa fyra obekanta parametrar krävs det att mottagaren får signaler från just fyra olika satelliter samtidigt (Alm, Munsin, 2003)



2.1.1 Satellitsignalens struktur

Satelliterna sänder ut signaler på två frekvenser, L1 och L2. Anledningen till att det finns två frekvenser är att det möjliggör reducering av den största felkällan; den jonofäriska refraktionen. På L1-frekvensen sänds både s.k. P-kod (Precision) och C/A-kod (Coarse/Acquisition), medan L2-frekvensen endast innehåller P-kod.

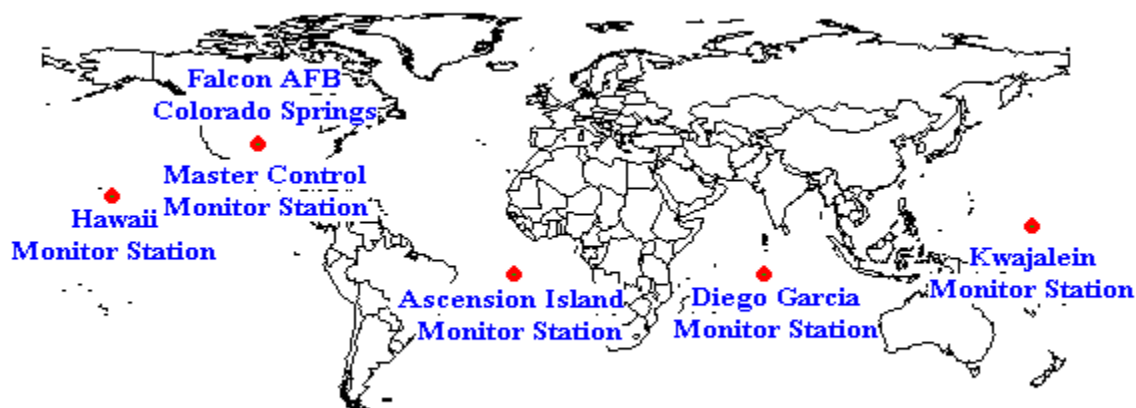


Dessutom innehåller signalen ett satellitmeddelande med nödvändig information om predikterade satellitpositioner och korrektioner till satellitklockan. (Jonsson, Nordling, 2003) GPS mätning kan göras antingen genom att använda de koder som sänds (C/A-kod och P-kod) eller genom att använda bärvågssignalen på L1/L2.

2.1.2 Drift av satellitsystemet

GPS-systemet styrs från en kontrollcentral, Master Control Station vid Falcon Air Force Station i Colorado Springs, USA. De har till sitt förfogande fem stycken markstationer, Monitor Stations, i huvudsak placerade längs ekvatorn där signaler från alla satelliter som befinner sig ovanför respektive stations horisont kontinuerligt registreras. Deras uppgift är att övervaka satellitsystemet, beräkna satelliternas ban- och klockparametrar, tidssynkronisering av satelliterna och vid behov flytta på dessa.

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

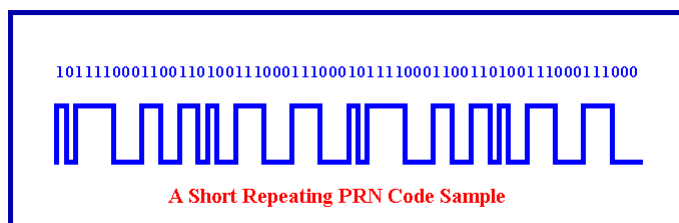
Beräkningen ligger till grund för sammansättningen av ett uppdaterat navigationsmeddelande. Tre gånger per dag sänds ett sådant meddelande upp till satelliterna för att ersätta det äldre meddelandet i satelliternas minne. (Marof, 1997)

2.2 Avståndsbestämning satellit – mottagare

Man skiljer på bärvågsmätning (fasmätning) och kodmätning. Bärvågsmätning används idag huvudsakligen vid relativ positionering. Kodmätning används vid både absolut och relativ bestämning. Båda mätförfarandena, fasmätning och kodmätning, kan tillämpas vid såväl statisk som kinematisk positionering. Bärvågsmätning är noggrannast men kräver tillgång till bra mottagare och mer omfattande mjukvara. Det finns även olikheter beträffande vid vilken tidpunkt som beräkningen av positionen sker. Den kan ske i antingen realtid eller i efterhand, där högsta noggrannhet kräver efterbearbetning. (Marof, 1997)

2.2.1 Kodmätning

Med kännedom om GPS-signalens utbredningshastighet kan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas. Detta genom att en kopia av den kod som sänds ut av satelliten genereras i mottagaren. När satellitkoden jämförs med den egengenererade, kan en förskjutning uppmätas genom tidsmarkeringar i koden.



Den uppmätta tidsdifferensen (t) motsvarar den tid det tar för den utsända signalen att gå från satellit till mottagare, s.k. gångtid. Ur gångtiden kan sedan avståndet (s) mellan satellit och mottagare beräknas eftersom signalens utbredningshastighet (c) är känd (ljusets hastighet).

$$s = c * t$$

(Jonsson, Nordling, 2003)

Avståndet brukar kallas pseudoavstånd (falskt avstånd) eftersom det i allmänhet innehåller fel som uppkommer p.g.a. att mottagarklockorna inte är fullständigt synkroniserade med satellitklockorna.

Kodmätningen kan göras på C/A- eller P-koden och ger en upplösning på 3 respektive 0,3 meter. (Jonsson, Nordling, 2003)

Fördelen med kodmätning är att det behövs mycket kort observationstid, bråkdelen av en sekund. Metoden är inte beroende av kontinuerlig mätning och därför ej känslig för signalavbrott. Nackdelen är att kodmätning ger låg positionsnoggrannhet. (Marof, 1997)

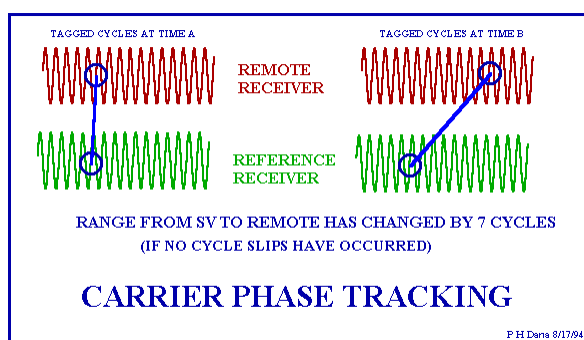
2.2.2 Bär vågsmätning

Bär vågsmätning innehåller inga tidsmärken och fördröjningen kan inte mätas upp direkt som vid kodmätning. I GPS-mottagaren skapas istället en signal som har samma frekvens som den genererade bär vågen från satelliten. (Marof, 1997)

Den mottagna signalen från satelliten, vars frekvens är dopplerförskjuten, kombineras med den i mottagaren genererade signalen. (Rehders, 2000) Med dopplerförskjutning menas att den mottagna signalens frekvens skiljer sig något från den ursprungligt utsända.

Avståndet mellan satellit och mottagare kan i princip uttryckas som ett antal hela bärvågsperioder plus en del av en period. För att dopplershiften ska kunna beräknas måste mottagaren utan avbrott få tillgång till samma satellitsignaler under en så pass lång stund att programvaran hinner räkna ut antalet hela våglängder. (Alm, Munsin, 2003)

Vid bibehållen låsning av satellitsignalen till mottagaren räknas förändringen av antalet hela våglängder från den tidpunkt då mottagarna först låste på signalen. Ur denna information kan perioder som fanns när mätningen började räknas ut och därmed avståndet till satelliterna, antingen i varje ögonblick eller integrerat över en tidsperiod, t.ex. 20 sekunder. (Jonsson, Nordling, 2003)



Tillfälliga avbrott i signallåsningen leder till att ett okänt antal perioder "förloras", s.k. periodbortfall. Korrigering för denna störning kan göras. (www.lantmateriet.se) Upplösningen vid bärvågsräkning kan uppskattas till ett par millimeter.

Fördelen med bärvågsräkning är att den är mycket noggrann. Nackdelen är att metoden är känslig för signalavbrott, d.v.s. låsning till färre än fyra satelliter, fri sikt till satelliterna behövs och metoden kräver bestämning av periodobekanta för att nå högsta noggrannhet. (Marof, 1997)

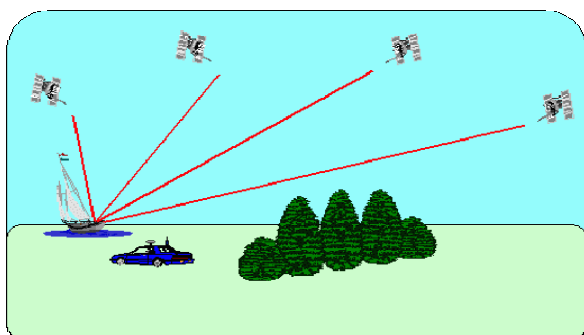
2.3 Positionsbestämningsmetoder

Positionsbestämning med GPS-teknik kan delas in i flera grupper. Man skiljer på statisk positionering med stillastående mottagare och kinematisk positionering där mottagaren befinner sig i rörelse under mätningens gång. En mätning kan utföras med antingen en eller flera mottagare och kan beräknas på plats, alternativt i efterhand. Vid beräkningar i efterhand kan noggrannheten bli högre eftersom efterberäknad banddata går att beställas, t.ex. från Navigation Information Service som drivs av U.S Coast Guard. (Alm, Munsin, 2003)

Positionsbestämning kan vara absolut, relativ (differentiell) eller statisk. Allmänt gäller att relativ positionering ger betydligt högre noggrannhet än absolut positionering. (Marof, 1997)

2.3.1 Absolut positionering

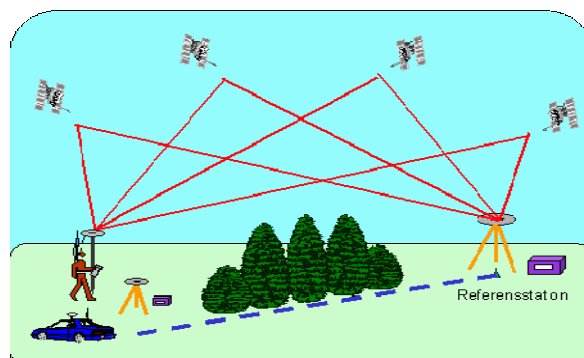
Absolut mätning innebär att positionsbestämningen endast utförs med en mottagare. Detta är den enklaste formen av positionsbestämning. Mottagarpositionen bestäms direkt i förhållande till satelliterna genom en inbindning i rymden. (www.lantmateriet.se) För avståndsmätningen används nästan uteslutande kodmätning.



Absolutbestämning är vanlig vid t.ex. navigering eller tillämpningar som inte kräver så hög noggrannhet. En horisontell positionsnoggrannhet på ca 5 - 20 meter erhålls. (Jonsson, Nordling, 2003)

2.3.2 Relativ positionering

Vid relativ positionsbestämning mäter två eller flera mottagare samtidigt mot samma satelliter och ger en högre noggrannhet än den absoluta mätningen. Mätningen bygger på att en position bestäms med hjälp av differenser relativt en eller flera, oftast kända, positioner. För att få en lösning måste man ha kontakt med minst 4-5 satelliter som är gemensamma för de båda mottagarna. Genom att bilda dessa differenser elimineras eller reduceras de flesta felkällorna som försämrar mätnoggrannheten vid absolut mätning.



De vanligaste relativa mätmetoderna är DGPS (Differential GPS), RTK (Real Time Kinematic) och statisk mätning. DGPS är en kodmätningsteknik i realtid men kan även efterberäknas och ger en noggrannhet på en halv meter till några meter. Relativ bärvågsmätning i realtid ger centimaternoggrannhet, medan relativ mätning med efterberäkningar kan ge millimaternoggrannhet. (Jonsson, Nordling, 2003)

Efterberäkningarna ger ett bättre resultat eftersom de exakta satellitbanorna kan tas med i beräkningarna. (Alm, Munsin, 2003)

2.3.3 Statisk positionering

Statisk relativ mätning innebär att positionen erhålls genom efterberäkning och är den mätmetod som ger högst noggrannhet. Att mäta statiskt betyder att GPS-mottagarna står stilla under en längre tid (1-3 timmar) och loggar bärvågsdata. Efter mätningen är gjord beräknas positionen mot andra bärvågsdata, tagna ur en mottagare som stått på en känd position.

Är avståndet mindre än 20 kilometer mellan mottagarna och mätningförhållanden i övrigt är optimala, kan en noggrannhet på en till två millimeter uppnås. Vid längre avstånd behövs kompensation för jonosfäriska störningar och därför krävs det att mottagarna mäter mot både L1- och L2-frekvenserna. (Alm, Munsin, 2003)

En variant av statisk mätning är snabb statisk mätning och innebär observationstider på ca 20 minuter. För att få lika bra mätresultat som vid vanlig statisk mätning krävs tillgång till både L1- och L2-signalerna. (Alm, Munsin, 2003)

2.4 Mätnoggrannhet

Oberoende av vilken mätmetod man använder finns det en hel del felkällor som kan påverka mätresultaten. De flesta av dessa fel elimineras eller reduceras i programvaran till mottagaren och behöver inte nödvändigt vara orsakade av användaren, men kan vara bra att ha i beaktande.

2.4.1 Felkällor

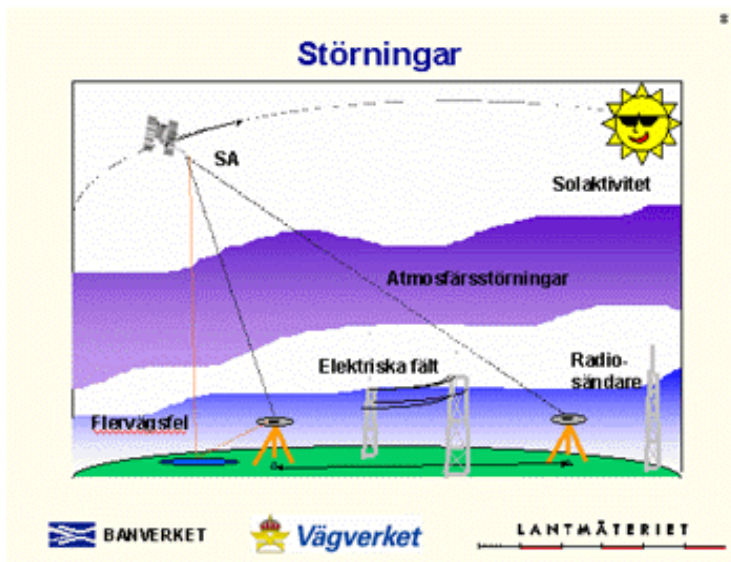
Felkällor vid GPS-mätning kan bero på olika faktorer och härstammar främst ifrån följande källor:

- Atmosfären
 - Jonosfärisk refraktion
 - Troposfärisk refraktion
- Satelliterna
 - Klockfel
 - Banfel

- Mottagare Variation av antennens fascentrum
Klockfel

- Flervägsfel

(Rehders, 2000)



Satellitensignalen passerar genom atmosfären på sin väg till mottagaren. Om det inte hade varit för atmosfären hade signalens utbredningshastighet varit samma som ljusets hastighet i vakuum. Men atmosfärens sammansättning påverkar dock signalen och felen detta ger upphov till kallas jonosfärisk- och troposfärisk refraktion. (Jonsson, Nordling, 2003)

Jonosfärisk refraktion:

Jonosfären befinner sig på en höjd från 50 till 1000 km över jorden. Det är ett spridande medium i förhållande till GPS-signalen. Signalens hastighet ändras p.g.a. elektroninnehållet längs signalens väg. (Rehders, 2000)

I jonosfären påverkas satellitsignalen så att koden blir fördröjd och bärvågorna påskyndade. Detta betyder att ett kodmätt pseudoavstånd blir längre än vad det egentligen är, medan ett bärvågmätt avstånd har en tendens att bli kortare. Felen som denna effekt ger upphov till är lika stora för kodmätning som för bärvågmätning och uppgår till ca 0,15-50 meter. (Alm, Munsin, 2003)

Effekten av jonosfären är frekvensberoende, d.v.s. påverkar utbredningshastigheten av radiovågor olika mycket för olika frekvenser. Därför sänder GPS-signalerna ut just två frekvenser, L1 och L2, med vilka en jonosfärsfri linjärkombination kan bildas som reducerar effekten av jonosfärisk refraktion. (Rehders, 2000)

Jonosfärfelet är beroende av följande faktorer:

- Elevation till satelliten
- Tid på dagen (solvinkel)
- Latitud
- Solstormar
- GPS-signalen frekvens

Jonosfären bryter GPS-signalen i stigande grad med minskad infallsvinkel. P.g.a. detta brukar man använda en elevationsmask som normalt sätts till 10 eller 15 grader. Satelliter som befinner sig lägre över horisonten filtreras då bort och ingår inte i positionsbestämningen. (Jonsson, Nordling, 2003)

Troposfärisk refraktion:

Troposfären sträcker sig från jordytan upp till ca 50 km. Den troposfäriska effekten på satellitsignalen går i motsats till den jonosfäriska inte att reducera genom att använda två frekvenser eftersom troposfären till skillnad från jonosfären är frekvensoberoende. Här är det främst temperatur, fuktighet och lufttryck som påverkar satellitsignalens fortplantning.

Fördröjningen av signalen i troposfären beror till största delen på atmosfärens torra komponent. Denna kan härledas via standardmodeller och svarar för majoriteten av fördröjningen. Vatteninnehållet är däremot svårare att modellera eftersom det beror på rådande väderförhållanden.

Troposfärfelet varierar med följande faktorer:

- Elevationsvinkel till satelliten
- Höjd över havet
- Temperatur
- Tryck
- Relativ fuktighet

Jämfört med jonosfären, ändrar sig den troposfäriska fördröjningen långsamt och förändras sällan med än en centimeter per sekund för satelliter över 30 graders elevation. (Jonsson, Nordling, 2003)

Klockfel:

Två klockor är involverade i beräkningen av avståndet mellan satellit och mottagare, satellitklockan och mottagarklockan. Klockfelet beror på att klockorna i satellit och mottagare inte är helt synkroniserade. (Jonsson, Nordling, 2003)

Ett konstant klockfel mellan satellit och mottagare elimineras visserligen i beräkningarna, men det kan däremot förekomma tidsberoende klockfel. (Alm, Munsin, 2003)

Felet i mottagarklockan elimineras vid bärvågsmätning genom att använda kombinationer av GPS-observationer, s.k. enkel- och dubbeldifferenser. Enkeldifferensen, som är skillnaden mellan fasmätningar från samma satellit till två olika punkter, eliminerar satellitklockans fel. Dubbeldifferensen, vilket innebär att man tar skillnaden mellan två enkeldifferenser, eliminerar mottagarklockans fel. (Jonsson, Nordling, 2003) Ett klockfel på 10 nanosekunder ger upphov till ett fel på 3 meter.

Även satellitklockorna måste vara väl synkroniserade eftersom tidpunkten för den utsända satellitsignalen måste vara väl bestämd. Detta är inte möjligt över en lång tidsperiod, därför modelleras satellitklockfelet och klockdriften. Dessa korrektioner är en del av navigationsmeddelandet. (Rehders, 2000)

Banfel:

Banorna för satelliterna är beräknade i förväg med hjälp av data från kontrollstationerna. Banfelet orsakas av brister i modelleringen av satellitbanorna. Det förekommer nämligen oregelbundenheter i satellitbanorna beroende på t.ex. tekniska problem vid driften, inhomogeniteter i jordens gravitationsfält, tidsberoende effekter från månen och solen, soltryck etc. som orsakar fel i banpredikteringen.

Banfelet orsakar ett fel på ung 0,2 ppm på en baslinje (2 mm per 10 km). (Jonsson, Nordling, 2003) För att reducera felet i bandata bör, om möjligt, efterberäknade bandata användas vid långa baslinjer. (Rehders, 2000)

Antenncentrumvariationer:

Antenncentrum är den punkt till vilken satellitsignalen mäts. Denna sammanfaller inte alltid med den geometriska centrumpunkten i antennen. Skillnaden beror på satellitsignalens elevation och av satellitsignalens intensitet. (Rehders, 2000)

Antenncentrum varierar alltså med satellitsignalerna men varierar konsekvent och kan därför undersökas i testserier. Men eftersom variationerna är olika mellan olika fabriker är det svårt att modellera antenncentrum. (Alm, Munsin, 2003) Skillnaden är också olika för de båda frekvenserna L1 och L2. Variationer på 1-2 cm existerar. (Rehders, 2000)

Flervägsfel: (Multipath)

Ett flervägsfel uppstår när satellitsignalen når mottagaren via mer än en väg, direkt eller reflekterad. Multipath orsakas huvudsakligen av reflekterande ytor nära mottagaren och i andra hand även av reflektioner på satelliten under sändningen. (Rehders, 2000)

Om satellitsignalen når mottagaren från en mycket låg vinkel över horisonten ökar risken för reflektion på vägen till mottagaren. Felen uppkommer när signalen reflekteras mot t.ex. vattenytor, plåttak eller träd och därefter interfererar med den direkta signalen, något som kan resultera i ett felaktigt avstånd. (Jonsson, Nordling, 2003) För att undvika flervägsfel bör alltså lågt liggande satelliter undvikas och uppställningsplatsens närområde vara fritt från ytor som kan reflektera. Ett flervägsfel kan vara på 10-20 meter för kodmätning, som är mer känsligt för denna typ av fel än bärvågsmätning. (Alm, Munsin, 2003)

Tillverkarna har olika mjukvarumodeller för att utesluta felaktiga signaler. Genom att t.ex. höja elevationsmasken, använda multipath-filter eller antenn med jordplan kan man reducera risken för flervägsfel. Men det mest effektiva är att om möjligt undvika platser där det kan uppstå problem. (Jonsson, Nordling, 2003)

2.4.2 Avsiktliga fel

Tidigare manipulerade det amerikanska försvarsdepartementet avsiktligt satellitsignalen så att civila användare inte skulle få bästa möjliga noggrannhet genom två olika metoder. Den avsiktliga störningen selective availability (SA) är dock avaktiverad sedan år 2000. Däremot är krypteringen av L2 frekvensens kod fortfarande aktiverad.

Selective availability (SA):

Målet med SA var att minska noggrannheten i navigationsmeddelandet. Det åstadkoms genom att man förstälde satellitklockan och manipulerade satelliternas banddata. Ändring av klockan ger direkt utslag på pseudoavståndet. Om satellitpositionerna inte exakt kan bestämmas medför detta förlorad noggrannhet i mottagarpositionen. (Rehders, 2000)

Anti-spoofing (A-S):

A-S fungerar så att P-koden krypteras med en krypteringskod, W-kod. Den krypterade koden brukar kallas för Y-kod. Krypteringen gör så att P-koden bara blir tillgänglig för behöriga personer, som t.ex. amerikansk militär. För att kunna ha någon nytta av P-koden måste alltså W-koden vara känd så att Y-koden kan avkrypteras. (Alm, Munsin, 2003)

2.4.3 Satellitkonfiguration

För att få en bra kvalitet på positionsbestämningen bör satelliterna ur geometrisk synpunkt vara väl spridda över himlen, d.v.s. väl fördelade i de olika vädersträcken. Ett mått på detta är det s.k. DOP-värdet (Dilution of Precision). Det förekommer flera olika DOP-tal beroende på vilka obekanta som ska bestämmas. (Jonsson, Nordling, 2003)

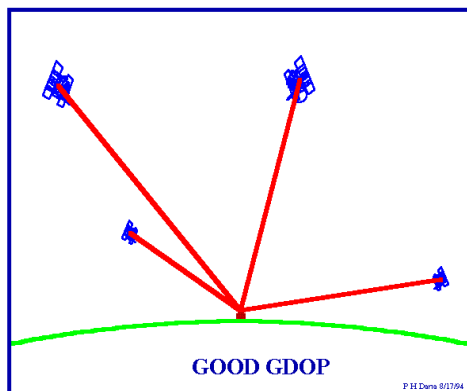
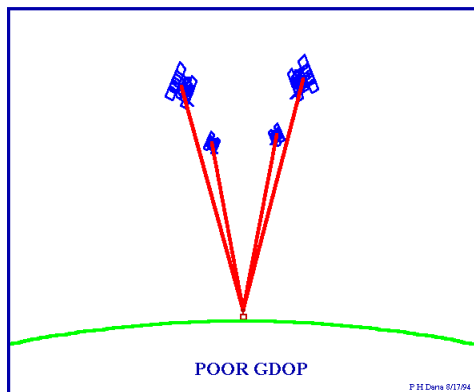
GDOP (Geometric Dilution of Precision)

PDOP (Position Dilution of Precision)

HDOP (Horizontal Dilution of Precision)

VDOP (Vertical Dilution of Precision)

TDOP (Time Dilution of Precision).



