

Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK

Examensarbete av
Daniel Halvardsson & Joakim Johansson

Gävle 2007

L A N T M Ä T E R I E T



Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK

Examensarbete av
Daniel Halvardsson & Joakim Johansson

Gävle 2007

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Rapporten är ett examensarbete på C-nivå omfattande 10 poäng som utförts på uppdrag av Lantmäteriet. Examensarbetet ingår i, och avslutar, Lantmäteringenjörutbildningen på Högskolan Väst i Trollhättan. Rapporten har även givits ut i Högskolans rapportserie med rapportnummer 2007:LA13.

Inledande diskussion fördes i januari 2007 med Bo Jonsson, chef för SWEPOS.

Vi vill tacka vår handledare på Lantmäteriet, Dan Norin, för ovärderlig hjälp, gott stöd och samarbete under hela examensarbetets genomförande. Vi vill också rikta ett tack till Bo Jonsson och övrig personal på Geodesienheten.

Leica Geosystems i Göteborg är också värda ett tack för lån av utrustning.

Vi vill även tacka Gunnar Starke, vår examinator, och Eva Sandström på Högskolan Väst för gott samarbete och tillhandahållande av utrustning.

Trollhättan, juni 2007

Daniel Halvardsson

Joakim Johansson

Sammanfattning

I samband med väg- och järnvägsutbyggnaden längs E45 norr om Göteborg har SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst projektanpassats genom tätare placering av referensstationer. Förutom datakommunikation med GSM och GPRS sänds RTK-data ut även via radio.

Syftet med examensarbetet är att jämföra de båda distributionskanalerna GPRS och radio, huruvida de ger likvärdiga resultat och prestanda.

Nätverks-RTK innebär att relativ satellitmätning, med position i realtid, sker med fasta stationer i nätverk som referens. Lantmäteriet driver ett nät av fasta referensstationer för GNSS kallat SWEPOS® och har en nätverks-RTK-tjänst kopplad till sig.

Mätning med GNSS (globala satellitpositioneringssystem) innebär att koordinater fås genom avståndsmätning mot flera satelliter. Vid GNSS-mätning finns ett antal felkällor som till viss del kan elimineras med olika metoder för positionering.

Arbetet i examensarbetet var uppdelat i följande etapper: Mätförberedelser pågick i cirka två veckor. Fältmätningar, som pågick under nästan tre veckor, genomfördes på sex punkter med kända positioner i projektområdet för E45. Jämförelsen begränsades till mätning med GNSS och till ett fabrikat av GNSS-utrustning.

Mätdata bearbetades i kalkylprogram. Därefter skapades tabeller och diagram för att åskådliggöra resultatet som sedan analyserades.

Slutsatsen efter utvärdering av resultatet är att val av distributions-teknik inte nämnvärt påverkar mätresultatet. Båda teknikerna ger ett resultat i plan och höjd som ligger kring förväntade positionsnoggrannheter för det projektanpassade området, dvs. 11 mm i plan (68 %) och 13 mm i höjd (68 %). Ingen större skillnad rent prestandamässigt upptäcktes mellan teknikerna förutom att GPRS hade högre procent överförda data och att radio hade högre tillförlitlighet vad gäller anslutning mot nätverks-RTK-tjänsten.

Projektanpassning av nätverks-RTK-tjänsten gör det möjligt att med GNSS-mätning komma ner på noggrannhetsnivåer som annars bara traditionell mätteknik klarar av.

Abstract

The SWEPOS Network RTK Service has been project adjusted around the expansion and construction of E45 and the railway north of Gothenburg with more reference stations. RTK data is normally transmitted to the user via GSM or GPRS. In the project adjusted area data is also transmitted through radio.

The purpose of this thesis is to compare the distribution techniques GPRS and radio, whether they give the same results and performance.

Network RTK is measurement with satellites, with position given in real time, relative a network of permanent reference stations. Lantmäteriet (the National Land Survey of Sweden) is operating a network of permanent reference stations for GNSS called SWEPOS to which a network RTK service is connected.

Positioning with GNSS (global navigation satellite systems) means that coordinates are calculated by measuring the distance to several satellites. There are several biases when using GNSS. These can partly or completely be eliminated with different positioning methods.

Preparation of the field survey lasted for approximately two weeks. The field surveys which lasted for almost three weeks were done on six points with known positions in the project area for E45. The comparison was limited to GNSS and to one brand of GNSS equipment.

The survey data were worked up in calculation software. Charts and tables were made to illustrate the result which was later analysed.

The conclusion after evaluation of the result is that the choice of distribution technique doesn't significantly affect the result of the survey. The two techniques give a result in plane and height that lies around the expected values for the project adjusted area. No bigger difference in performance was discovered between the techniques except that GPRS had a higher amount of transmitted data and that radio had a better confidence in matter of connection to the network RTK service.