För att veta hur bra satellitkonfigurationen är vid mätningen studeras vanligtvis GDOP eller PDOP, ju lägre DOP-tal desto bättre konfiguration. Om ett DOP-värde är mycket dåligt ska mätningen helst räknas bort. Om ett mycket noggrant mätresultat krävs, kan satellitbanddata beställas i förväg men i allmänhet räcker det att ladda ner banddata via GPS-mottagaren eller hämta dem från någon Internetsida. Med hjälp av dessa data kan sedan den tidpunkt, då bäst satellitkonfiguration kan uppnås, väljas ut för mätningen. (Alm, Munsin, 2003)

2.4.4 Höjdmätning

Ofta stämmer höjdvärdena sämre vid GPS-mätning än vid traditionell mätning med t.ex. totalstation. Vanligen är felet i höjd ca 1,5 gånger större än det horisontella felet. Det finns två huvudorsaker till varför höjdvärdena stämmer dåligt med de höjder som Rikets höjdsystem 1970 (RH 70) anger.

Det ena beror på att GPS förutsätter ett geocentriskt koordinatsystem. GPS-systemet utgår nämligen ifrån att origo befinner sig i jordens tyngdpunktscentrum. För att kunna räkna ut höjden över havet görs en modell, en referensellipsoid, över hur jorden egentligen ser ut. Denna referensyta är något förenklad eftersom den yta som vanligen används för höjdbestämming, geoiden, inte på ett enkelt sätt går att uttrycka i matematiska formler. I Sverige avviker höjden över referensellipsoiden för GPS-systemet från höjden över havet med +20 till +40 meter. Därför måste de GPS-mätta höjdvärdena korrigeras.

Den andra orsaken till att höjdvärdena är sämre än de horisontella värdena är att de är beroende av den geometriska konfigurationen hos satelliterna i förhållande till mottagaren. (Alm, Munsin, 2003)

3 Real Time Kinematic (RTK)

RTK är kinematisk bärvågs-mätning i realtid. Detta innebär att mätningen kan utföras såväl när mottagaren är i rörelse som när den står statiskt uppställd och att positionen erhålls direkt. Minst två satellitmottagare används, en referensmottagare (bas) och en rörlig mottagare (rover). Vektorn mellan de två kallas baslinje. Tekniken går ut på att bärvågsobservationer sänds från basen till rovern och kräver att mottagarna har kontinuerlig kontakt med samma satelliter, så att differenser mellan dessa kan bildas. (Alm, Munsin, 2003)

Den ena mottagaren placeras på en känd punkt (referensstation) och en eller flera mobila mottagare flyttas till de punkter som ska mätas in. Vidare behövs en radio- eller GSM-länk för överföring av GPS-observationer från referensmottagaren till rovern. (Rehders, 2000) De korrektionsdata som överförs från basen till

rovern innehåller observationsdata från satelliterna vid referensmottagaren samt dess position. (Alm, Munsin, 2003)

Korrektionerna från referensstationen ökar noggrannheten vid rovern så länge som de atmosfäriska felen är ung lika vid både referensstation och rover. Så är inte fallet om avståndet mellan dem är för stort. Långa baslinjer skapar problem under lösningen av periodobekanta, främst beroende på skillnaden i atmosfärsrefraktion, som ökar ju längre från referensstationen man kommer. Standardfelet i observationerna blir för stort för att lösa alla obekanta. (Jonsson, Nordling, 2003)

För att uppnå en noggrannhet av cm-dm nivå vid RTK-mätning bör avståndet till referensstationen inte överstiga 10 km. (Rehders, 2000)

3.1 Referensstationer

De baser som används vid GPS-mätning kan vara antingen temporära eller permanenta.

Befintliga referenspunkter i terrängen, geodetiska stompunkter, kan användas som utgångspunkter vid användning av en tillfällig referensstation. Denna måste användaren själv etablera med tillhörande datalänk. (<http://www.swepos.com/>)

Den främsta fördelen med temporär bas är att den nästan alltid kan placeras inom 2 kilometers radie, vilket ger bra mätresultat. Nackdelen är att basen ibland måste lämnas, vilket innebär en risk för stöld och sabotage. (Alm, Munsin, 2003)

Ett alternativ till den temporära basen är att använda fasta referensstationer. De permanenta baserna placeras oftast på byggnader där de kan stå skyddade under längre perioder utan att rubbas. De kan antingen etableras i egen regi eller som en positionstjänst som kan utnyttjas av alla och där användarna delar på kostnaden. (<http://www.swepos.com/>)

De fasta referensstationerna registrerar och lagrar kontinuerligt data från de satelliter de för tillfället har kontakt med. Data från en viss tidsperiod och från en eller flera referensstationer kan sedan fås från den myndighet eller företag som driver dessa stationer. Istället för direkta mätdata kan man även erhålla korrektioner vilket möjliggör relativ mätning i realtid. (Jonsson, Nordling, 2003)

En permanent station utesluter de flesta nackdelarna med en temporär referensstation. Man slipper lägga tid på att etablera en egen tillfällig station. Man behöver också bara tillgång till en mottagare, vilket minskar kostnaderna för användarna. Även stöldriskan minskar, som annars finns när referensen lämnas utom synhåll för rovern.

Begränsningen i att utnyttja en fast station ligger dels i räckvidden för radioutsändningen och dels i att de olika atmosfäriska förhållandena begränsar användningsområdet till ca 10-20 kilometer. (Jonsson, Nordling, 2003) Det finns dock olika fabrikat vars utrustning klarar av inmätning vid baslinjer upp mot 30 km, Leica 1200 är exempel på ett sådant.

3.2 Initialisering

Initialisering innebär att lösa antalet obekanta våglängder mellan satellit och mottagare. Detta kan göras statistiskt eller kinematiskt. Med hjälp av en känd position kan periodobekanta bestämmas och sedan lösas ut för vidare mätning, så länge båda mottagarna har kontakt med minst fyra gemensamma satelliter. För att kunna lösa ut periodobekanta när rovern är i rörelse, kinematisk initialisering, utan känd position används en teknik som kallas "On the Fly"-initialisering. (Alm, Munsin, 2003)

Den tid det tar innan de periodobekanta har lösts ut och en s.k. fixlösning uppnåtts, kallas initialiseringstid. Detta kan ta allt från något tiotal sekunder till några minuter beroende på bl.a. antal satelliter, atmosfärisk refraktion, satellitgeometri, avstånd till närmaste referensstation och mottagarens kvalitet. (Jonsson, Nordling, 2003)

3.3 Överföringsformat

Standardöverföringsformatet för RTK och DGPS-observationer i realtid har sedan 1985 varit RTCM (Radio Technical Commission för Maritime Services) och finns nu i olika versioner. (Alm, Munsin, 2003) De flesta GPS-mottagare använder sig av detta format för att ta emot korrektioner och av NMEA-format (National Marine Electronics Associations) för att leverera positionsdata. (Jonsson, Nordling, 2003) På grund av längden av RTCM-formatet har nu ett antal fabrikanter tagit fram olika format som ska gå snabbare att överföra bl.a. CMR+, Leica och en ny version av RTCM (RTCM 3.0). Dataöverföringen sker oftast via radio- eller GSM-modem.

4 Nätverks-RTK

Nätverks-RTK är en vidareutveckling av RTK-tekniken där man binder ihop flera referensstationer i ett nätverk och beräknar en modell över felkällornas inverkan, främst troposfärs- och jonosfärskorrektioner, i området som stationerna täcker. (Jonsson, Nordling, 2003) Denna teknik har utvecklats under de senaste åren för att möjliggöra en ökning av avståndet mellan referensstationen och mottagaren.

Begränsningen med att mäta med egen referensstation ligger i de olika atmosfäriska förhållanden som råder på platsen där referensstationen respektive rovern står. Vid nätverks-RTK modellerar flera referensstationer tillsammans atmosfären ovanför mätområdet.

Differenserna som bildas vid relativ mätning reducerar fel tack vare att felet mellan referensstationen och rovern tar ut varandra. Ökar avståndet mellan mottagarna, ökar även felet hos rovern, eftersom atmosfären inte är densamma över de båda mottagarna. (Alm, Munsin, 2003) Men då flera fasta referensstationer fungerar i nätverk får man en yttäckande information om de fel som uppstår när signalerna från GPS-satelliterna passerar atmosfären och fel i positionerna hos satelliternas banor. Denna information kompletterar de sedvanliga korrektionerna för RTK-mätning och möjliggör regional täckning med begränsat antal referensstationer. (<http://www.swepos.com/>)

Enligt genomförda tester med nätverks-RTK kan avståndet mellan de fasta referensstationerna ökas från ca 20 km för RTK till ca 70 km med bibehållen noggrannhet och med ung lika lång initialiseringstid. (<http://www.swepos.com/>)

Fördelar:

- Metoden är tidsbesparande och därmed även kostnadsbesparande. Man behöver inte etablera någon egen referensstation eller leta kända punkter att utgå ifrån.
- Minskad materiell kostnad i och med att man slipper köpa dubbla uppsättningen mottagare.
- Stöldrisken har minskat. Man behöver inte lämna någon referensstation obevakad.
- Man kan mäta på ett betydligt längre avstånd från närmaste referensstation p.g.a. att jonosfären modelleras. Ett relativt gles nät av referensstationer kan då försörja en stor grupp av användare.
- Täckningsområdet blir sömlöst och data är kvalitetskontrollerade.

Nackdelar:

- Man är beroende av GSM-täckning eftersom det är den idag enda tillgängliga distributionskanalen.
- GSM-kostnaderna.
- Resultatet i höjd kan vara osäkert om man är långt ifrån referensstationerna i nätet. (<http://www.swepos.com/>)

De organisationer som tillhandahåller nät av referenspunkter är på nationell nivå t.ex. Lantmäteriet, Vägverket och Banverket och på lokal nivå är det ofta kommunerna (http://www.swepos.com). De som erbjuder data från dessa referensstationer är SWEPOS. (se 4.2)

Tekniken:

Inom nätverks-RTK kan avståndet mellan mottagarna minimeras genom att en virtuell bas skapas (VRS, Virtual Reference Station). Denna virtuella bas simulerar en lokal bas nära rovern och felet blir på så sätt mindre. (Alm, Munsin, 2003) Data från flera referensstationer samlas in och analyseras i en programvara för att skapa en korrektionsmodell över det område som stationerna omfattar.

VRS-tekniken bygger på tvåvägskommunikation, där rovermottagaren bestämmer sin ungefärliga position och sänder ett meddelande innehållande positionen via GSM- eller GPRS-länk en huvudcentral.

Huvudcentralen sänder tillbaka DGPS-korrektioner i RTCM-format och rovern uppdaterar sin position till en noggrannhet på meternivå. Den nya positionen sänds tillbaka till huvudcentralen som skapar en virtuell bas över positionen. För positionen som mottagaren sände in beräknar alltså nätverksservern med hjälp av data från de sex närmaste referensstationerna, korrektionsmodeller för avståndsberoende fel och interpolerar fram korrektioner för den aktuella positionen. Man försöker alltså med hjälp av interpoleringen efterlikna förhållandena som råder vid platsen (rovern) och på detta sätt reducera de systematiska felet. (Jonsson, Nordling, 2003)

Nya korrektioner i RTCM-format sänds sedan kontinuerligt till rovern. Dessa korrektioner ser ut att komma från den virtuella basen.

Det finns för närvarande ingen internationell standard för hur överföringsformatet ska se ut och därför måste utrustningen anpassas till formatet som används i nätverket. Överföringen till rovern från huvudcentralen kan ske via radiolänk, GSM-, GPRS-länk eller via FM-bandet. (Alm, Munsin, 2003)

För närvarande sker en omfattande utveckling av nätverks-RTK-tekniken. Denna utveckling rör t.ex. standardisering av dataformat, etablering av distributionskanaler samt i högsta grad själva mjukvaran för beräkningen av korrektionerna som ska skickas ut till användarna. (<http://www.swepos.com/>)

Det går genom nätverks-RTK att upptäcka spänningar i de lokala geodetiska stornäten och på sikt bidra till införandet av ett nationellt gemensamt referenssystem för lägesangivelsen. (<http://www.swepos.com/>) Man kan genom nätverkstekniken även hitta nya användargrupper som t.ex. kollisionsvarningssystem för biltrafiken eller kanske t.o.m. förarlösa fordon.

4.1 Referenssystem

Varje land har sitt eget rikstäckande referenssystem. I Sverige heter det traditionella referenssystemet Rikets referenssystem 1992 (RR 92) och är sammansatt av ett horisontellt koordinatsystem (RT 90), ett höjdsystem, (RH 70) och ett geoidhöjdsystem (RN).

Varje lands nationella referenssystem fungerar inte så bra globalt sett, eftersom ett nationellt system är anpassat för att på bästa sätt beskriva det egna landet. GPS är däremot redan anpassat för att vara globalt. Dess referenssystem heter WGS 84 (World Geodetic System 1984) och stämmer ganska bra över hela jorden. För att kunna genomföra noggrannare mätningar med GPS kan varje land bygga upp ett nationellt referenssystem som är speciellt anpassat efter det globala.

I Sverige heter detta referenssystem SWEREF 99 (Swedish Referens Frame 1999) och har byggts upp kring 21 fasta, markbaserade SWEPOS-stationer. (se kap 4.2) För närvarande skiljer sig SWEREF 99 och WGS 84 åt med några decimeter. Syftet med att bygga ett nationellt, globalt anpassat referenssystem är att kunna mäta med högre noggrannhet.

4.2 SWEPOS

SWEPOS är ett nationellt nät av permanenta referensstationer för GPS och är uppbyggt i samarbete mellan Lantmäteriverket, Onsala rymdobservatorium, projektet "GPS-resurser i Norrbotten" och Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. (Alm, Munsin, 2003)

Lantmäteriet ansvarar för drift, underhåll och utveckling. Styrning, övervakning och kvalitetskontroll av SWEPOS-nätet sker från driftledningscentralen på Lantmäteriet i Gävle. Finansiering ordnas med statliga anslag och användaravgifter.

Sedan 2003 finns det tre fungerande nät uppbyggda kring SWEPOS-nätets fasta referensstationer. Dessa finns i Mälardalsområdet, Skåne och västra Sverige. Idag finns 57 st SWEPOS-stationer i Sverige. 21 st av dessa är fullständiga, vilket innebär att de bl.a. har dubblerad utrustning och är väl fastmonterade. Resten är s.k. förenklade stationer och är ofta placerade på befintliga byggnader. (Alm, Munsin, 2003) En SWEPOS-station består alltså av en fast monterad GPS-mottagare som är placerad över en punkt med kända koordinater, där mottagaren registrerar data från tillgängliga satelliter dygnet runt. (Jonsson, Nordling, 2003) GPS-registreringar överförs varje sekund till driftledningscentralen där korrekationer beräknas. (<http://www.swepos.com/>)



Alla SWEPOS-stationer är anslutna till driftledningscentralen via fasta telefonledningar (TCP/IP-förbindelser) där GPS-mätdata kontinuerligt överförs från referensstationerna i nätverket. (Jonsson, Nordling, 2003) Vid centralen är de inkommande telefonledningarna kopplade till en router. PC:n som kör nätverks-RTK-programvaran läser data via IP-protokoll från routern, där varje referensstation har sin egen IP-adress. Programvaran som används i de svenska RTK-nätverken heter GPSNet och är framtagen av Trimble. GPSNet bygger på Virtual Reference Station. (Alm, Munsin, 2003)

Kommunikationslänken mellan RTK-rovern och driftledningscentralen är GSM. GSM stöder den tvåvägs datakommunikation som behövs för att sända användarpositionen till driftledningscentralen och för att motta VRS RTCM-data tillbaka från centralen. (Jonsson, Nordling, 2003)

De inkommande samtalen tas emot av en accessserver, med flera digitala modem. Det gör det möjligt att betjäna flera RTK-rovror parallellt (upp till 30 användare per nätverk) och tillåter alla rovrar att använda samma telefonnummer för att koppla upp sig mot systemet. (Jonsson, Nordling, 2003)

SWEPOS uppgift är att erbjuda data från GPS-satelliterna till olika ändamål, såsom positionsbestämning med centimeternoggrannhet i realtid, DGPS och satellitprediktion.

Inmätning av fastigheter, detaljmätning och uppbyggnad av databaser med lägesbunden information med höga noggrannhetskrav är exempel på tillämpningar där positioneringstjänsterna kan användas. (<http://www.swepos.com/>)

SWEPOS tillhandahåller och medverkar förutom nätverks-RTK till ett flertal tjänster inom navigering och positionsbestämning med GPS. Tjänsterna täcker både realtidsanvändning och efterberäkningstillämpningar.

- SMS-tjänst
- DGPS-tjänst
- Satellitprediktion
- Koordinattransformation
- Efterberäkningsdata (Alm, Munsin, 2003)

Det finns planer på att utvidga positioneringstjänsterna till att täcka hela södra Sverige och Norrlandskusten. Idag finns två nystartade projekt, MITT-OST-RTK som täcker Mälaren och västra Sverige och OST-RTK som täcker Småland och Blekinge. Ett framtida mål är att det ska vara möjligt att använda även FM-radionätet och radiomodem som distributionskanaler. (<http://www.swepos.com/>)

5 Statistik teori

5.1 Medelavvikelse

Med medelavvikelse menar vi skillnaden mellan sant och mätt värde. För att undersöka om mätningarna har systematiska fel beräknas en medelavvikelse där man tar hänsyn även till tecknet. Om tillräckligt många mätningar har utförts ska medelvärdet teoretiskt vara lika med noll. Avviker värdet från noll finns ett systematiskt fel. (Jonsson, Nordling, 2003)

5.2 Standardavvikelse

Vid all statistisk slutledning med hjälp av slumpmässiga urval är standardavvikelsen ett nödvändigt instrument. Standardavvikelsen är ett sammanfattande mått på de enskilda observationernas spridning kring medelvärdet. Standardavvikelsen kan användas för att räkna ut precisionen hos t.ex. en mätserie och visar hur samlad denna är kring medelvärdet.

Beräkning av standardavvikelsen har gjorts med hjälp av följande formel:

Standardavvikelsen s för n observationer x_1, x_2, \dots, x_n där m är observationernas medelvärde:

$$s = \sqrt{\sum (x - m)^2 / n - 1} \quad (\text{Körner, Wahlgren, 1990})$$

5.3 Normalfördelning

Statistiker har härlett ett antal sannolikhetsmodeller för att beskriva variationen vid olika typer av undersökningar. Den viktigaste och mest kända av dessa är normalfördelningen.

Normalfördelningen är en teoretisk modell för att beskriva hur en viss typ av mätvärden kan variera.

Man kan visa att en normalfördelningskurva är fullständigt bestämd av fördelningens medelvärde och standardavvikelse. För alla normalfördelningar gäller att kurvan är symmetrisk kring sitt medelvärde.

Normalfördelningsregeln (NF-regeln) där m är observationernas medelvärde:

- Mellan gränserna $m - s$ och $m + s$ finns ca 68 procent av observationerna.
- Mellan gränserna $m - 2*s$ och $m + 2*s$ finns ca 95 procent av observationerna.

Med NF-regeln kan man bedöma om ett material kan anses normalfördelat. Man beräknar andelen observationer i de båda intervallen ovan och jämför resultatet med normalfördelningsregeln.

(Körner, Wahlgren, 1990)

5.4 Noggrannhet

Noggrannheten beskriver de mätta värdenas spridning kring ett sant värde. En hög noggrannhet innebär att mätningarna är väl samlade kring det sanna värdet. En hög noggrannhet implicerar hög precision och även en hög riktighet. (Jonsson, Nordling, 2003)

Beräkning av noggrannheten har gjorts med hjälp av följande formel:

Noggrannheten t för n observationer x_1, x_2, \dots, x_n där y är det sanna värdet:

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

5.5 Regressionsanalys

För att kunna studera samband mellan två eller flera storheter kan man använda sig av regressionsanalys. Det finns olika metoder för regression beroende på vilka storheter som ska undersökas. Om det gäller två storheter som ska analyseras och dessa är linjärt beroende av varandra, används s.k. enkel linjär regression.

Modellen för enkel linjär regression kan användas även om det bland värdeparen förekommer flera lika x värden. Denna situation är vanlig vid olika slag av planerade försök. (Blom, Holmquist, 1998)

Varje värde på x-axeln motsvaras av ett värde på y-axeln och tvärtom. I analysen i detta arbete motsvarar x-värdena avstånd i kilometer och y-värdena avvikelse i millimeter.

De formler som används vid analys av avståndsberoendet i detta arbete är:

Den skattade regressionslinjen:

$$y = \alpha + \beta * (x - x_m)$$

$$x_m = \sum x_i / n$$

α anger var regressionslinjen skär y-axeln, α kan också tolkas som det värde som variabeln y i genomsnitt antar när variabeln $x = 0$. (Körner, Wahlgren, 1996)

$$\alpha = \sum y_i / n$$

β är linjens riktningskoefficient och kallas regressionskoefficienten, den anger med hur många enheter y ändras när x ökar med en enhet. (Körner, Wahlgren, 1996)

$$\beta = S_{xy} / S_{xx}$$

S_{xx} och S_{xy} beräknas ur följande formler:

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - 1/n * (\sum x_i)^2$$

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - 1/n * (\sum x_i)(\sum y_i)$$

6 Fältstudie

En stor del i arbetet är fältstudien där all våra mätdata samlats in. Studien är i stort gjord i Svedala kommun där lämpliga punkter valts ut. Mätningar har utförts under perioden juni – juli.

6.1 Utrustning

Det företag som har stått för mätinstrumenten är Leica Geosystems AB. Detta har medfört att ett och samma fabrikat har används under alla mätningar. Utrustningen har bestått av



A



B

- | | |
|--------------------------------|--|
| - Stativ med trefot | |
| - Antenn | AX 1202 (antenn A) |
| - Antenn | GPS L1 L2 A-R-20 (antenn B) |
| - 2 * LEICA GPS 1200 mottagare | GX 1230, RTCM format både för sändning och mottagning. |
| - 2 * Kontrollenhet | RX 1210 T |
| - GSM simkort | Siemens MC 45 |
| - Radio modem | Satellite 3 AS |

6.2 Metod/Strategi

Syftet med vårt arbete är studera positionsnoggrannhet och precision hos traditionell RTK och nätverks-RTK med avseende på avstånd från fast referensstation och jämföra med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst i området. Genom att göra mätningar med de båda teknikerna på olika avstånd från en fast referenspunkt kan vi se om resultaten skiljer sig åt. Något vi också har titta närmare på är initialiseringstiderna och avståndsberoendet för Traditionell RTK och hur pass det förändras med ökat avstånd från referensstationen.

6.2.1 Traditionell RTK

För mätning med traditionell RTK krävs en referenspunkt, denna kan vara antingen fast eller tillfällig. För att erhålla hög noggrannhet och spara tid valde vi att använda en fast referensstation. En sådan finns tillgänglig i bl.a. Svedala kommun, vilken vi har valt att utgå ifrån. Alla mätningar gjordes med radiomodem.

6.2.2 Nätverks-RTK

Referensstationer i SWEPOS-nätverk belägna i Skåne utnyttjades. För att kunna ta emot korrekationer från den VRS som skapades i närheten av mottagaren användes GSM-länk. Överföringsformatet var RTCM.

6.3 Genomförande

Från början valdes sju kända punkter ut, på olika avstånd från Svedalas fasta referensstation i Hyby, där den borterst belägna punkten befinner sig på ca 15 kilometers avstånd. En komplettering av en åttonde punkt, belägen ca 18 kilometer från Hyby, gjordes sedan för att ytterligare undersöka kapaciteten hos traditionell RTK.

Baslinjelängder:

1. 557,8 m
2. 3884,0 m
3. 5361,4 m
4. 7205,9 m
5. 10 069,7 m
6. 12 416,0 m
7. 14 849,0 m
8. 17 989,8 m



Vid samma tillfälle och vid samma punkt har vi mätt med de båda metoderna. För att högsta noggrannhet skulle uppnås har vi utnyttjat en s.k. antensplitt, d.v.s. båda mottagarna är kopplade till en gemensam antenn. Detta innebär att mätningarna med de två olika teknikerna gjorts i stort sett exakt samtidigt och medfört att samma förutsättningar vad gäller atmosfärförhållanden, antal tillgängliga satelliter och satellitkonstellation för mottagarna har gällt. För att systematiska fel som t.ex. satellitkonfiguration och fel orsakade av yttre faktorer som väder inte skulle påverka resultatet, har mätningarna utförts på olika dagar och vid olika tidpunkt på dagen.

För att mätvärdena skulle bli så bra som möjligt sattes en elevationsmask på 10 grader, vilket innebär att satellitsignaler under denna vinkel ignoreras. Överlag gjordes mätningar då minst sex satelliter var närvarande för att genom överbestämningar få bästa resultat.

Utöver detta har vi på uppdrag av Leica testat en ny antenn. Denna har använts parallellt med den vanliga. En jämförelse dessa emellan har gjorts.

GPS använder som nämnts WGS 84 som standardreferenssystem. Referenssystemet för GPS i Sverige heter SWEREF 99 och är den nationella anpassningen till WGS 84. Eftersom Svedalas lokala referensstation är bestämd i detta referenssystem innebär det att mätningar som gjorts med traditionell RTK från denna station har blivit direkt jämförbara med mätningarna med nätverks-RTK. Vi har sedan transformerat mätvärden till plana koordinater i RT 90 5,0 gon väst.

Åtta testpunkter har totalt använts under fältmätningarna. Sju av dessa har besökts tio olika gånger för inmätning, medan den åttonde och kompletterande punkten endast besökts en gång och mättes in enbart med antenn A, dels på grund av tidsbrist, dels på grund av att antenn B redan visat sig vara svårare att nå fixlösning med.

Vid varje mätningstillfälle har protokoll förts för båda teknikerna innehållande tidpunkt, väderförhållanden, antal tillgängliga satelliter, predikterat noggrannhetsvärde, initialiseringstid, antennhöjd och övriga anmärkningar. För att snabbt få reda på om problem uppstått med någon av SWEPOS referensstationer har vi utnyttjat deras SMS-tjänst.

Tiden för nådd fixlösning noterades för varje ny uppställning, för båda teknikerna. Om inte fixlösning uppnåtts efter tre minuter, gjordes en oinitialisering.

Inmätning av varje punkt har utförts enligt följande process:

1. Noggrann uppställning av stativ med trefot.
2. Initialisering av vardera mottagare.
3. Notering av tid till fixlösning för båda mottagarna.
4. Igångsättning av inmätningen. Mottagarna var programmerade att automatiskt mäta 100 gånger. Medelvärdet av dessa är den mätdata som lagrats.
5. Notering av predikterat noggrannhetsvärde.
6. Observation av tillgängliga satelliter.
7. Eventuella anmärkningar.

Ytterligare nio mätningar görs vid samma tillfälle, utan ny uppställning eller oinitialisering. Då dessa är gjorda byts antenn och samma process som ovan utförs för denna.

Alltså har tio mätserier utförts med varje teknik och varje antenntyp per uppställning. En mätserie för t.ex. traditionell RTK och antenntyp A utgörs av tio mätningar. Var och en av dessa mätningar är i sin tur ett medeltal av 100 positioner registrerade under ca 120 sekunder. Enligt detta resonemang har 10 mätserier gjorts med varje teknik och varje antenntyp på varje punkt. Detta ger totalt 400 mätningar per punkt.

6.4 Synpunkter/Reflexioner

För att lära oss hur utrustningen fungerade gjordes en testmätning i början av juni med vår handledare Jonas Gunnarsson. Det tog inte speciellt lång tid och var ganska lätt att förstå. Det skulle däremot visa sig uppstå lite problem med mottagarna.

Precis i början av fältperioden var vi tvungna att lämna in mottagaren för nätverks-RTK, eftersom det dök upp ett felmeddelande som vi inte förstod oss på. En annan gång var det fel på en av antensladdarna, så då fick vi besöka Leica för att byta ut

denna. Andra gånger har det varit glapp mellan kontrollenheten och själva mottagaren, så det har varit svårt att överhuvudtaget få igång den. Men överlag fungerade apparaturen som den skulle.

Det tog även lite tid för oss att välja ut lämpliga stompunkter, eftersom de första sju vi blev tilldelade av Svedala kommun var belägna längs med mycket trafikerade vägar. Enligt vägverket får man inte befinna sig på väg och utföra mätningar om man inte har en speciell utbildning för detta. Så det var bara för oss att be Svedala kommun att försöka hitta stompunkter som låg lite mer lämpligt. Till vår förtjusning var de nya punkterna placerade i mysigt lantliga miljöer, många i både häst- och kohagar. Men till vår stora besvikelse skulle sommaren 2004 bli en av de regnigaste somrarna någonsin och mätningarna drog ut lite på tiden. Men överlag är minnena från fältstudien dock goda och aldrig har kaffedrickande varit mer motiverat än då.

De sju punkter som vi först undersökte ligger på ett varierat avstånd mellan 0,5 – 15 kilometer från den fasta referensstationen i Hyby. Detta är så långt Svedala kommun sträcker sig, så för att få en punkt med längre avstånd från referensstationen tog vi kontakt med Vällinge kommun. Baslinjens längd ökade då till ca 25 kilometer vilket skulle visa sig vara för långt för att traditionell RTK med radiolänk skulle fungera. Vi fick då istället leta upp en punkt på måfå, där traditionell RTK kunde få fixlösning, avståndet blev ca 18 kilometer.

7 Statistikstudie

Efter utförda mätningar och insamling av all nödvändig mätdata, kunde vi under augusti månad börja med vår statistikstudie. Denna utgörs av flera delar. Vi undersöker precision, noggrannhet och initialiseringstider samt hur dessa är beroende av avståndet till referensstationen. Detta för att se om det finns någon skillnad mellan nätverks-RTK och traditionell RTK. Vi använde dessutom två olika antenner vid mätningarna och en jämförelse dessa emellan har också gjorts. Vid statistikanalysen antar vi normalfördelning hos mätvärdena.

Beräkningarna är gjorda i Microsoft Excel och resultaten redovisas i tabell- och diagramform. Tabellerna återfinns i detta kapitel och diagram finnes i bilagor.

7.1 Medelavvikelse

För att kunna se om våra mätningar var belastade med systematiska fel har vi gjort en uträkning av medelavvikelsen. Vid beräkning av denna använde vi avvikelsen mellan det mätta och det sanna värdet. Detta gjordes separat för plan (X och Y) och höjd (Z). Resultatet, som ska vara så nära noll som möjligt för att inte visa på systematiska fel, redovisas nedan i tabell 7.1.

PUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8
Avstånd till ref.station (km) *	0,5	3,9	5,4	7,2	10,1	12,4	14,9	17,9
MEDELAVVIK. I PLAN (X)								
Trad. RTK antenn A	-3	2	-4	-4	-9	-5	-5	-3
Nätverks-RTK antenn A	1	4	2	5	5	4	7	2
Trad. RTK antenn B	-1	-2	-5	-6	-2	-3	-7	-
Nätverks-RTK antenn B	0	-1	6	4	4	5	3	-
MEDELAVVIK. I PLAN (Y)								
Trad. RTK antenn A	3	6	0	3	7	2	6	-4
Nätverks-RTK antenn A	2	-3	-5	-1	-2	-3	-3	3
Trad. RTK antenn B	1	3	5	0	3	3	5	-
Nätverks-RTK antenn B	-3	-7	-2	-2	-8	-2	-8	-
MEDELAVVIK. I HÖJD (Z)								
Trad. RTK antenn A	2	2	6	4	7	11	2	-5
Nätverks-RTK antenn A	-2	2	-6	-12	-8	-11	-2	5
Trad. RTK antenn B	17	16	27	20	26	28	30	-
Nätverks-RTK antenn B	10	18	6	10	16	5	17	-

Tabell 7.1: Medelavvikelsen i mm för respektive teknik och antenn.

* Gäller för Traditionell RTK

7.2 Precision

Precisionen som anger spridningen kring mätseriens medelvärde har beräknats med hjälp av standardavvikelsen. Formeln för denna redovisas i kapitel 5.2.

På varje punkt har 400 mätningar gjorts. Detta gav oss 100 olika mätvärden för respektive teknik och antenn på varje punkt. Medelvärdet av dessa 100 mätvärden har räknats fram, vilket har gett oss fyra medelvärden för varje punkt. Spridningen kring dessa har sedan kunnat beräknas och resultatet framgår av tabell 7.2. Detta redovisas separat för plan (X och Y) och höjd (Z).

PUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8
Avstånd till ref.station (km) *	0,5	3,9	5,4	7,2	10,1	12,4	14,9	17,9
PRECISION I PLAN (X)								
Trad. RTK antenn A	4	4	3	5	4	6	7	8
Nätverks-RTK antenn A	7	6	5	6	6	5	7	6
Trad. RTK antenn B	5	4	4	5	5	5	7	-
Nätverks-RTK antenn B	6	5	5	6	10	5	6	-
PRECISION I PLAN (Y)								
Trad. RTK antenn A	4	2	2	3	4	4	3	6
Nätverks-RTK antenn A	6	3	4	4	4	3	4	4
Trad. RTK antenn B	4	3	3	4	4	4	3	-
Nätverks-RTK antenn B	5	3	4	4	4	3	4	-
PRECISION I HÖJD (Z)								
Trad. RTK antenn A	10	7	6	9	10	9	9	15
Nätverks-RTK antenn A	15	9	8	10	8	20	10	12
Trad. RTK antenn B	12	8	7	11	13	12	15	-
Nätverks-RTK antenn B	14	9	10	13	14	12	10	-

Tabell 7.2: Precisionen, avvikelse i mm från mätseriens medelvärde.

* Gäller för Traditionell RTK

7.3 Noggrannhet

Noggrannheten beskriver spridningen kring punktens sanna värde. Formeln för denna finns i kapitel 5.4. För att kunna se om noggrannheten skiljer sig mellan de båda teknikerna och antennerna har vi beräknat hur varje mätning avviker från det sanna värdet. I bilagorna 10.1 och 10.2 redovisas detta med hjälp av spridningsdiagram och i tabell 7.3 har en sammanställning av kvalitetsvärdena gjorts för varje punkt och teknik.

PUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8
Avstånd till ref.station (km) *	0,5	3,9	5,4	7,2	10,1	12,4	14,9	17,9
NOGGRANNHET I PLAN (X)								
Trad. RTK antenn A	7	7	6	10	11	9	10	12
Nätverks-RTK antenn A	12	11	8	10	10	7	12	8
Trad. RTK antenn B	8	7	8	13	10	7	15	-
Nätverks-RTK antenn B	12	8	9	11	14	10	10	-
NOGGRANNHET I PLAN (Y)								
Trad. RTK antenn A	9	7	3	5	10	8	13	8
Nätverks-RTK antenn A	10	5	8	5	6	6	6	7
Trad. RTK antenn B	7	7	7	9	11	12	11	-
Nätverks-RTK antenn B	10	9	6	8	10	6	11	-
NOGGRANNHET I HÖJD (Z)								
Trad. RTK antenn A	17	10	10	14	17	18	18	22
Nätverks-RTK antenn A	21	24	14	18	15	25	19	15
Trad. RTK antenn B	23	21	30	28	33	33	38	-
Nätverks-RTK antenn B	28	27	17	20	28	17	26	-

Tabell 7.3: Noggrannheten, avvikelser i mm från det sanna värdet.

* Gäller för Traditionell RTK

7.4 Initialiseringstid

Vid varje mätning antecknade vi tiden det tog för att nå fixlösning. Detta använde vi sedan för att göra en sammanställning över initialiseringstiderna, vilken visas i tabell 7.4. Här har vi tittat på medeltiden till fixlösning, den totala initialiseringstiden samt antalet misslyckade försök vid varje punkt.

PUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8
Avstånd till ref.station (km) *	0,5	3,9	5,4	7,2	10,1	12,4	14,9	17,9
INITIAL.TID MEDEL								
Trad. RTK antenn A	21	23	20	24	36	17	21	51
Nätverks-RTK antenn A	18	18	16	18	17	31	16	37
Trad. RTK antenn B	71	51	87	36	29	41	24	-
Nätverks-RTK antenn B	59	27	39	17	26	16	18	-
INITIAL.TID TOTAL								
Trad. RTK antenn A	168	187	161	191	287	132	167	512
Nätverks-RTK antenn A	143	142	131	146	134	248	126	372
Trad. RTK antenn B	568	412	693	284	234	325	190	-
Nätverks-RTK antenn B	470	217	314	131	207	129	146	-
LÄNGSTA INITIAL.TID								
Trad. RTK antenn A	90	55	36	66	79	40	48	155
Nätverks-RTK antenn A	23	24	24	31	20	116	18	104
Trad. RTK antenn B	180	92	171	86	64	99	54	-
Nätverks-RTK antenn B	120	81	168	20	53	24	26	-
ANTAL MISSLYCKADE FÖRSÖK								
Trad. RTK antenn A	-	-	-	-	-	-	-	-
Nätverks-RTK antenn A	-	-	-	-	-	4	-	-
Trad. RTK antenn B	1	-	1	-	1	2	-	-
Nätverks-RTK antenn B	3	-	3	-	-	-	-	-

Tabell 7.4: Sammanställning av initialiseringstiden.

* Gäller för Traditionell RTK

7.5 Avståndsberoende Traditionell RTK

För traditionell RTK ville vi undersöka hur precision (höjd och plan), noggrannhet (höjd och plan) och initialiseringstid förändras med ökat avstånd till den fasta referensstationen.

Med hjälp av regressionsanalys har vi uppskattat de avståndsberoende parametrarna. I kapitel 5.5 redogörs tillvägagångssättet och de formler som används vid denna analys.

Vid studie av noggrannhetens avståndsberoende har vi använt samtliga mätningars avvikelser från det sanna värdet. Dessa tillsammans med baslinjernas längd används för att få fram ett resultat. Likadant har gjorts vid analys av precisionen, men här användes istället avvikelsen från medelvärdet. Samtliga initialiseringstider har utnyttjats för att kunna undersöka dess avståndsberoende.

En redovisning av den radiella planavvikelsen, den absoluta höjdavvikelsen samt initialiseringstiden görs även i form av diagram i bilagorna 10.3, 10.4 och 10.5. Här har vi infogat regressionslinjen som visar den linjära trenden för hur avvikelsen samt tiden för initialisering förändras med avståndet. I tabell 7.5 sammanställs de avståndsberoende parametrarna för traditionell RTK med både antenn A och antenn B.

PRECISION I PLAN	
Trad. RTK antenn A	3,02 mm + 0,25 ppm
Trad. RTK antenn B	4,14 mm + 0,12 ppm
PRECISION I HÖJD	
Trad. RTK antenn A	5,12 mm + 0,24 ppm
Trad. RTK antenn B	6,59 mm + 0,22 ppm
NOGGRANNHET I PLAN	
Trad. RTK antenn A	7,34 mm + 0,38 ppm
Trad. RTK antenn B	8,25 mm + 0,49 ppm
NOGGRANNHET I HÖJD	
Trad. RTK antenn A	11,90 mm + 0,28 ppm
Trad. RTK antenn B	16,66 mm + 1,054 ppm
INITIALISERINGSTID	
Trad. RTK antenn A	16,37 sek + 1,18 * antal km
Trad. RTK antenn B	90,72 sek - 2,79 * antal km

Tabell 7.5: Avståndsberoende för traditionell RTK med antenn A och B.

7.6 Synpunkter/Reflexioner

På grund av att det finns stora spänningar i Svedalas stompunktsnät kunde vi inte använda punkternas kända koordinater som de sanna värdena. Detta utgjorde ett problem vid vår statistiska analys. Men eftersom vi utfört ett väldigt stort antal mätningar, närmare 400 st, på varje punkt ansåg vi att ett tillförlitligt sant värde kunde erhållas genom att räkna ut medelvärdet utav alla mätningar. Det visade sig dock att skillnaden i höjd var stor mellan de båda antennerna. Eftersom antenn B aldrig förr varit testad och antenn A är en redan väletablerad antenn på marknaden, valde vi att endast använda höjdvärdena från mätningarna med antenn A vid beräkning av det sanna värdet i höjd. Notera att vi vid punkt åtta endast mätt med antenn A, därav saknad av värden i dessa tabeller.

Gällande avståndsberoendet har detta endast tagits upp för Traditionell RTK. Detta eftersom tekniken bakom Nätverks-RTK bygger på att en virtuell referensstation hela tiden skapas nära mottagaren. Därmed ska inget betydande avståndsberoende finnas.

Angående initialiseringstiderna för Traditionell RTK hade dessa kanske kunnat förbättras genom att vi istället för radiolänk använt oss av GSM-länk.

Tyvärr användes inte fascenterkalibreringsdata för antenn B i mottagaren, vilket gör det svårare att dra några slutsatser om spridning i resultaten.

8 Diskussion och slutsats

Målet med detta examensarbete har i stort gått ut på att undersöka kvalitet och mätkapacitet hos två olika positionbestämningsmetoder inom GPS. Tanken är att den ena metoden, Nätverks-RTK, i framtiden helt ska kunna ersätta den andra metoden, Traditionell RTK.

Är detta möjligt utan att vid inmätningar få försämrade resultat eller lönar det sig att behålla Traditionell RTK för mätning vid kortare baslinjer?

För att kontrollera om det finns påfallande skillnader mellan de två teknikerna har vi genom en fältstudie och en statistikstudie granskat precision, noggrannhet och initialiseringstider. För att kunna utvärdera prestanda hos Traditionell RTK har vi för denna metod dessutom undersökt avståndsberoendet.

Totalt har 400 mätningar gjorts. Hälften är gjorda med en redan prövad antenn (antenn A) och hälften med en ny, icke tidigare testad antenn (antenn B).

Som tidigare nämnts visade det sig att Svedala kommun har spänningar på upp till ca 1,5 dm i sitt stompunktsnät. Detta medförde att vi i den statistiska analysen inte kunde anta de befintliga koordinaterna som sanna. För att på annat sätt få fram ett pålitligt sant värde finns en del olika tillvägagångssätt. Man kan t.ex. välja att göra en statisk observation om ca 3 timmar, som då skulle ge en mycket noggrann bestämning av punkternas koordinater. Eftersom vår fältstudie har gett oss ett stort antal mätvärden har vi istället valt att utifrån dessa beräkna ett medelvärde som vi sedan satt som det sanna värdet. Detta är ett alternativ likvärdigt med statisk inmätning.

Väljer man att göra på detta sätt måste man däremot vara vaksam så att eventuella grova fel plockas bort innan medelvärdesbildningen görs. Det har visat sig att antenn Bs mätvärden i höjddled skiljer sig från mätningar gjorda med antenn A. På grund av detta valde vi att beräkna noggrannheten i Z-led utifrån ett sant värde baserat enbart på antenn As värden. Vi kan därmed inte med full säkerhet säga att den ena antennen är bättre än den andra vad gäller noggrannhet i höjd.

Precision i plan

Antenn A

Traditionell RTK visar bättre värden än Nätverks-RTK fram till och med punkt fem. Efter denna punkt uppvisar resultaten för traditionell RTK en tendens till försämring.

Nätverks-RTK visar däremot överlag stabila värden oavsett punkt.

Antenn B

Traditionell RTK visar bättre värden än Nätverks-RTK fram till och med punkt fem. Efter denna punkt uppvisar resultaten för traditionell RTK en tendens till försämring.

Nätverks-RTK visar däremot överlag stabila värden oavsett punkt. Med undantag för en avstickare på punkt fem.

Antenn A och antenn B

Värdena uppvisar ingen markant skillnad mellan antennerna, varken för Traditionell RTK eller för Nätverks-RTK.

Precision i höjd

Antenn A

Traditionell RTK visar stabila värden fram till och med punkt sju. Punkt åtta visar ett relativt kraftigt försämrat värde. Resultaten för Nätverks-RTK är ostabila.

Antenn B

Värdena skiljer sig inte mycket åt mellan de båda mätteknikerna, möjligen har Traditionell RTK något bättre resultat.

Antenn A och antenn B

Något större skillnad i resultat för de olika antennerna jämfört med resultaten i plan. Antenn A uppvisar lite bättre värden.

Noggrannhet i plan

Antenn A

Traditionell RTK uppvisar bättre resultat än Nätverks-RTK fram till och med punkt tre. Därefter försämras värdena för Traditionell RTK. Nätverks-RTK visar stabila värden och en jämn noggrannhet.

Antenn B

Traditionell RTK uppvisar bättre resultat än Nätverks-RTK fram till och med punkt tre. Efter denna punkt skiljer sig värdena inte mycket åt mellan teknikerna.

Sammanfattningsvis:

Punkt 1 - 3 visar Traditionell RTK bättre noggrannhet.

Punkt 4 - 5 finns ingen större skillnad mellan metoderna.

Punkt 6 - 8 visar Nätverks-RTK bättre noggrannhet.

Antenn A och antenn B

För Traditionell RTK visar mätning med antenn B på något sämre värden än vid mätning med antenn A. För Nätverks-RTK visar mätning med antenn B på tydligt sämre resultat än vid mätning med antenn A.

Noggrannhet i höjd

Antenn A

Traditionell RTK har bättre värden än Nätverks-RTK fram till och med punkt tre, sedan försämras resultaten något för Traditionell RTK. Överlag visar här Nätverks-RTK lite sämre noggrannhet än Traditionell RTK.

Antenn B

Traditionell RTK uppvisar sämre resultat än Nätverks-RTK på i stort sett alla punkter.

Sammanfattningsvis:

Punkt 1 - 3 visar Traditionell RTK bättre noggrannhet.

Punkt 4 - 8 finns ingen stor skillnad mellan de båda metoderna.

Antenn A och antenn B

Här uppvisar antenn B sämre resultat än antenn A.

Initialiseringstid

Antenn A

Överlag har Nätverks-RTK kortare initialiseringstid än Traditionell RTK. På punkt sex visar däremot Traditionell RTK på en snabbare tid till fixlösning än Nätverks-RTK. Detta eftersom Nätverks-RTK på denna punkt har haft fyra misslyckade försök. Annars uppvisar Nätverks-RTK stabil initialiseringstid på alla punkter med undantag för två utstickare.

Antenn B

Mätning med antenn B visar på en liknande tendens som mätning med antenn A, dvs. att Nätverks-RTK i stort har kortare tid till fixlösning än Traditionell RTK.

Antenn A och antenn B

Vid mätning med antenn B är initialiseringstiden längre än vid mätning med antenn A för både Traditionell RTK och för Nätverks-RTK. Antal misslyckade försök för att nå fixlösning är också fler vid mätning med antenn B.

Avståndsberoende

Antenn A

- Precision: Resultatet visar på ett avståndsberoende. Det finns ingen större skillnad på försämring med avståndet i höjd respektive plan.
- Noggrannhet: Resultatet visar på ett avståndsberoende. Noggrannheten försämras med avståndet mer i plan än i höjd.
- Initialiseringstid: Resultatet visar på ett avståndsberoende med en förlängning av initialiseringstiden på 1,18 sekunder per kilometer.

I plan försämras noggrannheten med avståndet mer än vad precisionen gör. I höjd finns ingen större skillnad i försämring mellan noggrannhet och precision.

Antenn B

- Precision: Resultatet visar på ett avståndsberoende. Försämringen med avståndet i höjd är något större än den i plan.
- Noggrannhet: Resultatet visar på ett avståndsberoende. Här försämras noggrannheten i höjd med avståndet betydligt mer än vad den gör i plan.
- Initialiseringstid: Resultatet för antenn B visar en ojämn struktur. En del ominitialiseringar har gjorts med denna antenn och vid analys av avståndsberoendet uppvisade regressionslinjen en negativ trend. Dvs. att initialiseringstiden skulle bli kortare ju längre baslinjerna blir.

Noggrannheten försämras med avståndet betydligt mer än vad precisionen gör, både i höjd och i plan.

Antenn A och antenn B

- Precision: Enligt resultatet i regressionsanalysen är mätningar med antenn B mindre avståndsberoende än mätningar med antenn A, både i plan och höjd. Däremot har antenn B ett större fel från början, i både plan och höjd.
- Noggrannhet: Här visar resultatet att mätningar med antenn A har ett mindre avståndsberoende i plan än mätningar med antenn B och ett betydligt mindre avståndsberoende i höjd än antenn B. I både plan och höjd har antenn B ett större fel än antenn A från början.
- Initialiseringstid: Antenn A visar en kontinuerligt förlängd initialiseringstid med avståndet. Antenn B däremot har vid mätningar haft några misslyckade försök och en hel del tider som stuckit ut från mängden s.k. outliers. Detta har lett till en negativt riktad regressionslinje.

För att återgå till de hypoteser som antogs i början av arbetet kan man säga att dessa i stort sett stämmer överens med de resultat som vi kommit fram till. Att Traditionell RTK visar försämrad precision och noggrannhet med ökat avstånd från sin referensstation är riktigt. Det som tydligast syns är försämringen av noggrannheten i plan.

Att initialiseringstiderna för Traditionell RTK blir längre med ökat avstånd från sin referensstation stämmer också, i alla fall för mätningar med antenn A. Resultaten för antenn B visar på en annan trend än vad vi trodde. Men eftersom detta är en ny, icke prövad antenn kan kanske detta bero på ett konstruktionsfel.

Initialiseringstiderna beror även mycket på satellitkonfiguration och mottagningsförhållanden. Vad avser antenn B kan den längre tiden till fix bero på dåligt signal/brus förhållande i mottagarens mixer pga. olämplig förstärkning i antennen med avsikt på den använda mottagaren.

Att Nätverks-RTK visar stabilare värden än Traditionell RTK är något vi också kan hålla med om. Det visar sig främst för precision och noggrannhet i plan, inte lika tydlig tendens i höjddled.