Project adjustment of the network RTK service makes it possible with GNSS equipment to reach levels that only conventional techniques like total station earlier have managed.

Nomenklatur

COMPASS	Det kinesiska satellitpositioneringssystemet som är ett globalt system under utveckling.
DOP	Ett kvalitetsbegrepp som tillsammans med ett värde talar om hur god satelliternas spridning är på himlavalvet vid mätning. Förkortning av Dilution of Precision.
Galileo	Den europeiska motsvarigheten till GPS med skillnaden att det är civilt och som utvecklas av EU och den europeiska rymdstyrelsen ESA.
GIS	Ett system för att behandla och hantera lägesbunden geografisk information och som kopplas till kartor. Begreppet är en förkortning av Geografiska InformationsSystem.
GLONASS	En förkortning av Global Navigation Satellite System och är det ryska satellitpositioneringssystemet som är det andra systemet förutom GPS som idag är i drift.
GNSS	Ett samlingsbegrepp för satellitbaserade navigations- och positionssystem och är en förkortning av Global Navigation Satellite System.
GPRS	En förkortning av General Packet Radio Service och är ett system för mobila datanätverkstjänster i GSM-nätverk.
GPS	Det amerikanska satellitpositioneringssystemet och är en förkortning av Global Positioning System.
GSM	Global System for Mobile Communications, digitalt system för mobiltelefoner som finns över hela världen.
RHB 70	Beteckning för höjder beräknade från tredje precisionsavvägningen i höjdsystemet RH 70.
RIX 95	Ett projekt med syftet att skapa transformationssamband mellan lokala och nationella referenssystem.
RTCM	Ett standardformat för överföring av korrektionsdata som är utvecklat av Radio Technical Commission for Maritime Services.
RTK	Är en förkortning av Real Time Kinematic där mätning sker i realtid med hjälp av en fast referensstation.
SWEREF 99	Ett svenskt referenssystem som är en del av det europeiska systemet EUREF. SWEREF 99 är nästan identiskt med WGS 84.
WGS 84	Ett globalt referenssystem som används av GNSS-mottagare. Förkortningen står för World Geodetic System 1984.

Jämförelse av distributionskanaler för projektanpas- sad nätverks-RTK

	Förord	5
	Sammanfattning	6
	Abstract	7
	Nomenklatur	8
1	Inledning	13
1.1	Bakgrund	13
1.2	Syfte och mål för examensarbetet	13
2	GNSS	15
2.1	GPS	15
2.1.1	Rymdsegment	15
2.1.2	Kontrollsegment	16
2.1.3	Användarsegment	17
2.2	GLONASS	17
2.3	Övriga satellitsystem	17
2.3.1	Galileo	17
2.3.2	COMPASS	18
2.3.3	Regionala satellitsystem	18
2.4	Felkällor och eliminering av dessa	18
2.4.1	Satellitklockans osäkerhet	18
2.4.2	Jonosfärspåverkan	19
2.4.3	Mottagarklockans osäkerhet	19
2.4.4	Bandatafel	19
2.4.5	Troposfärspåverkan	19

2.4.6	Satellitkonfiguration	19
2.4.7	Flervägsfel	20
2.4.8	Sikthinder	20
2.5	Signalsystem	20
2.5.1	Kodmätning	21
2.5.2	Bärvågsmätning	21
2.6	Metoder för positionsbestämning	22
2.6.1	Absolut mätning	22
2.6.2	Relativ mätning	22
3	Nätverks-RTK	23
3.1	SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst	23
3.2	Projektanpassad nätverks-RTK	24
4	Metod och genomförande	26
4.1	Förberedande arbete	26
4.2	Fältmätningsområde och mätpunkter	26
4.3	Utrustning och konfiguration	28
4.4	Mätstrategi	30
4.4.1	Mätschema	31
4.5	Efterbehandling och analys av mätdata	31
5	Kvalitetstermer	33
5.1	Feltyper	33
5.2	Riktighet	33
5.3	Precision	33
5.4	Noggrannhet	34
5.5	Sambandet mellan riktighet, precision och noggrannhet	34
5.6	Sigmanivå	35
6	Resultat	36
6.1	Planavvikelse	36
6.2	Höjdavvikelse	38
6.3	Jämförelse mellan distributionsteknikerna	39
6.3.1	Jämförelse i plan	39
6.3.2	Jämförelse i höjd	40
6.4	Initialiseringstid	41
6.5	Antal satelliter	41
6.6	Ålder för RTK-data	42
6.7	Procent överförda data	42