Vad gäller initialiseringstiderna för Nätverks-RTK är de överlag kortare än de för Traditionell RTK. Däremot finner vi ungefär samma stabilitet i värdena för båda metoderna.

9 Källförteckning

Litteratur

Alm Malin, Munsin Stina, Lund 2003, *Traditionell RTK kontra nätverks-RTK – en noggrannhetsjämförelse*, Lunds Tekniska Högskola.

Arnzén Sylve, Sundbyberg 1993, *Satellitnavigeringssystemet GPS Översikt över funktion och prestanda samt utvecklingstendenser i stort*, FOA-rapport.

Boman Jerker, Stockholm 2000, *RTK at long distances with a dual frequency GPS/GLONASS receiver*, Kungliga Tekniska Högskolan, Inst för geodesi och fotogrammetri.

Blom Gunnar, Holmquist Björn, Lund 1998, *Statistikteori med tillämpningar*, Studentlitteratur.

Eurenus Bengt, Gävle 1995, *Stomnät och metodik för detaljmätning med GPS – nuläge december 1995*, LMV-rapport 1995:21

Jonsson Albert, Nordling Anders, Gävle 2003, *Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät*, LMV-rapport 2003:12.

Jonsson Bo, Gävle 1997, *Papers related to SWEPOS – the Swedish network of permanent reference stations for GPS Part 1*, LMV-rapport 1997:20

Körner Svante, Wahlgren Lars, Lund 1996, *Praktisk statistik*, Studentlitteratur

Körner Svante, Wahlgren Lars, Lund 1998, *Statistiska metoder*, Studentlitteratur

Leica Geosystems AB, Malmö 2004, *Grundläggande GPS*, Studentlitteratur.

Marof Azad, Stockholm 1997, *GPS: Genomgång av tillgänglig utrustning och tillämpningsmetoder*, Kungliga Tekniska Högskolan, Inst för geodesi och fotogrammetri.

Rehders Thomas, Stockholm 2000, *Noggrannhetsstudier vid RTK-mätning och kvalitetsundersökning av GPS-mottagare*, Kungliga Tekniska Högskolan, Inst för geodesi och fotogrammetri.

Internetkällor

<http://www.swepos.com/>

hämtat 2004

www.lantmateriet.se/cms/niva2index.asp?produktgrupp=4C

hämtat 2004

www.colorado.edu/.../notes/gps/gif/comtime.gif
hämtat 2004

Muntliga källor

Ellberg Lars-Erik, 2004, Svedala kommun.

Gunnarsson Jonas, 2004, Leica Geosystems AB, Malmö.

Johansson Daniel, 2004, Lantmäteriet, Gävle.

10 Bilagor

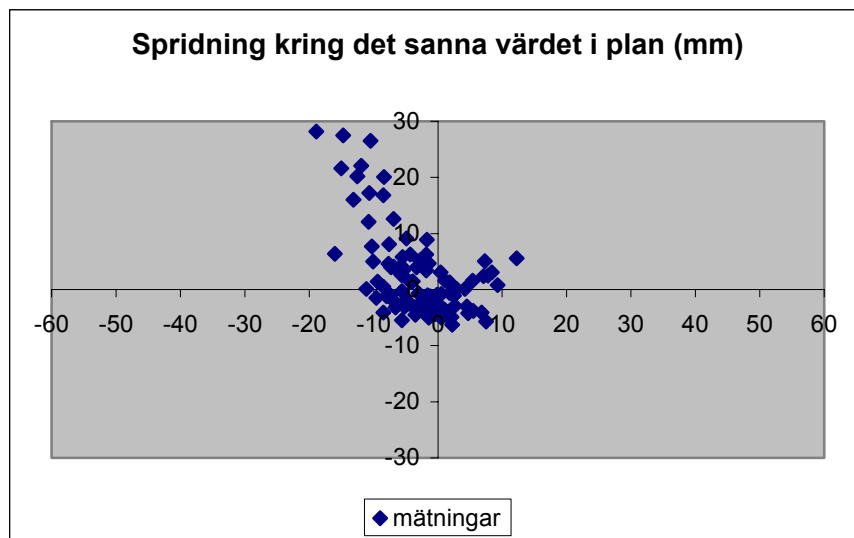
- 10.1 Spridningsdiagram Noggrannhet i plan
- 10.2 Spridningsdiagram Noggrannhet i höjd
- 10.3 Avståndsberoende T-RTK Precision
- 10.4 Avståndsberoende T-RTK Noggrannhet
- 10.5 Avståndsberoende T-RTK Initialiseringstid

10.1 Spridningsdiagram Noggrannhet i plan

Punkt 1 Baslinjelängd 557,8 m

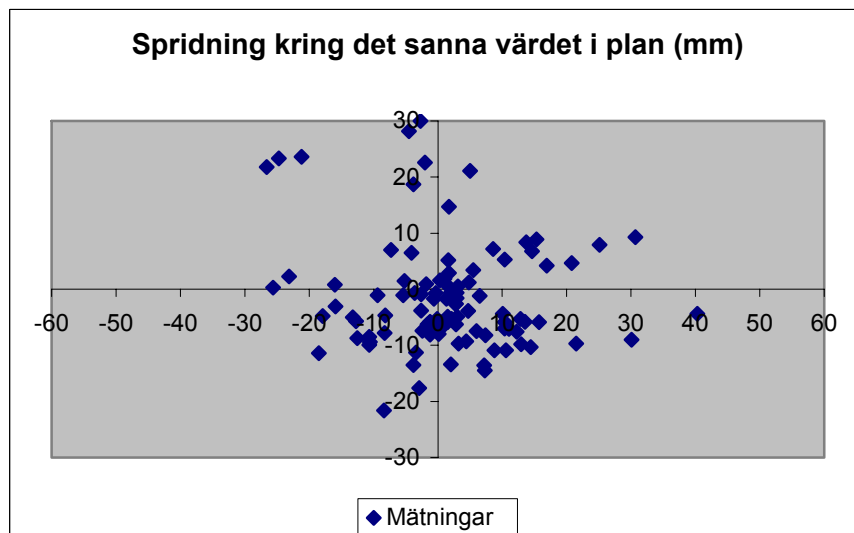
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	4	4	6
Noggrannhet (mm)	7	9	11
Medelavvik. (mm)	-3	3	4



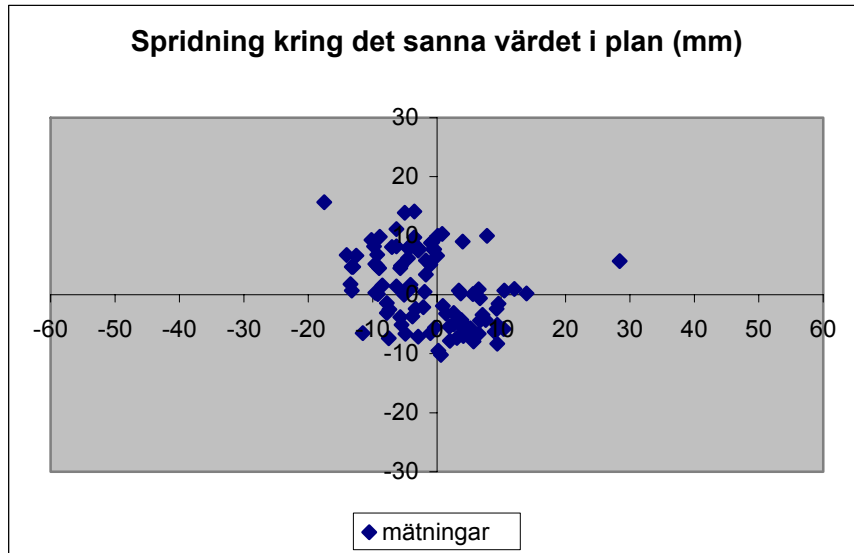
Nätverks-RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	7	6	9
Noggrannhet (mm)	12	10	16
Medelavvik. (mm)	1	2	2



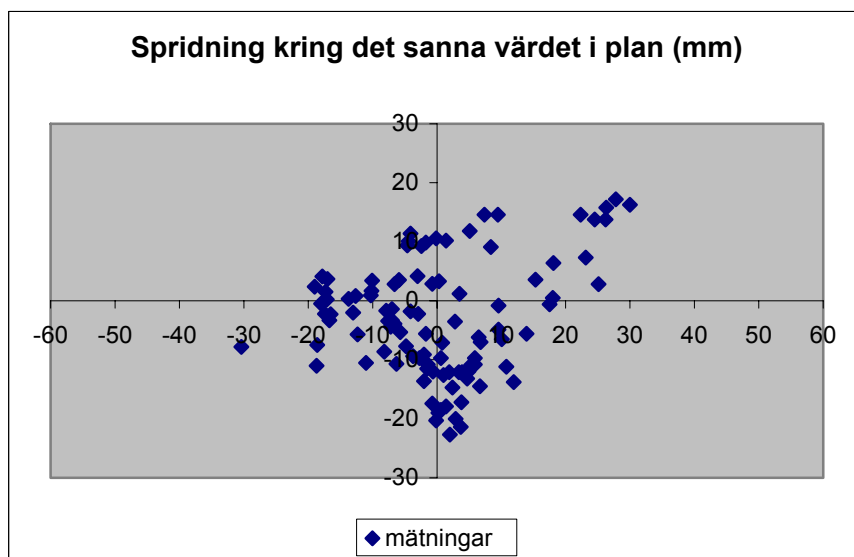
Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	4	6
Noggrannhet (mm)	8	7	11
Medelavvik. (mm)	-1	1	1



Nätverks-RTK Antenn B

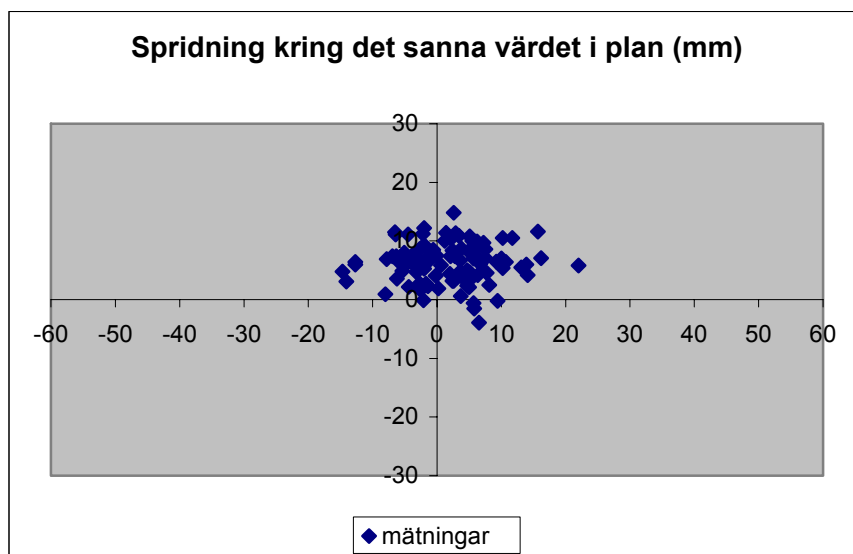
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	5	8
Noggrannhet (mm)	12	10	16
Medelavvik. (mm)	0	-3	3



Punkt 2 Baslinjelängd 3884,0 m

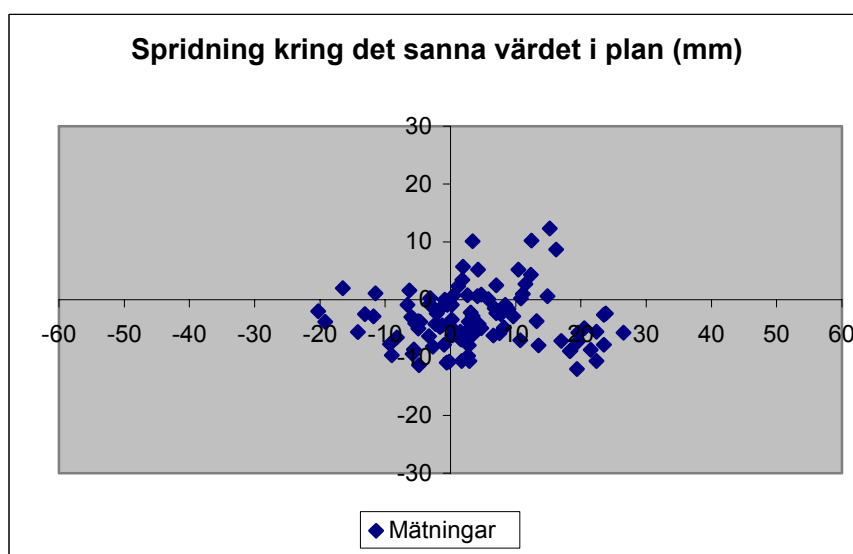
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	4	2	4
Noggrannhet (mm)	7	7	10
Medelavvik. (mm)	2	6	6



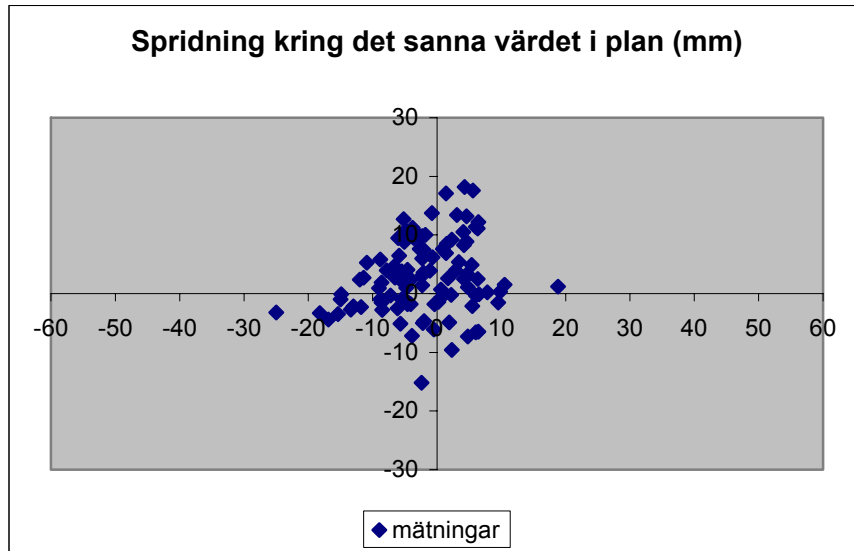
Nätverks-RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	3	7
Noggrannhet (mm)	11	5	12
Medelavvik. (mm)	4	-3	5



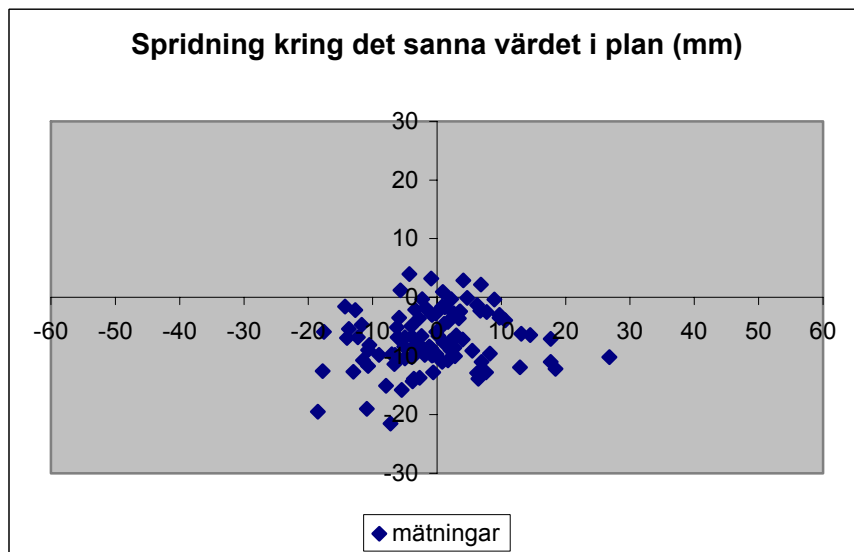
Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	4	3	5
Noggrannhet (mm)	7	7	10
Medelavvik. (mm)	-2	3	4



Nätverks-RTK Antenn B

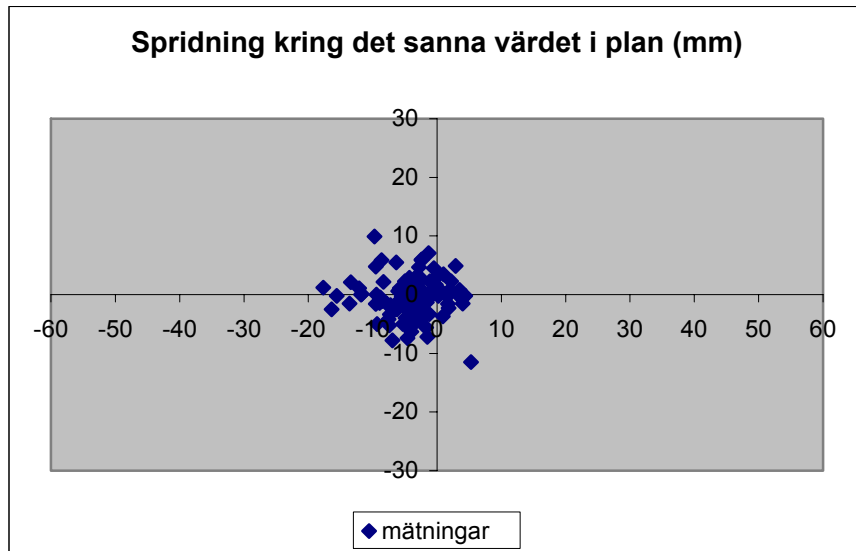
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	3	6
Noggrannhet	8	9	12
Medelavvik. (mm)	-1	-7	7



Punkt 3 Baslinjelängd 5361,4 m

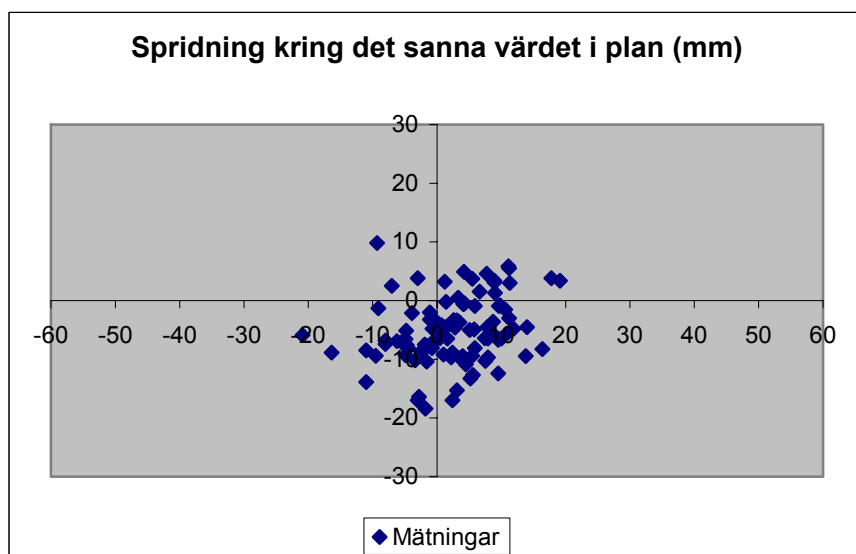
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	3	2	4
Noggrannhet (mm)	6	3	7
Medelavvik. (mm)	-4	0	4



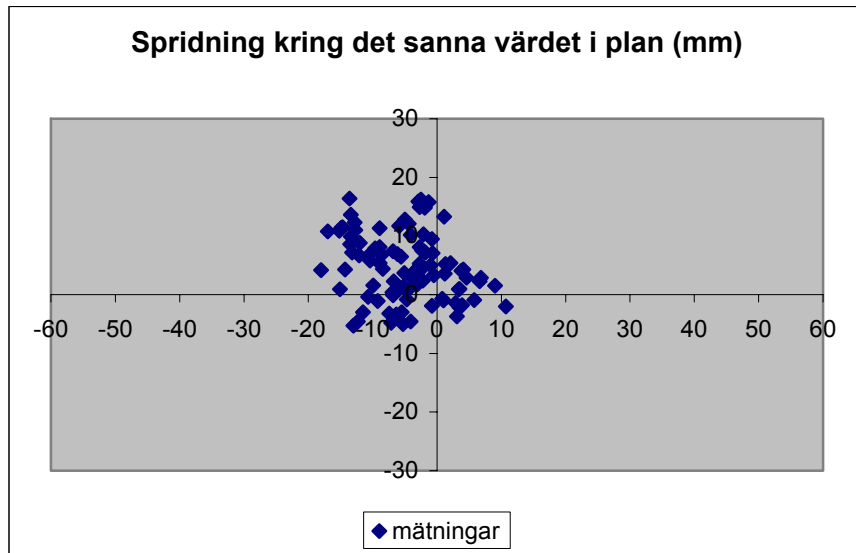
Nätverks-RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	4	6
Noggrannhet (mm)	8	8	11
Medelavvik. (mm)	2	-5	5



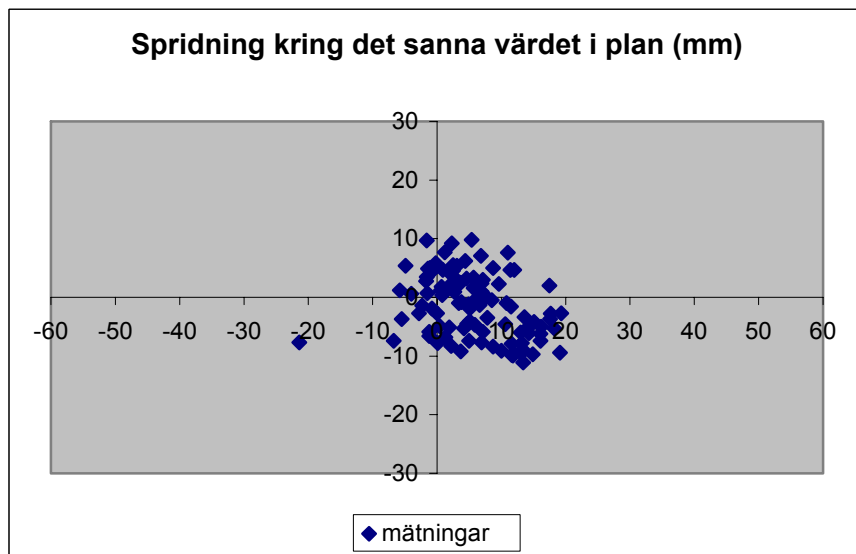
Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	4	3	5
Noggrannhet (mm)	8	7	11
Medelavvik. (mm)	-5	5	7



Nätverks-RTK Antenn B

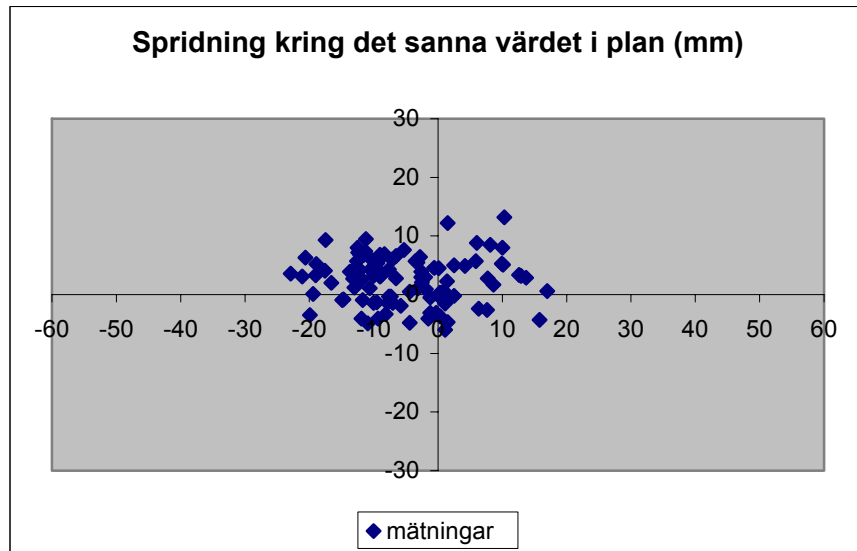
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	4	6
Noggrannhet (mm)	9	6	11
Medelavvik. (mm)	6	-2	6



Punkt 4 Baslinjelängd 7205,9 m

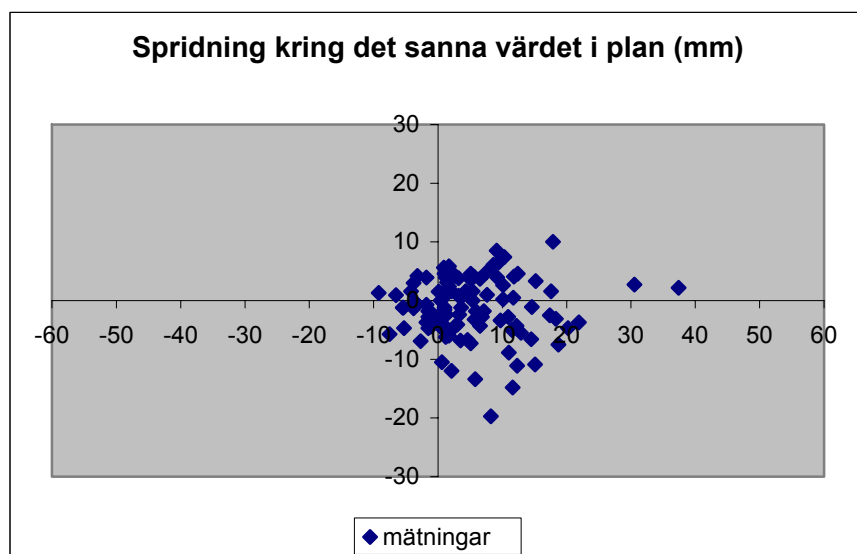
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	3	6
Noggrannhet (mm)	10	5	11
Medelavvik. (mm)	-4	3	5



Nätverks-RTK Antenn A

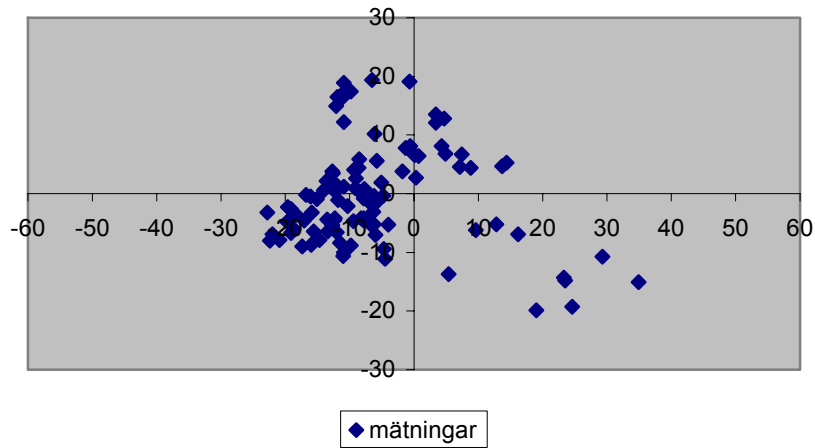
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	4	7
Noggrannhet (mm)	10	5	11
Medelavvik. (mm)	5	-1	5



Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	4	6
Noggrannhet (mm)	13	9	16
Medelavvik. (mm)	-6	0	6

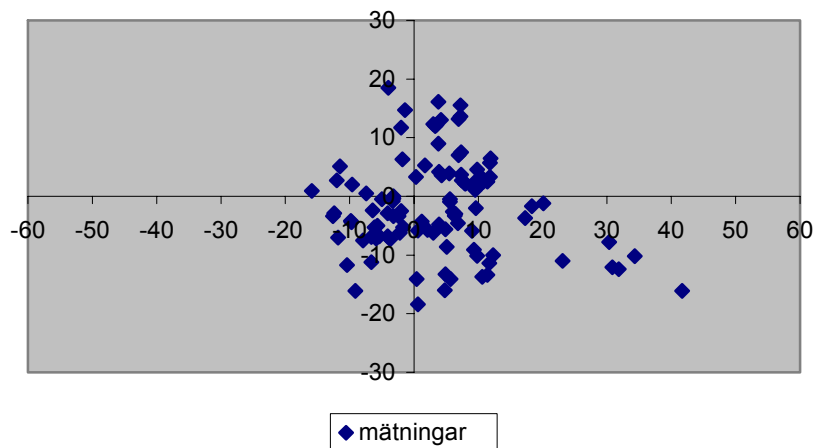
Spridning kring det sanna värdet i plan (mm)



Nätverks-RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	4	7
Noggrannhet (mm)	11	8	14
Medelavvik. (mm)	4	-2	4

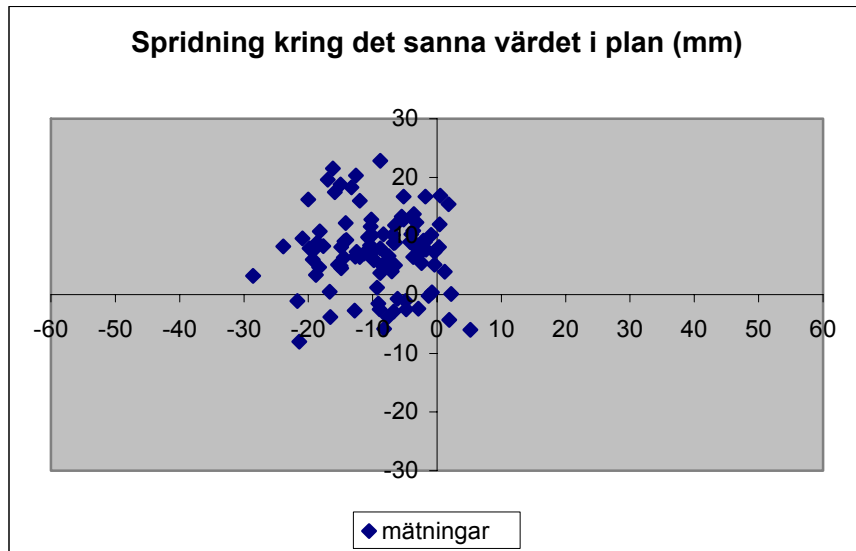
Spridning kring det sanna värdet i plan (mm)



Punkt 5 Baslinjelängd 10 069,7 m

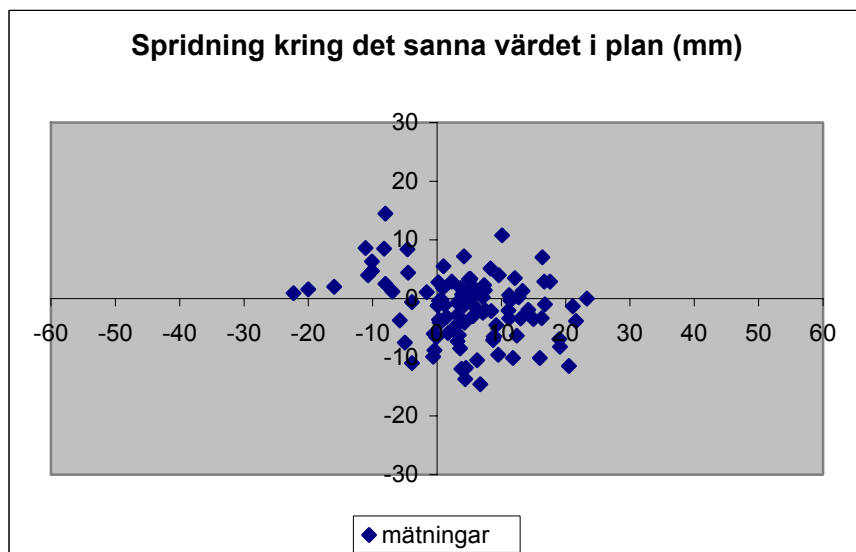
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	4	4	6
Noggrannhet (mm)	11	10	15
Medelavvik. (mm)	-9	7	11



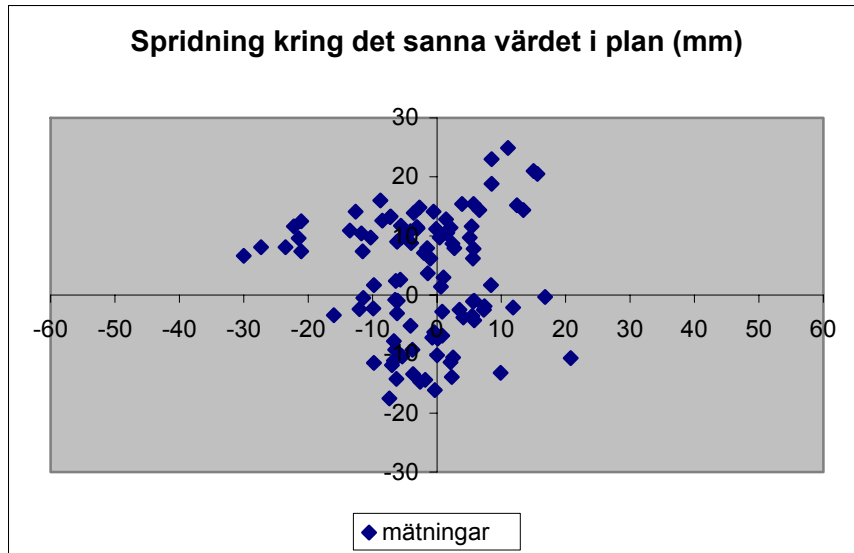
Nätverks-RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	4	7
Noggrannhet (mm)	10	6	12
Medelavvik. (mm)	5	-2	5



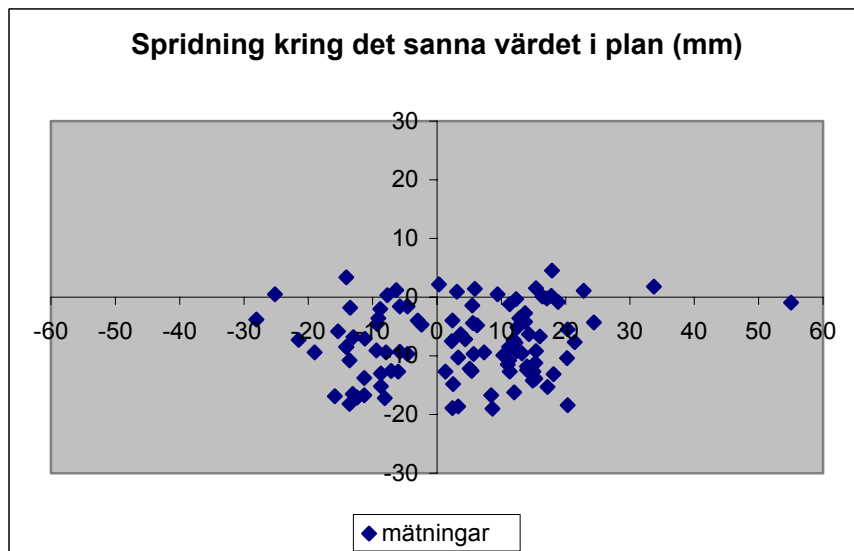
Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	4	6
Noggrannhet (mm)	10	11	15
Medelavvik. (mm)	-2	3	4



Nätverks-RTK Antenn B

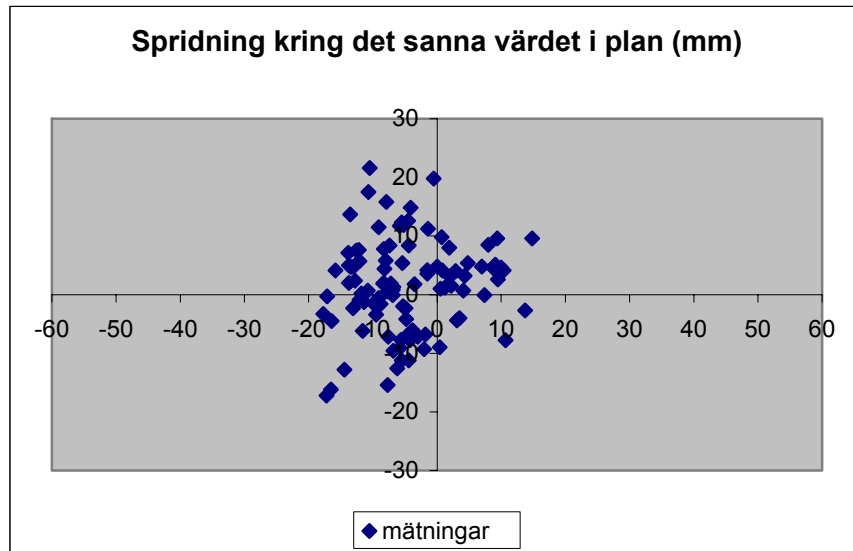
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	10	4	11
Noggrannhet (mm)	14	10	17
Medelavvik. (mm)	4	-8	9



Punkt 6 Baslinjelängd 12 416,0 m

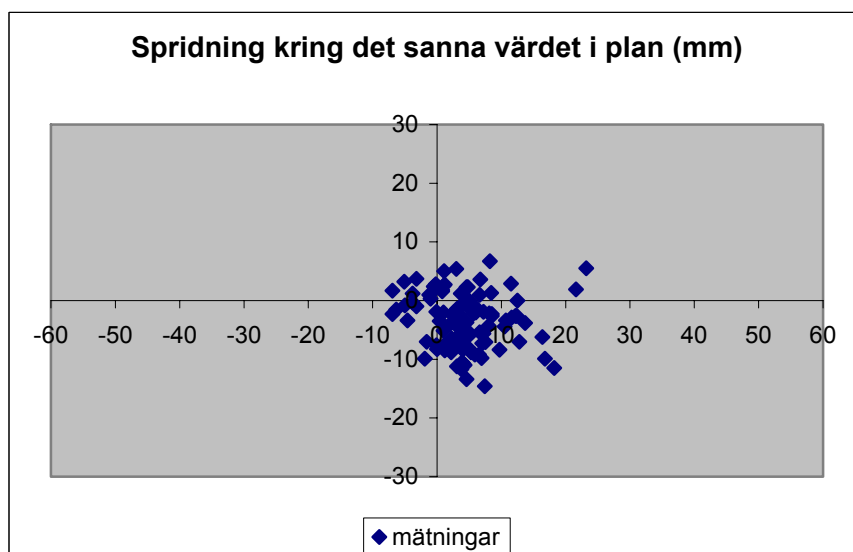
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	4	7
Noggrannhet (mm)	9	8	12
Medelavvik. (mm)	-5	2	5



Nätverks-RTK Antenn A

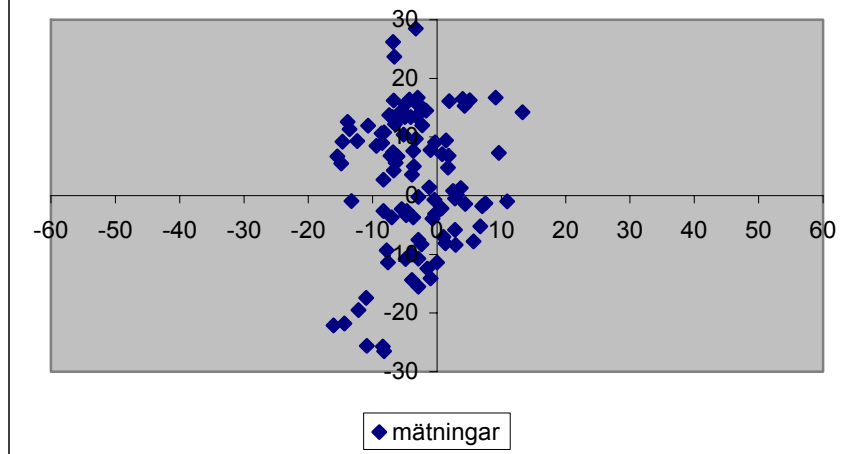
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	3	6
Noggrannhet (mm)	7	6	9
Medelavvik. (mm)	4	-3	5



Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	4	6
Noggrannhet (mm)	7	12	14
Medelavvik. (mm)	-3	3	4

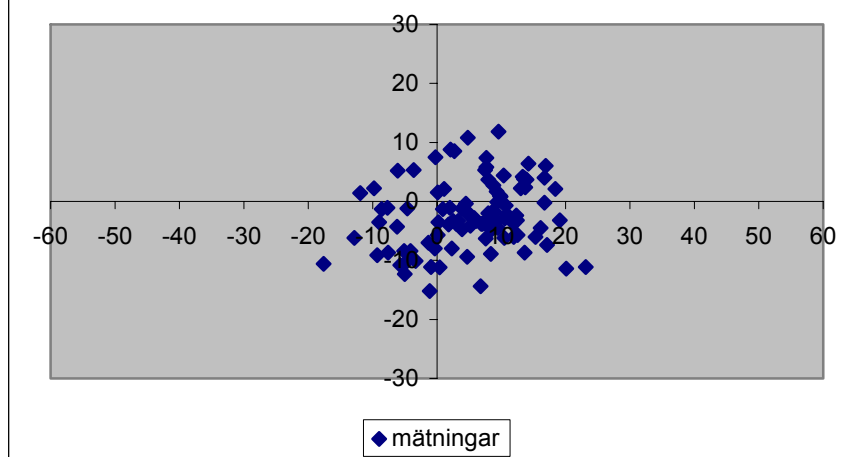
Spridning kring det sanna värdet i plan (mm)



Nätverks-RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	5	3	6
Noggrannhet (mm)	10	6	12
Medelavvik. (mm)	5	-2	5

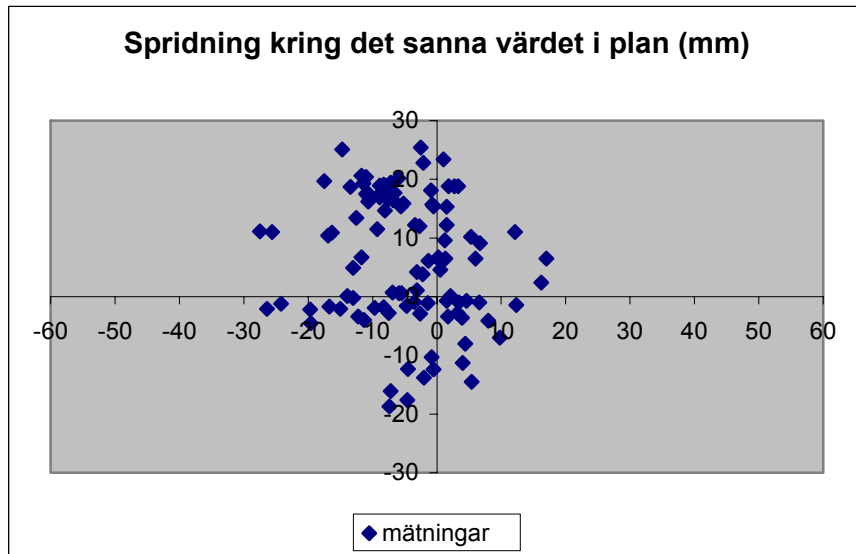
Spridning kring det sanna värdet i plan (mm)



Punkt 7 Baslinjelängd 14 849,0 m

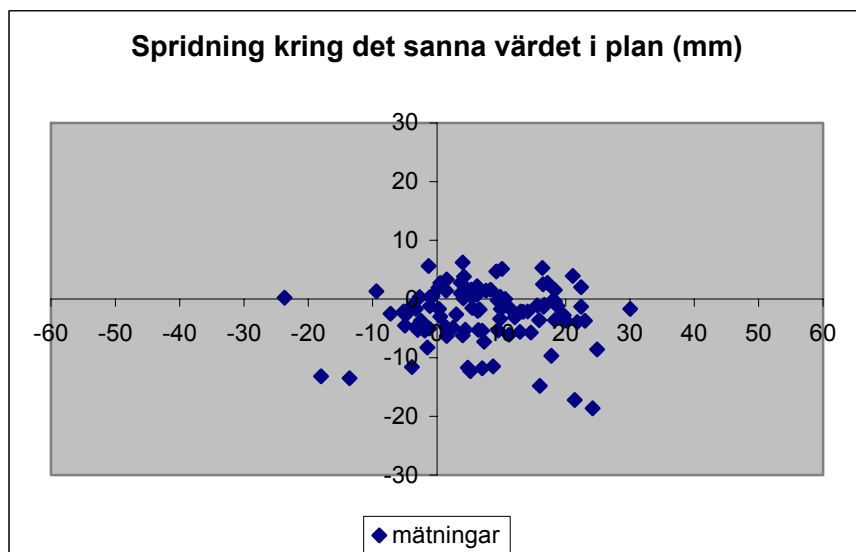
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	7	3	8
Noggrannhet (mm)	10	13	16
Medelavvik. (mm)	-5	6	8



Nätverks-RTK Antenn A

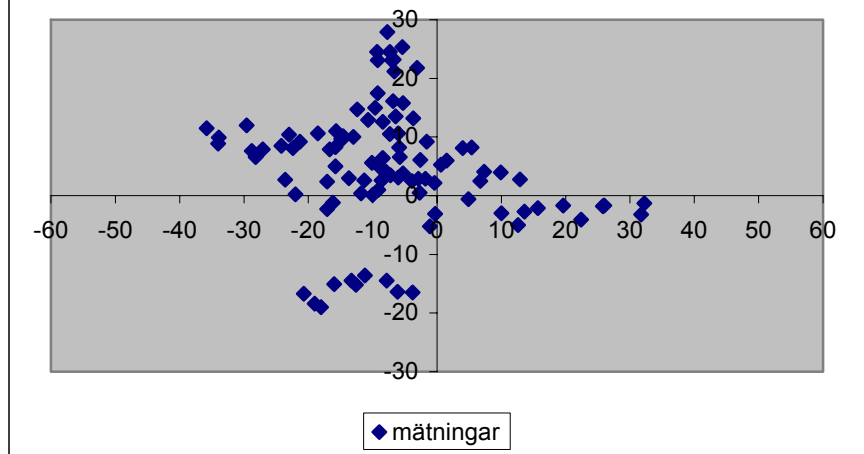
	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	7	4	8
Noggrannhet (mm)	12	6	13
Medelavvik. (mm)	7	-3	8



Traditionell RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	7	3	8
Noggrannhet (mm)	15	11	19
Medelavvik. (mm)	-7	5	9

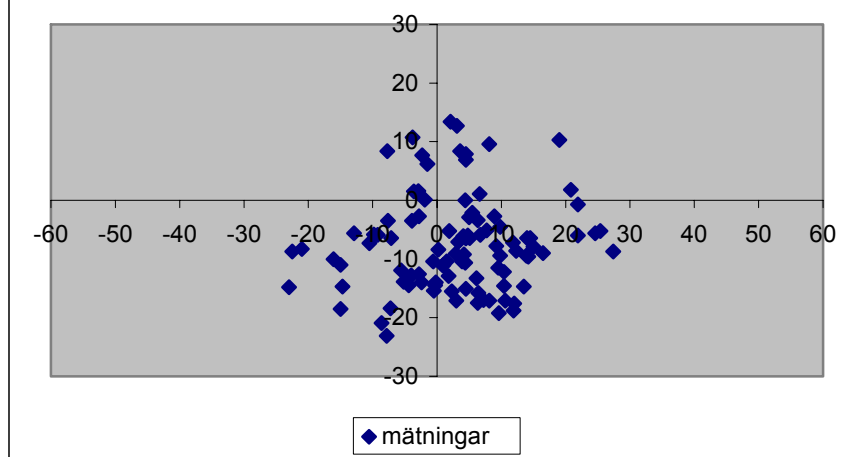
Spridning kring det sanna värdet i plan (mm)



Nätverks-RTK Antenn B

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	4	7
Noggrannhet (mm)	10	11	15
Medelavvik. (mm)	3	-8	9

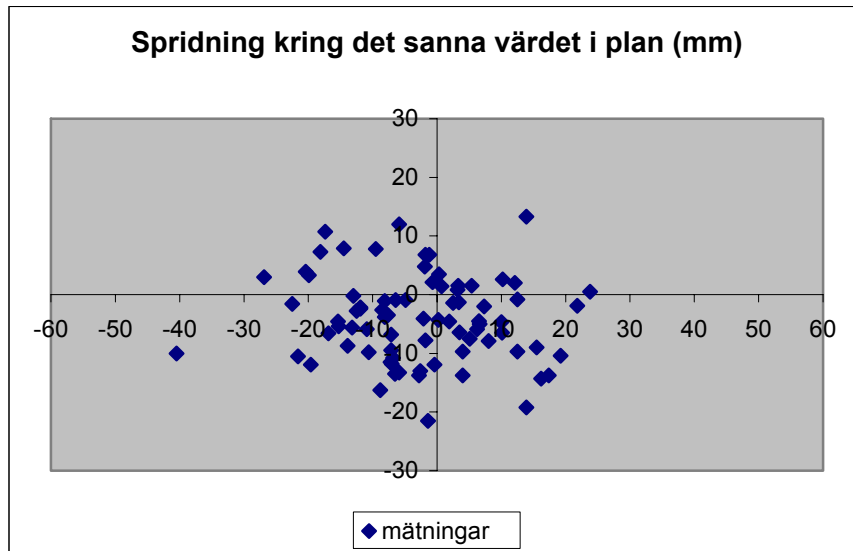
Spridning kring det sanna värdet i plan (mm)