7	Diskussion	44
7.1	GPRS	44
7.2	Radio	45
7.3	Jämförelse mellan distributionsteknikerna i plan och höjd	46
7.4	Övrig jämförelse mellan distributionsteknikerna	47
7.5	Projektanpassad nätverks-RTK	47
7.6	Övrig diskussion	48
8	Slutsatser	49
	Källförteckning	50
	Bilaga A: Resultat för respektive punkter	52
	Bilaga B: Resultat för samtliga punkter	64

Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK

1 Inledning

De inledande kapitlen behandlar grundläggande information kring GNSS och nätverks-RTK. Kapitel 2 beskriver de olika satellitpositioneringssystemen GPS och GLONASS samt övriga system som antingen är regionala eller under uppbyggnad. Vidare förklaras de felkällor som finns kopplade till mättekniken. Sist i kapitlet redovisas de olika metoderna för positionsbestämning med hjälp av satelliter. Kapitel 3 behandlar nätverks-RTK och Lantmäteriets nätverks-RTK-tjänst kallad SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.

I kapitel 4 beskrivs arbetets metod och genomförande med avseende på utrustning och mätstrategi m.m. Kapitel 5 ger grundläggande felteori och kapitel 6 redovisar resultatet för respektive metod (GPRS och radio) och en jämförelse mellan dessa.

Kapitel 7 innehåller diskussion kopplad till resultatet och kapitel 8 innehåller slutsatser.

De mätresultat som känns överflödiga i rapportens huvuddel ligger som bilaga.

Jämförelsen begränsas till mätning med GNSS och till ett fabrikat av GNSS-utrustning.

1.1 Bakgrund

Väg E45 och järnvägen mellan Göteborg och Trollhättan byggs ut av Vägverket respektive Banverket och SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst har projektanpassats i området. Detta har skett genom förtätning med 5 fasta referensstationer för GNSS i SWEPOS-nätet [1]. Förtätningen har gjorts för att uppfylla den noggrannhet som krävs för plan och höjd i området. Till projektanpassningen hör också att RTK-data även sänds ut via radio i förtätningsområdet. RTK-data för nätverks-RTK-tjänsten tas vanligtvis emot via GSM eller GPRS (satellittelefoni kan även användas).

1.2 Syfte och mål för examensarbetet

Syftet med rapporten är att jämföra och utvärdera de båda distributionsteknikerna GPRS och radio i det projektanpassade

området. Syftet är också att undersöka om teknikerna ger likvärdiga resultat, prestanda m.m.

Målet är att rapporten skall ge en bild av likheter och skillnader i resultat och prestanda för distributionsteknikerna.

2 GNSS

GNSS är en förkortning av Global Navigation Satellite System och är ett samlingsnamn för alla satellitbaserade navigations- och positioneringssystem.

GPS (Global Positioning System) är det amerikanska och GLONASS (Global Navigation Satellite System) är det ryska systemet. Båda systemen är globala.

Europas system, Galileo, som också blir användbart globalt, är under uppbyggnad.

Eftersom GPS är det totalt sett dominerande systemet, och idag ligger till grund för GNSS, beskrivs det mest utförligt.

2.1 GPS

GPS var inledningsvis enbart ämnat för det amerikanska försvaret och började projekteras 1973. I början av 1980-talet började det användas även civilt efter samarbete mellan olika offentliga, privata och akademiska organisationer. 1993 var systemet fullt uppbyggt för civilt bruk och 1995 var det fullt uppbyggt för militära tillämpningar. [2] [3]

Systemet används till allt ifrån navigering i fartyg och bilar till byggmätning. Det är ett system utan användaravgifter och är tillgängligt dygnet runt i hela världen.

Referenssystemet som används är det globala WGS 84 och dess ellipsoid. Den liknar GRS 80-ellipsoiden. [3]

GPS-systemet består av rymd-, kontroll- och användarsegment.

2.1.1 Rymdsegment

Här ingår alltid minst 24 satelliter i omlopp kring jorden, i nuläget 30 stycken [4]. Satelliternas inklinationsvinkel är 55° från ekvatorn vilket innebär att de vänder i sin omlopps bana ungefär i höjd med Bornholm. Konstellationen av satelliter i sex olika omloppsbanor medför att satelliterna alltid täcker största möjliga yta.

Satelliterna finns på ca 20 000 km höjd över jordytan och omloppstiden är ca 12 timmar. Eftersom satelliterna går efter stjärntid och att normaltidens dygn inte är exakt 24 timmar så återfinns satelliterna på samma position 4 minuter tidigare varje dag. [2]

GPS-systemets täckning är utformad för att på bästa sätt täcka jordens yta med så få satelliter som möjligt men ändå få bästa möjliga noggrannhet i positionering.