Punkt 8 Baslinjelängd 17 989,8 m

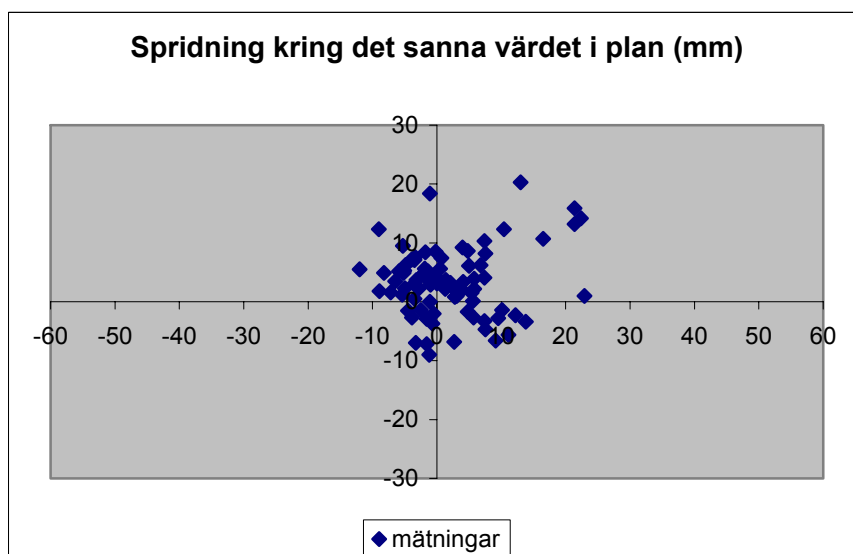
Traditionell RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	8	6	10
Noggrannhet (mm)	12	8	14
Medelavvik. (mm)	-3	-4	5



Nätverks-RTK Antenn A

	X	Y	Radiellt
Precision (mm)	6	4	7
Noggrannhet (mm)	8	7	11
Medelavvik. (mm)	2	3	4

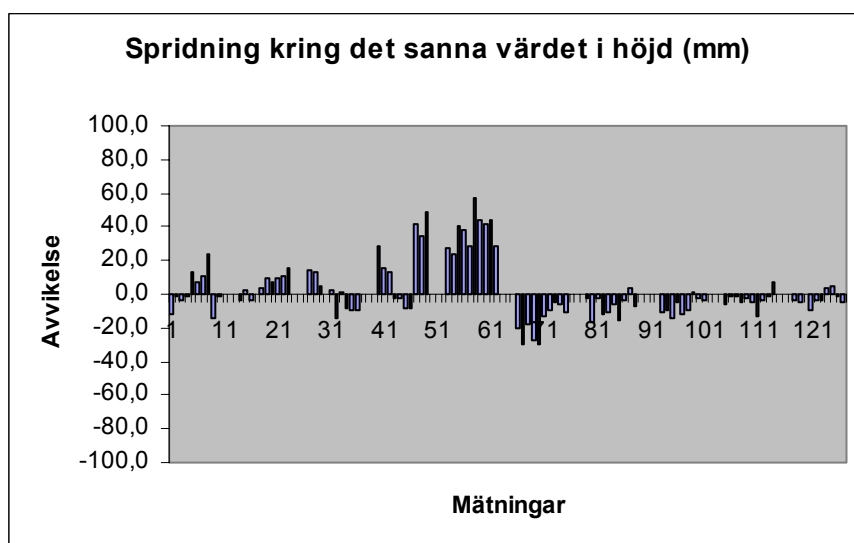


10.2 Spridningsdiagram Noggrannhet höjd

Punkt 1 Baslinjelängd 557,8 m

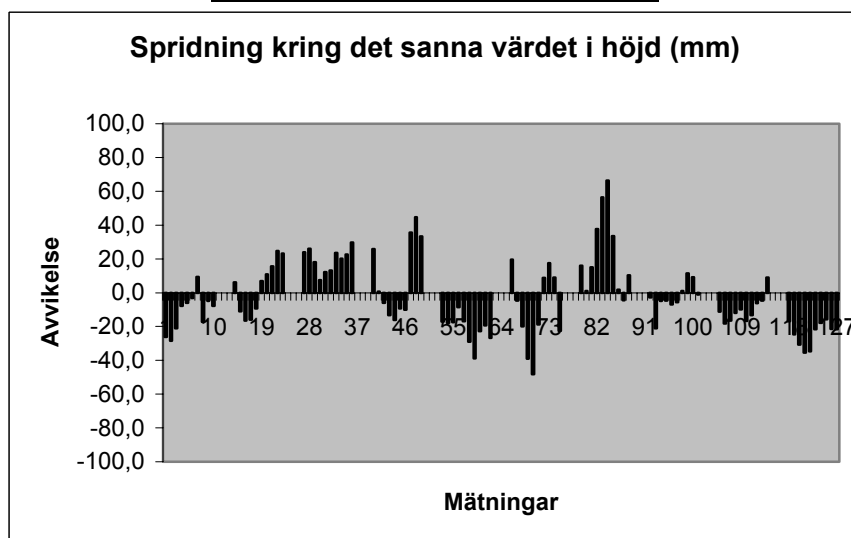
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	10
Noggrannhet	17
Medelavvik. (mm)	2



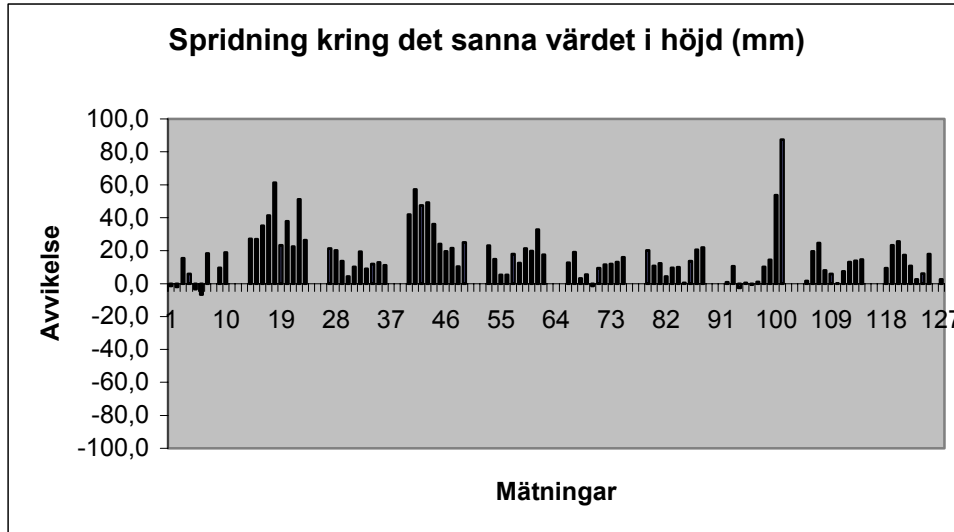
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	15
Noggrannhet	21
Medelavvik. (mm)	-2



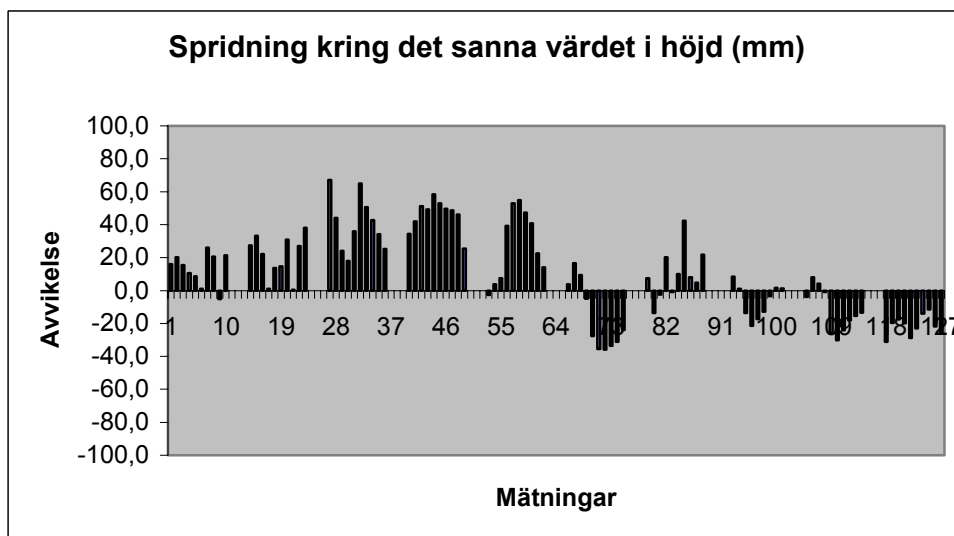
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	12
Noggrannhet	23
Medelavvik. (mm)	17



Nätverks-RTK Antenn B

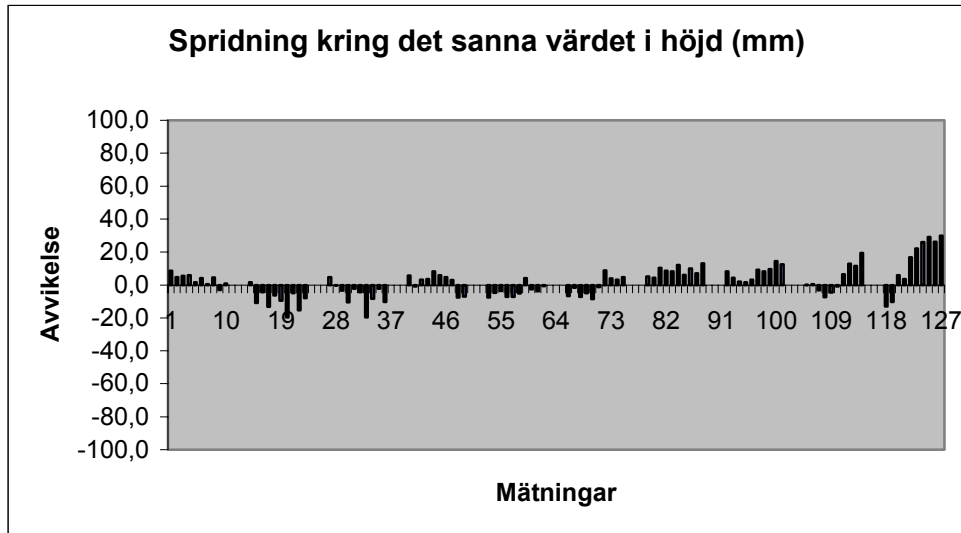
	Z
Precision (mm)	14
Noggrannhet	28
Medelavvik. (mm)	10



Punkt 2 Baslinjelängd 3884,0 m

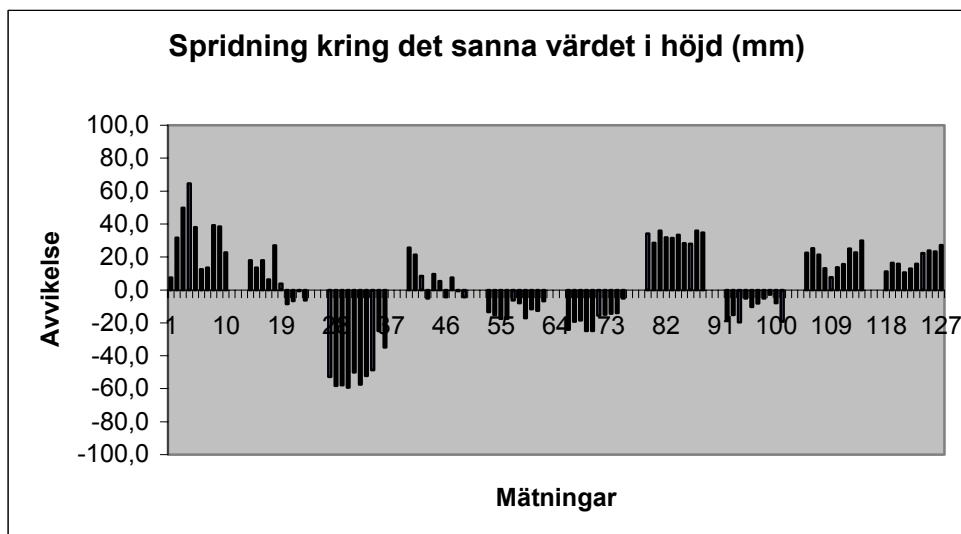
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	7
Noggrannhet	10
Medelavvik. (mm)	2



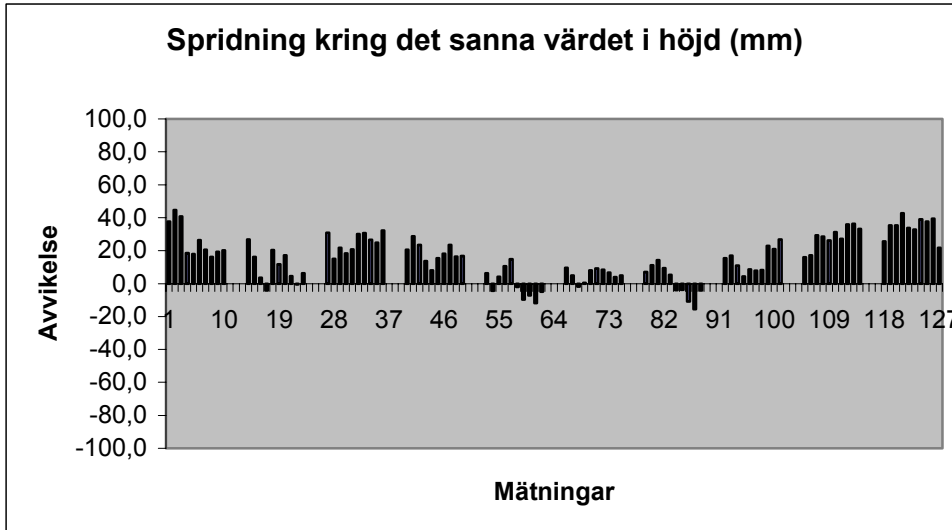
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	9
Noggrannhet	24
Medelavvik. (mm)	2



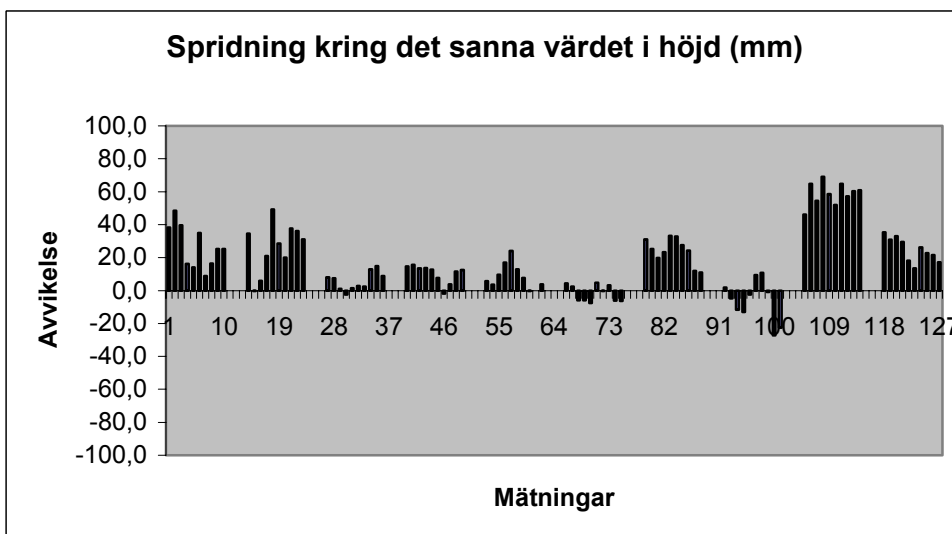
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	8
Noggrannhet	21
Medelavvik. (mm)	16



Nätverks-RTK Antenn B

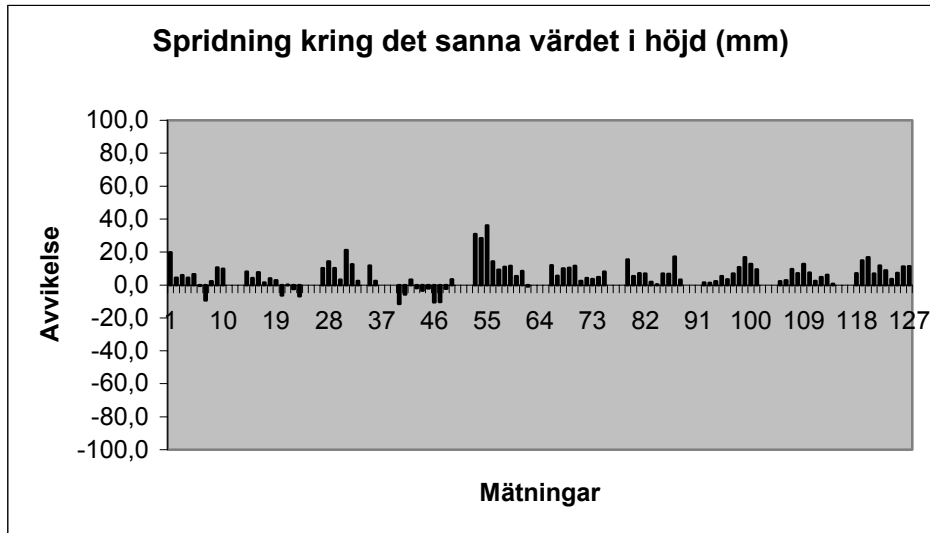
	Z
Precision (mm)	9
Noggrannhet	27
Medelavvik. (mm)	18



Punkt 3 Baslinjelängd 5361,4 m

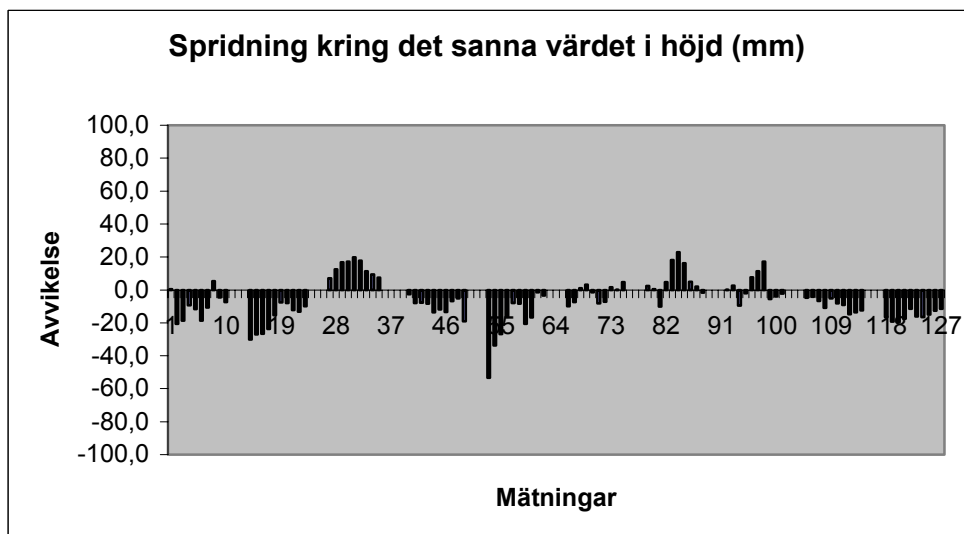
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	6
Noggrannhet	10
Medelavvik. (mm)	6



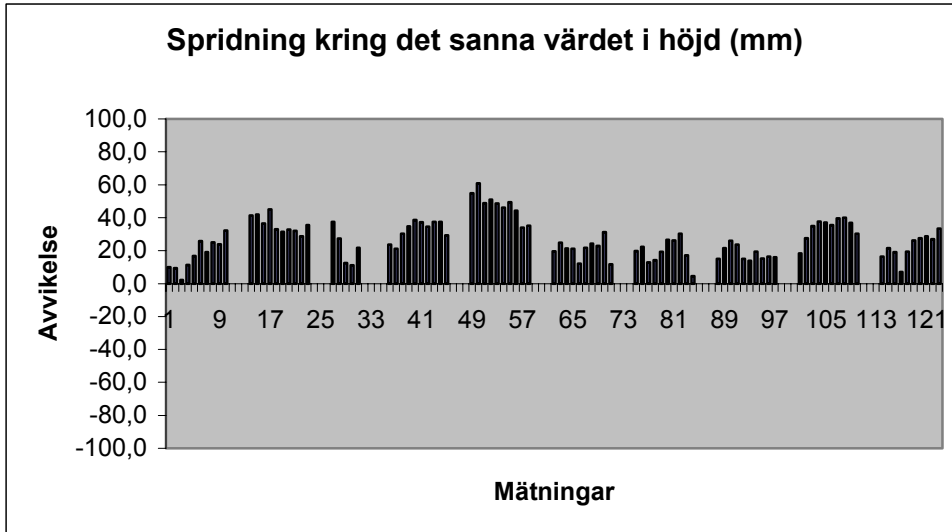
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	8
Noggrannhet	14
Medelavvik. (mm)	-6



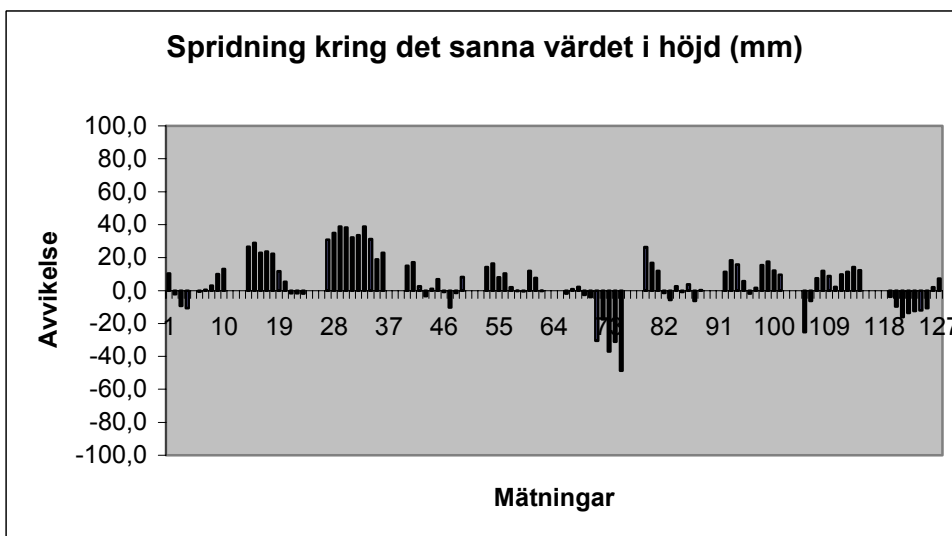
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	7
Noggrannhet	30
Medelavvik. (mm)	27



Nätverks-RTK Antenn B

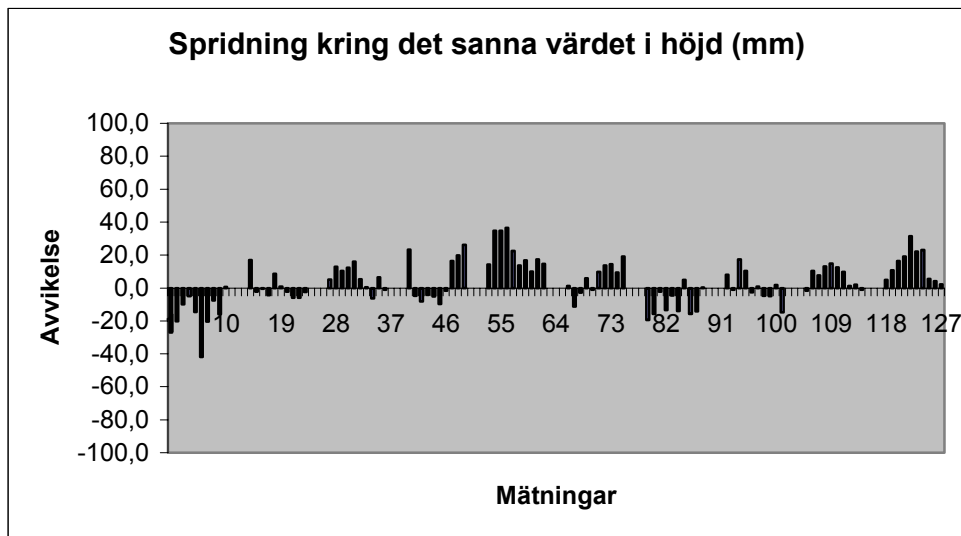
	Z
Precision (mm)	10
Noggrannhet	17
Medelavvik. (mm)	6



Punkt 4 Baslinjelängd 7205,9 m

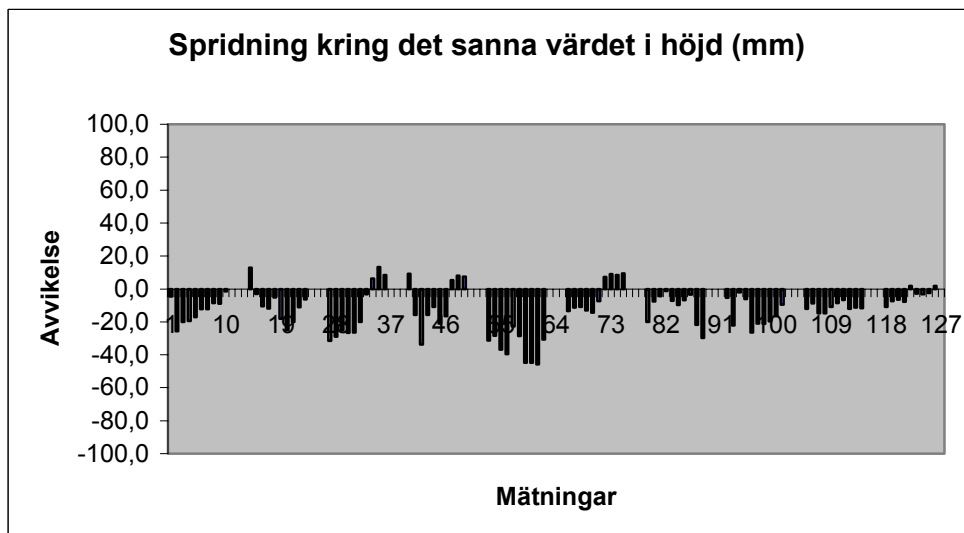
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	9
Noggrannhet	14
Medelavvik. (mm)	4



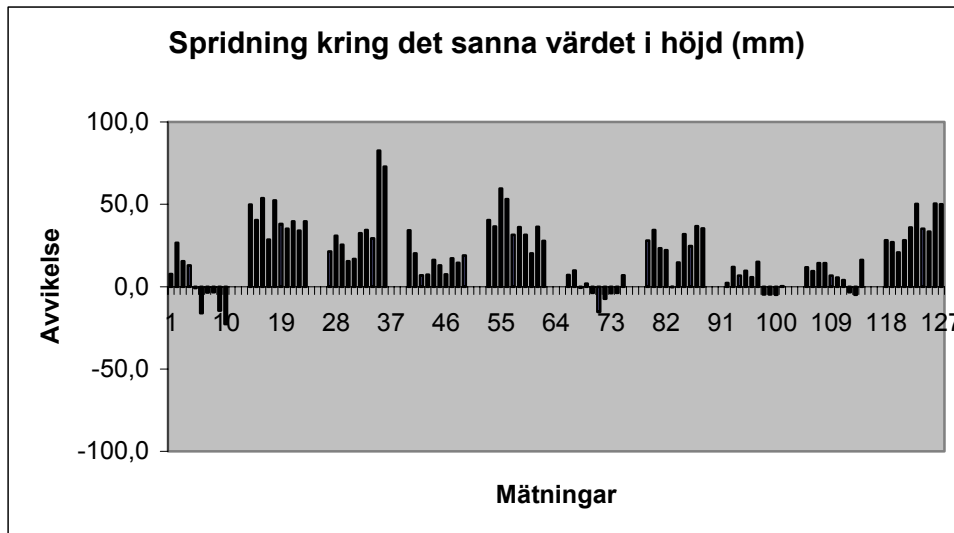
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	10
Noggrannhet	18
Medelavvik. (mm)	-12



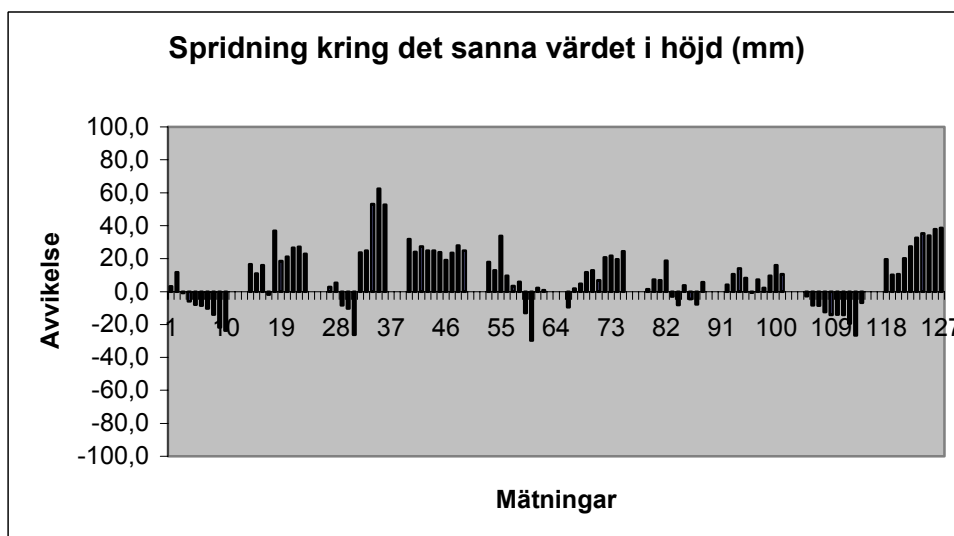
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	11
Noggrannhet	28
Medelavvik. (mm)	20



Nätverks-RTK Antenn B

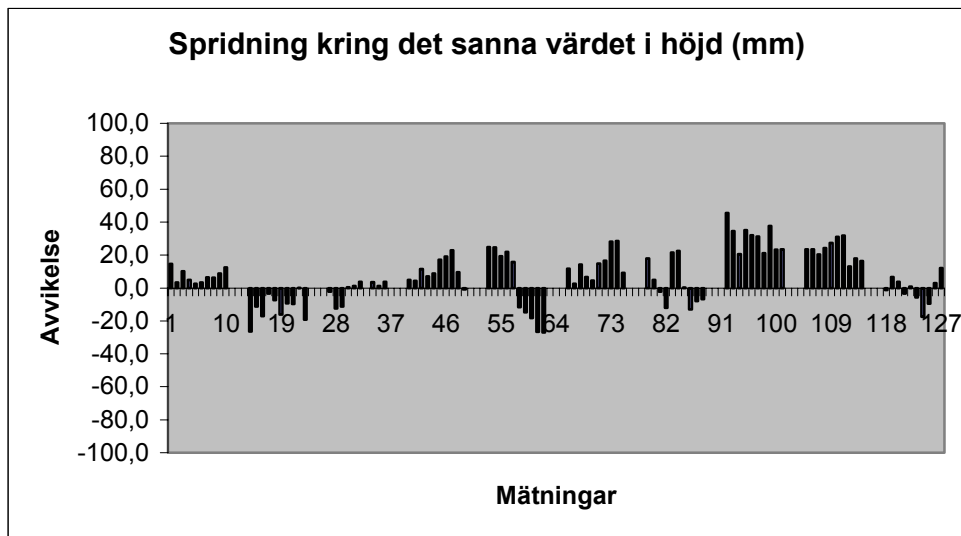
	Z
Precision (mm)	13
Noggrannhet	20
Medelavvik. (mm)	10



Punkt 5 Baslinjelängd 10 069,7 m

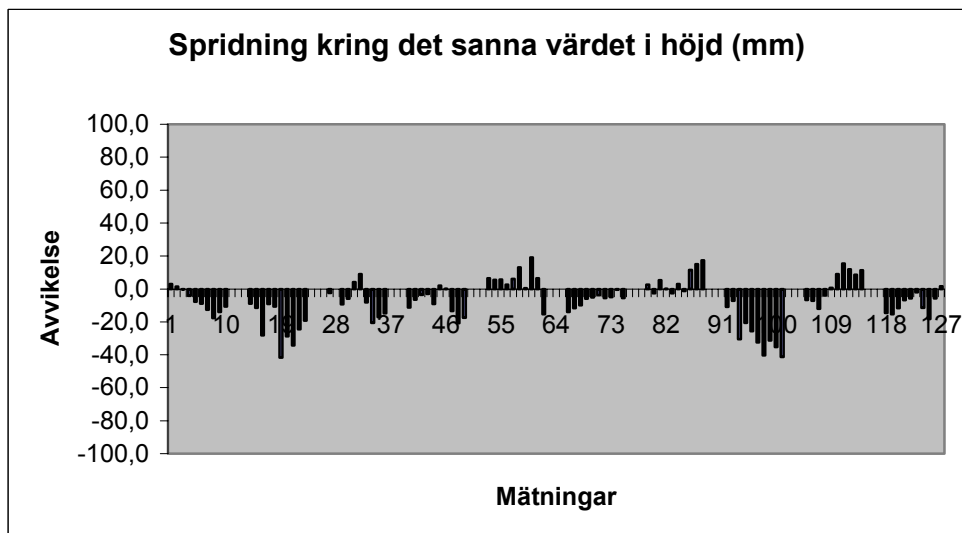
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	10
Noggrannhet	17
Medelavvik. (mm)	7



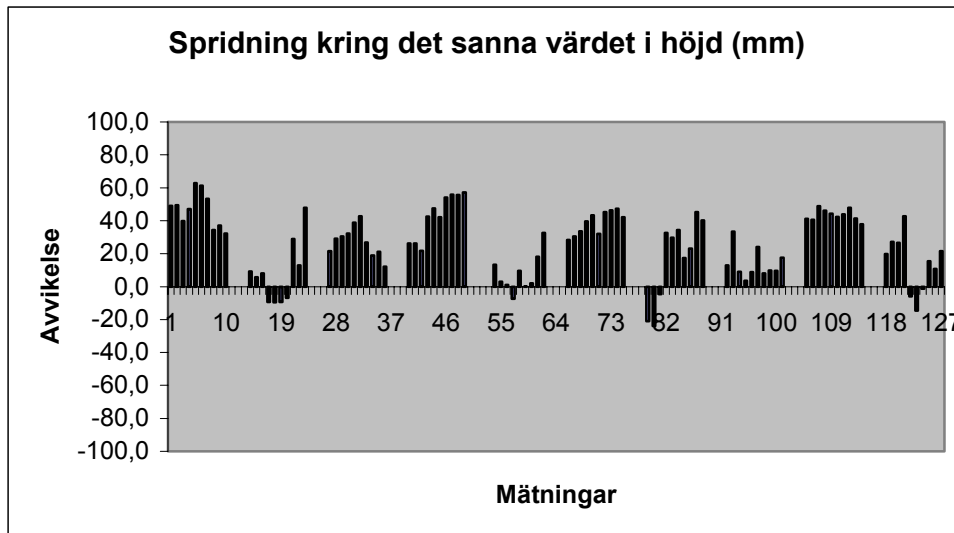
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	8
Noggrannhet	15
Medelavvik. (mm)	-8



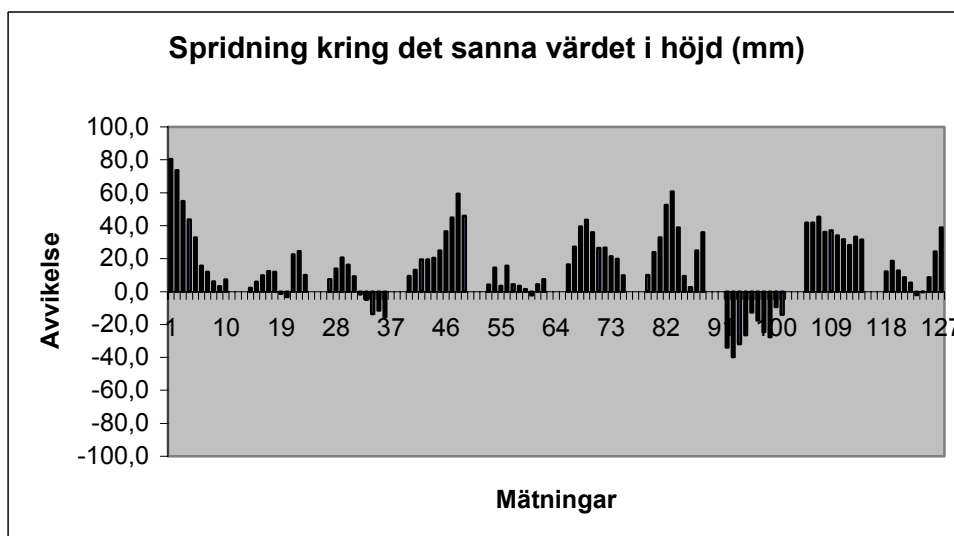
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	13
Noggrannhet	33
Medelavvik. (mm)	26



Nätverks-RTK Antenn B

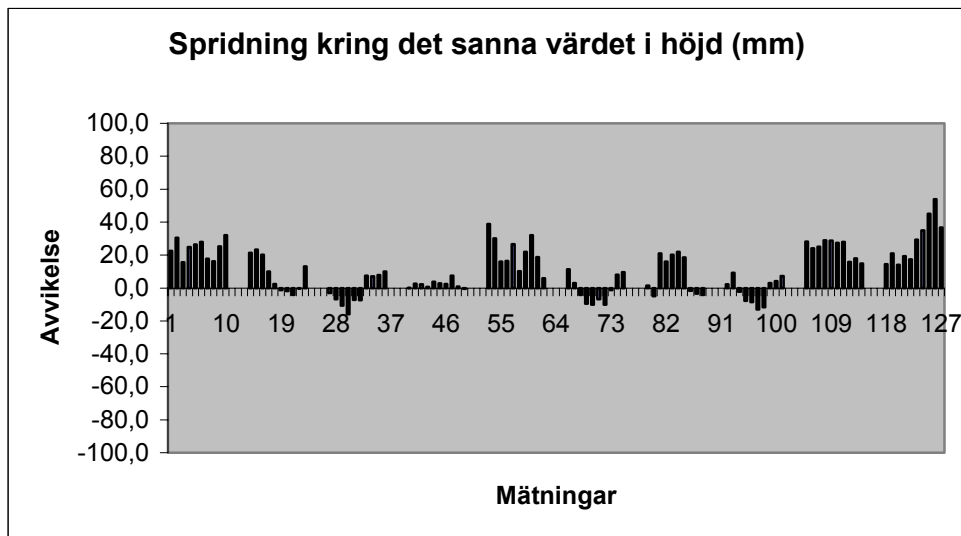
	Z
Precision (mm)	14
Noggrannhet	28
Medelavvik. (mm)	16



Punkt 6 Baslinjelängd 12 416,0 m

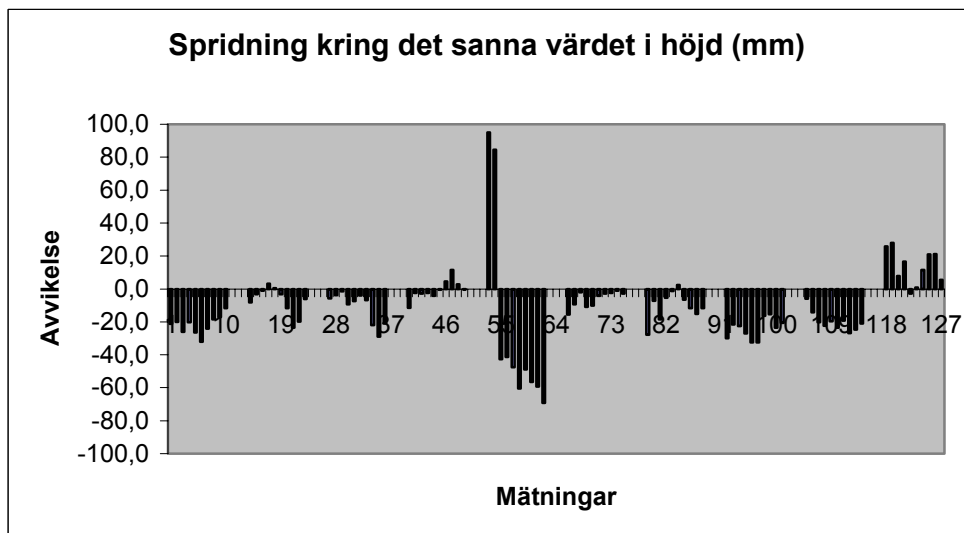
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	9
Noggrannhet	18
Medelavvik. (mm)	11



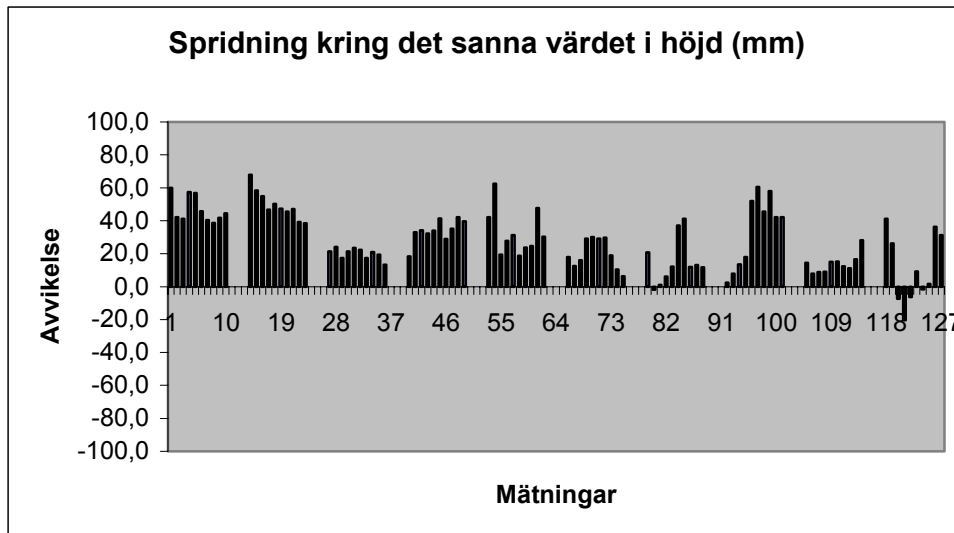
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	20
Noggrannhet	25
Medelavvik. (mm)	-11



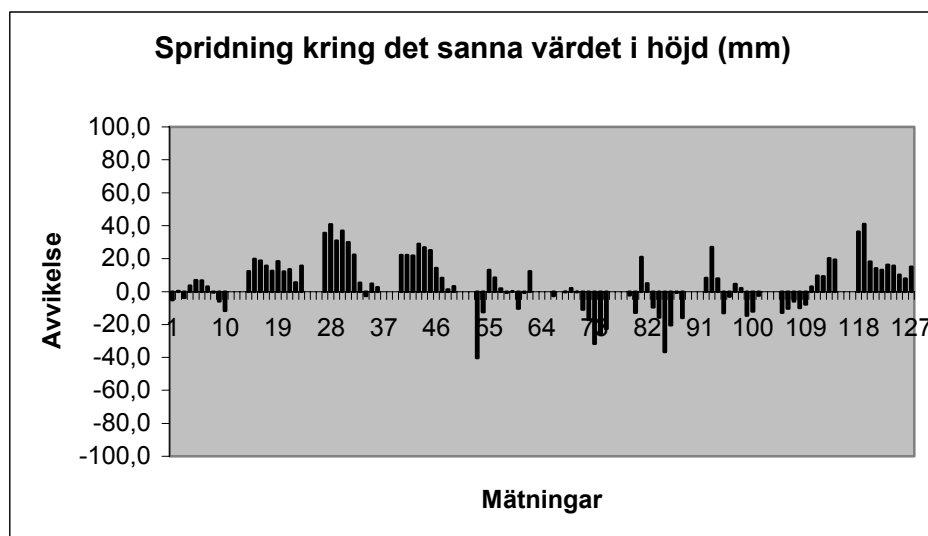
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	12
Noggrannhet	33
Medelavvik. (mm)	28



Nätverks-RTK Antenn B

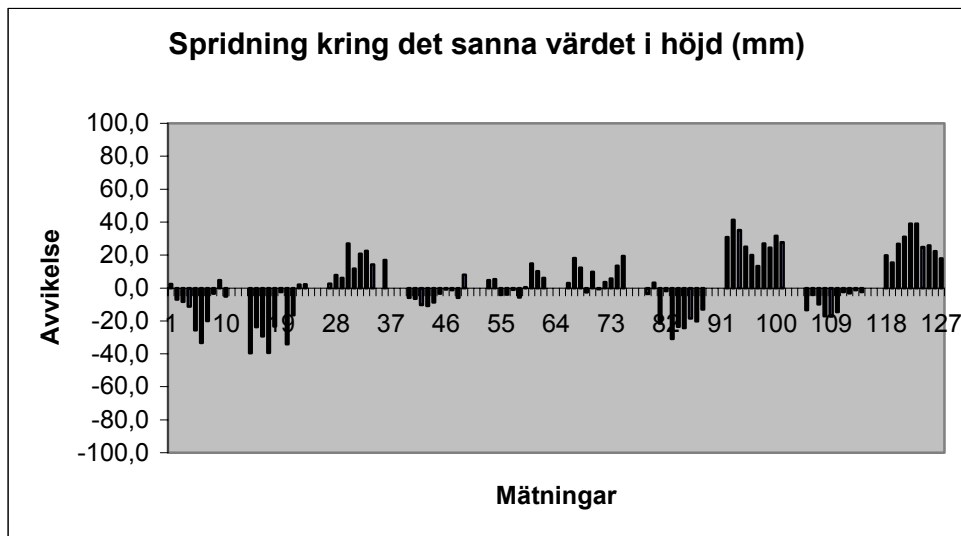
	Z
Precision (mm)	12
Noggrannhet	17
Medelavvik. (mm)	5



Punkt 7 Baslinjelängd 14 849,0 m

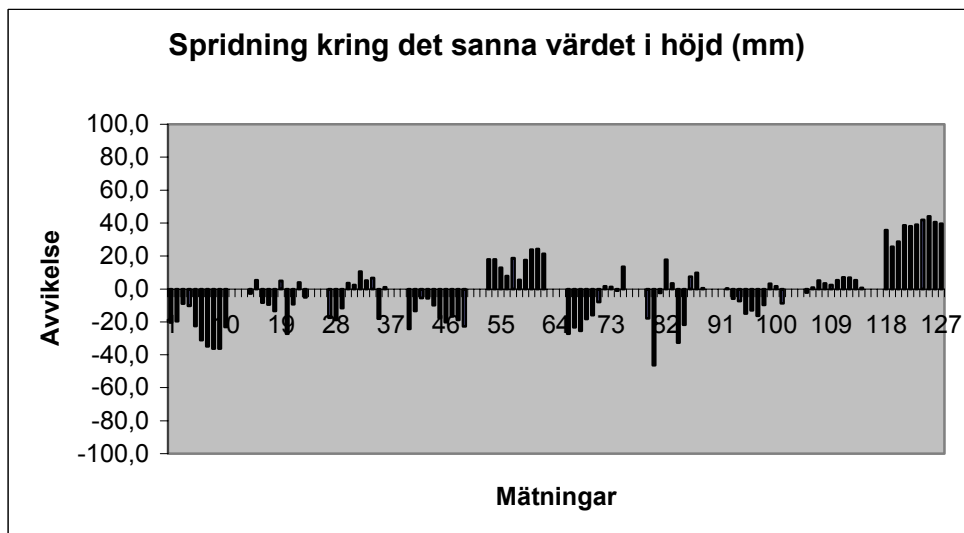
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	9
Noggrannhet	18
Medelavvik. (mm)	2



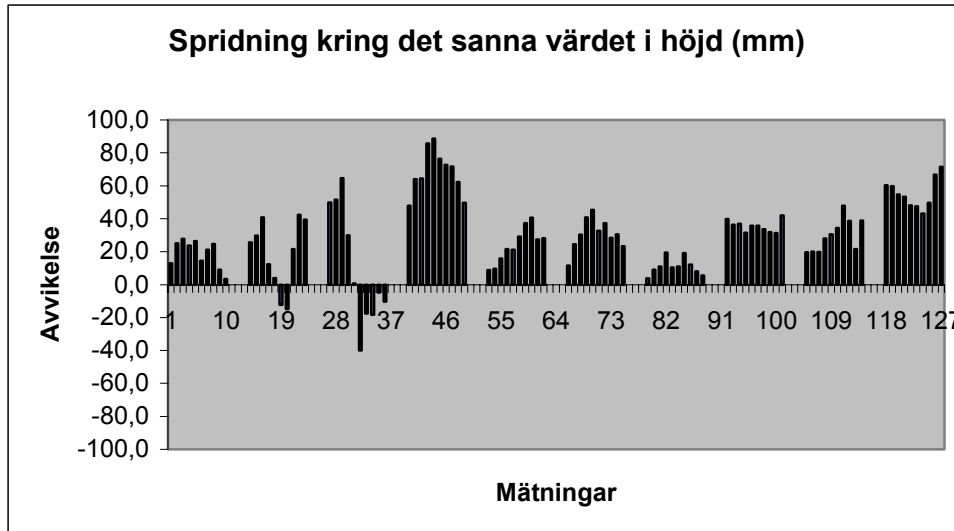
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	10
Noggrannhet	19
Medelavvik. (mm)	-2



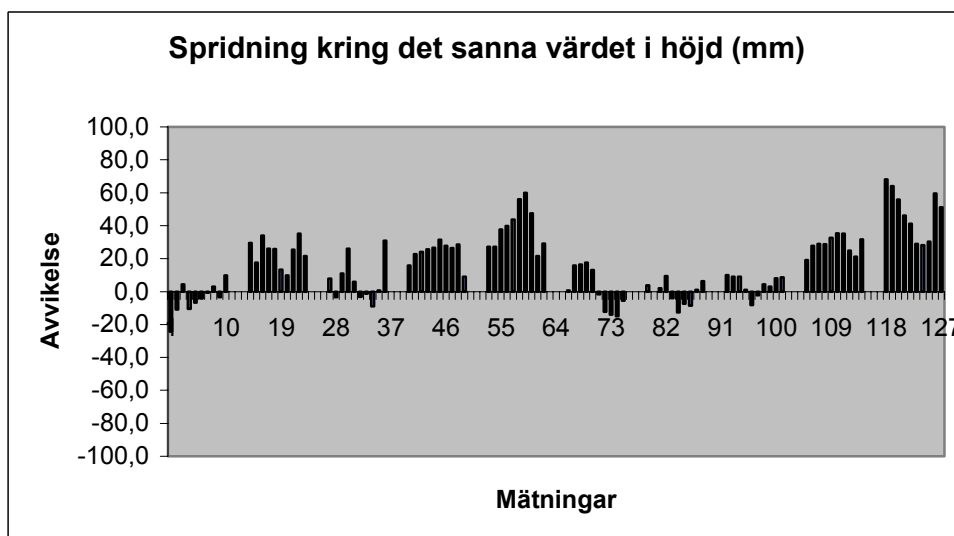
Traditionell RTK Antenn B

	Z
Precision (mm)	15
Noggrannhet	38
Medelavvik. (mm)	30



Nätverks-RTK Antenn B

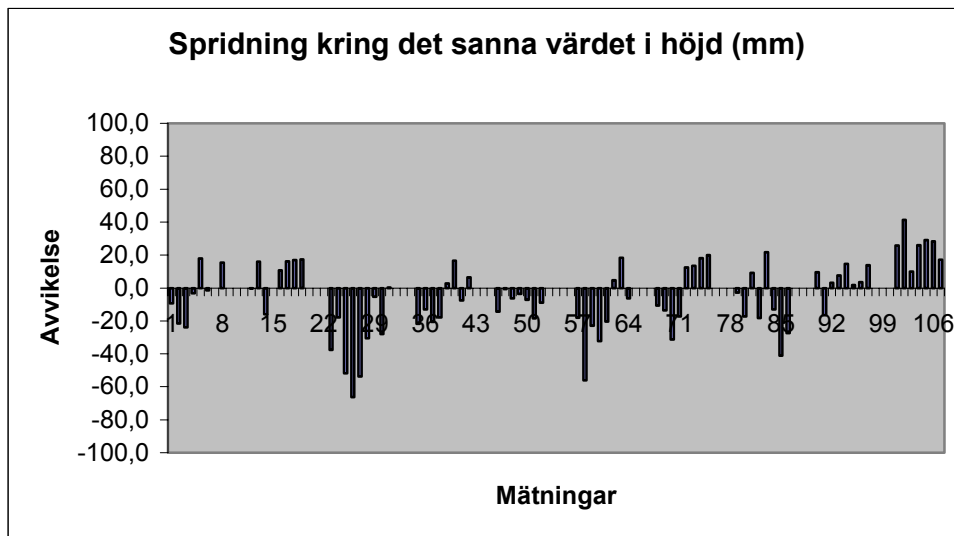
	Z
Precision (mm)	10
Noggrannhet	26
Medelavvik. (mm)	17



Punkt 8 Baslinjelängd 17 989,8 m

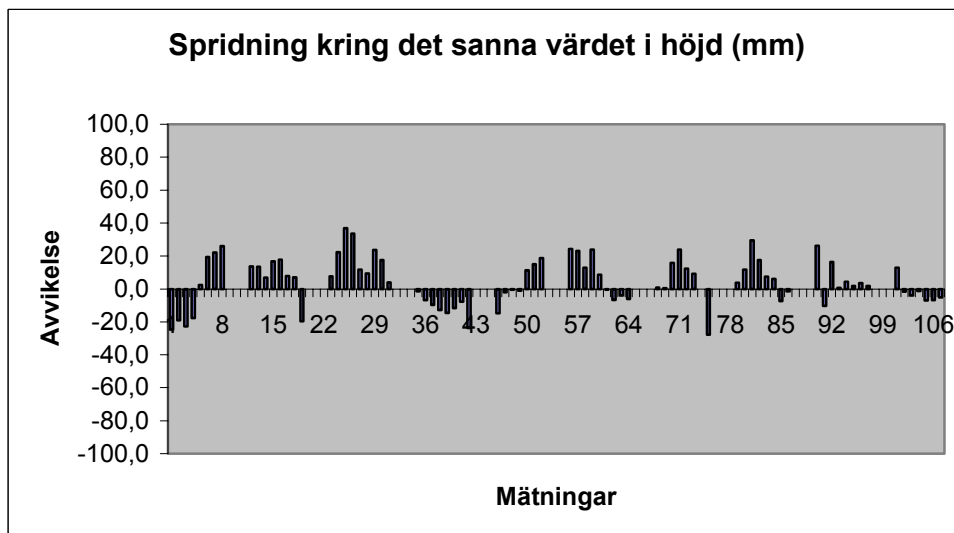
Traditionell RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	15
Noggrannhet	22
Medelavvik. (mm)	-5



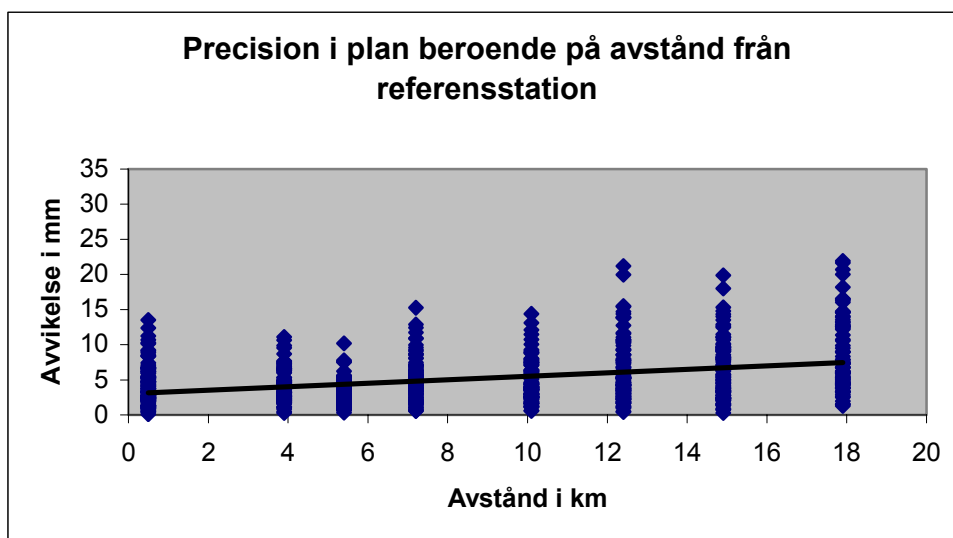
Nätverks-RTK Antenn A

	Z
Precision (mm)	12
Noggrannhet	15
Medelavvik. (mm)	5

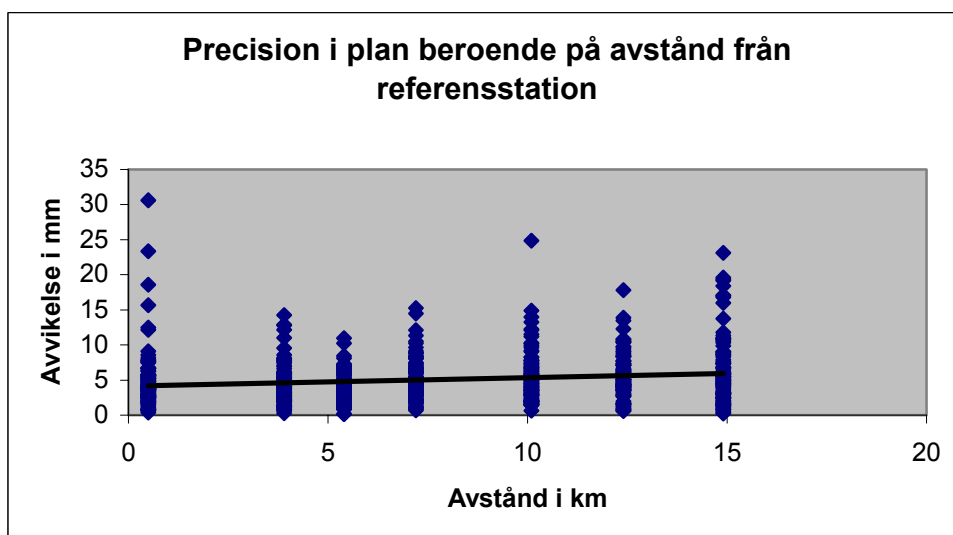


10.3 Avståndsberoende T-RTK Precision

PLAN Antenn A	3,02 mm + 0,25 ppm
---------------	--------------------

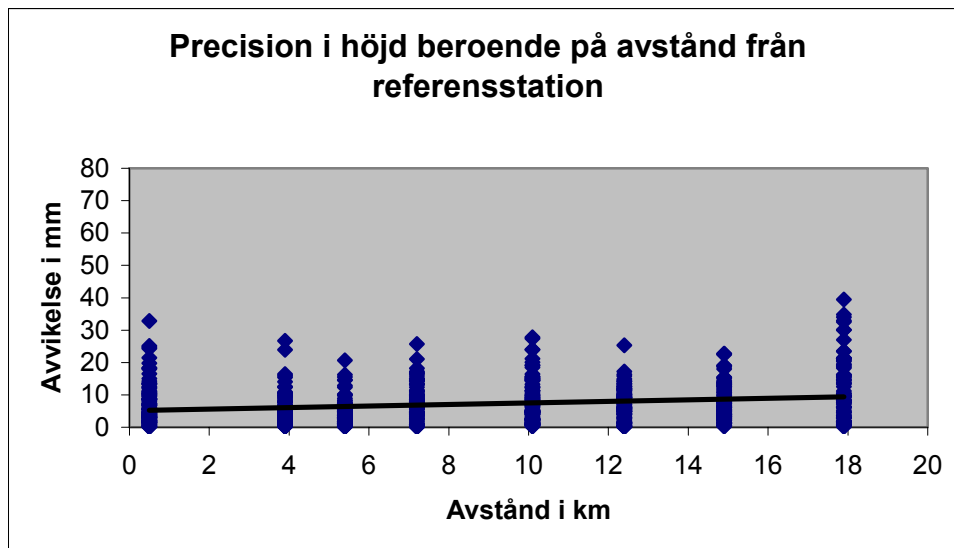


PLAN Antenn B	4,14 mm + 0,12 ppm
---------------	--------------------



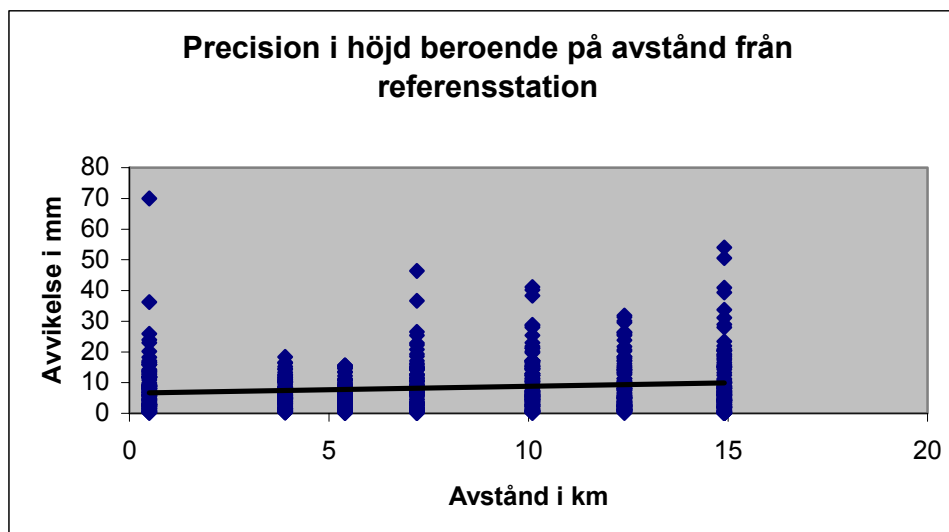
HÖJD Antenn A

5,12 mm + 0,24 ppm



HÖJD Antenn B

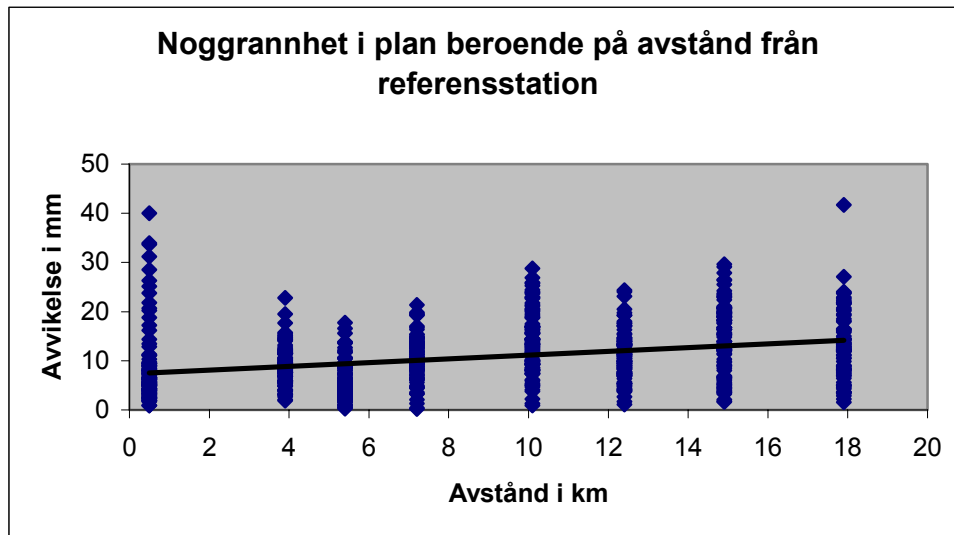
6,59 mm + 0,22 ppm



10.4 Avståndsberoende T-RTK Noggrannhet

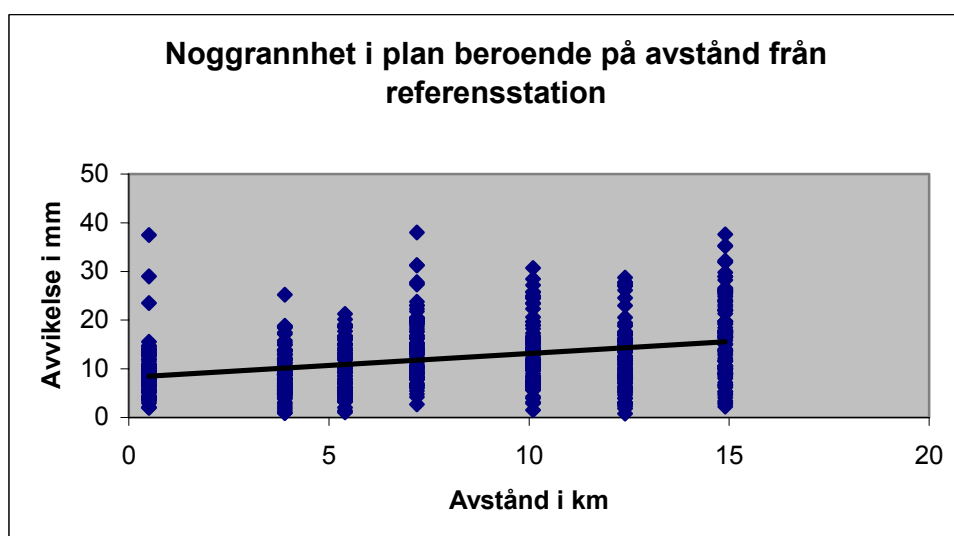
PLAN Antenn A

7,34 mm + 0,38 ppm



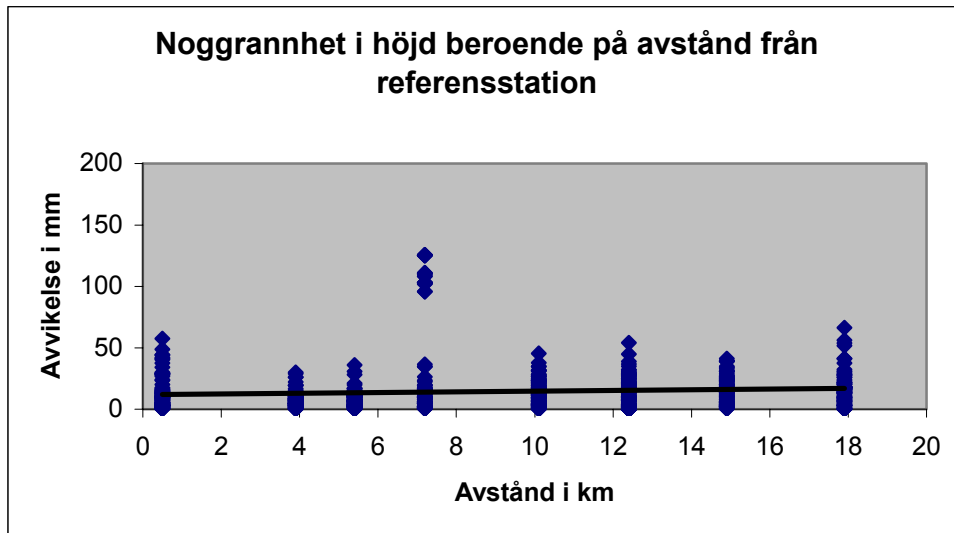
PLAN Antenn B

8,25 mm + 0,49 ppm



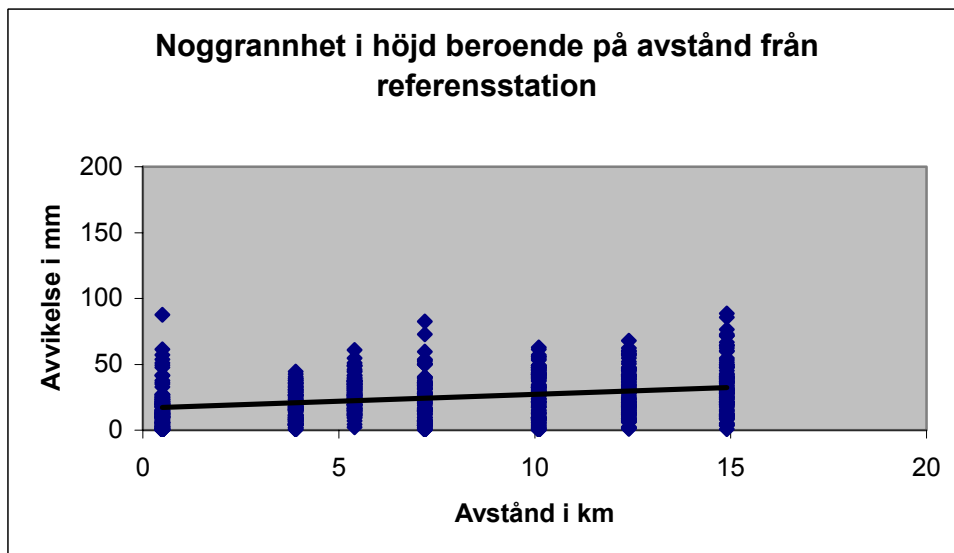
HÖJD Antenn A

11,90 mm + 0,28 ppm



HÖJD Antenn B

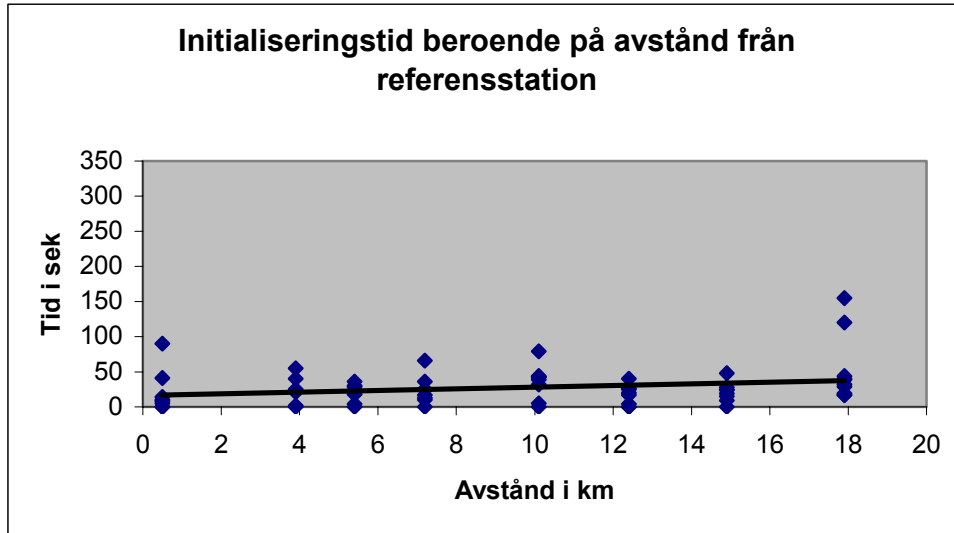
16,66 mm + 1,054 ppm



10.5 Avståndsberoende T-RTK Tid till fix

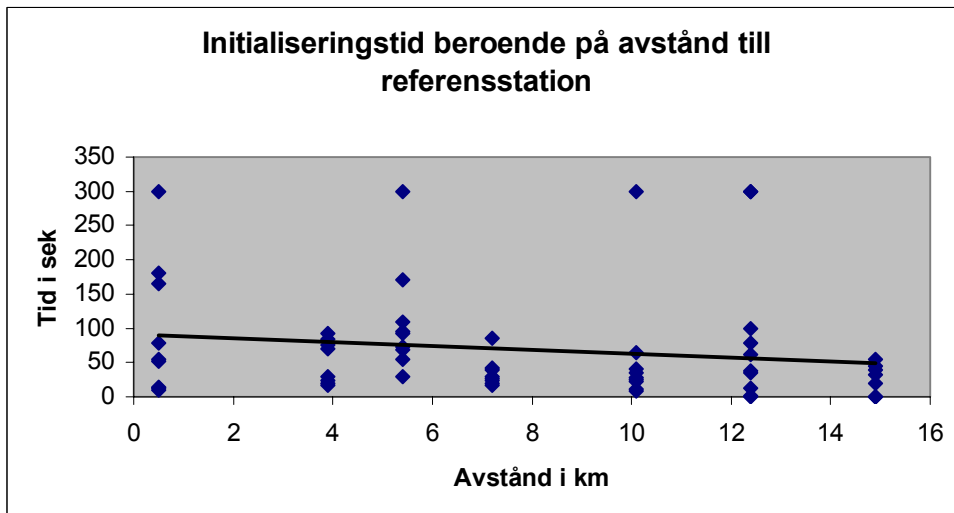
TID TILL FIX Antenn A

$16,37 \text{ sek} + 1,18 * \text{ antal km}$



TID TILL FIX Antenn B

$90,72 \text{ sek} - 2,79 * \text{ antal km}$



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2001:7 Jivall Lotti, Lidberg Martin, Lilje Mikael, Reit Bo-Gunnar: Transformationssamband mellan SWEREF 99 och RT 90/RH 70.
- 2001:10 Rönnerberg Andreas: Undersökning av tjänster för differentiell GPS.
- 2002:1 Wiklund Peter: Slutrapport för projekt "Position Stockholm-Mälaren - 1".
- 2002:2 Wahlund Sara: Production measurements with network RTK - tests and analysis.
- 2002:5 Alfredsson Anders: Studier av deformationer vid byte av koordinatsystem.
- 2002:7 Persson Jan & Brynte Stefan: Kompatibilitet för nätverks-RTK-programvaran Trimble GPS-Net med olika typer av rörliga mottagare.
- 2003:4 Engfeldt Andreas, Norin Dan, Nielsen Jan, Holm Warming Louise, Grinde Gro, Johansson Daniel, Lilje Christina, Nilsson Andreas, Wiklund Peter, Kempe Tina, Frisk Anders: The 2002 NKG GNSMART/GPSNet test campaign.
- 2003:8 Vejdeland Sofia & Dahlberg Liselotte: Tolkarhet av GGD-objekt i bilder registrerade av olika sensorer.
- 2003:10 Engfeldt Andreas & Jivall Lotti: Så fungerar GNSS.
- 2003:11 Alm Malin & Munsin Anna-Stina: Traditionell RTK kontra nätverks-RTK - en noggrannhetsjämförelse.
- 2003:12 Jonsson Albert & Nordling Anders: Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät.
- 2004:1 Peterzon Martin: Distribution of GPS-data via Internet.
- 2004:4 Andersson Maria: Deformationer av fasta geometrier - en metodstudie.
- 2004:7 Valdimarsson Runar Gisli: Interpolationsmetoder för restfelshantering i höjddled vid höjdmätning med GPS.
- 2004:11 Kempe Christina: Väst-RTK - nätverks-RTK i produktionstest i västra Sverige.
- 2004:12 Daniel Johansson: SKAN-RTK - 2 - nätverks-RTK i produktionstest i södra Sverige
- 2004:13 Wiklund Peter: Position Stockholm-Mälaren - 2 - nätverks-RTK i produktionstest.

L A N T M Ä T E R I E T



Vaktmästeriet 801 82 GÄVLE Tfn 026 - 65 29 15 Fax 026 - 68 75 94

Internet: www.lantmateriet.se