2.1.1.1 DOP-tal

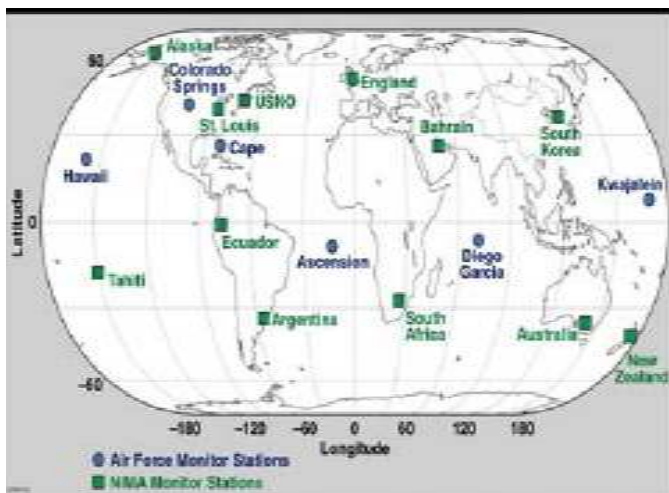
För att få en så noggrann och tillförlitlig position som möjligt är det önskvärt med så stor spridning av satelliter som möjligt i både bäring och elevation runt GNSS-mottagaren. [5]

DOP-värde är ett sätt att avgöra om satelliternas spridning är gynnsam. DOP är en förkortning av Dilution of Precision och brukar betecknas med ytterligare en bokstav. [2]

HDOP (Horizontal) inkluderar endast kvalitet i plan. VDOP (Vertical) inkluderar kvalitet i höjd. PDOP (Position) är ett värde för plan- och höjd och GDOP (Geometric) inkluderar även klockfel. [5]

2.1.2 Kontrollsegment

Kontrollsegmentet består ursprungligen av fem övervakningsstationer. Driftledningscentralen är belägen i Colorado, USA där det även finns en övervakningsstation. De övriga ligger på Ascension-ön i Atlanten, på ön Diego Garcia i Indiska oceanen, Hawaii och på ön Kwajalein (Marshallöarna). [2] Kontrollsegmentet är under utbyggnad och ska kompletteras med ytterligare elva kontrollstationer där åtta redan är klara (se figur 1). [6]



Figur 1: GPS-systemets kontrollsegment. [7]

Stationerna spårar samtliga GPS-satelliter och samlar ihop data ifrån satelliterna. Data vidarebefordras sedan till driftledningscentralen i Colorado. Operatörerna i driftledningscentralen beräknar satelliternas banparametrar och korrektioner till satellitklockorna. Informationen sänds sedan ut till övervakningsstationerna som i sin tur sänder upp data till satelliterna för att bli inkluderat i satelliternas sändningssignal. Samtliga GPS-satelliter följs alltid av minst en kontrollstation. [2] [4]

2.1.3 Användarsegment

Med användarsegmentet menas mottagarutrustningen som tar emot satelliternas signaler och beräknar position, hastighet och tid. [8]

Till skillnad från kontrollsegmentet som är ett tvåvägssystem med kommunikation både till och från satelliterna så är användarsegmentet ett envägssystem där mottagaren enbart tar emot signaler men inte skickar. [3]

2.2 GLONASS

Precis som GPS var GLONASS i grunden skapat för militär användning och startade år 1982. GLONASS är även användbart för civilt bruk. PZ-90 används som referenssystem och motsvarar WGS 84. Det var först 1993 som systemet fungerade operationellt. Det var tänkt att det skulle finnas totalt 24 satelliter i drift men det har det bara varit under en kortare period 1996. Sedan dess har antal satelliter i drift minskat men systemet är nu under uppbyggnad igen. [8] [9] [10]

GLONASS-satelliternas inklinationsvinkel är $64,8^\circ$ vilket ungefär motsvarar en vändpunkt vid Skellefteå. Detta innebär alltså en bättre täckning vid höga latituder än GPS. [9]

Satelliterna kretsar ca 19 100 km ovanför jordytan i tre olika omloppsbanor. Omloppstiden är ca 11 timmar och 15 minuter och innebär att satelliterna återfinns på samma position ca 1,5 timme tidigare varje dygn. [10]

Kontrollsegmentet med kontrollstationer finns utspritt över forna Sovjetunionen och driftledningscentralen finns i närheten av Moskva. [3] [8]

GNSS-mottagare kan oftast inte enbart använda sig av GLONASS för positionering utan systemet fungerar istället som en komplettering till GPS.

2.3 Övriga satellitsystem

2.3.1 Galileo

Galileo är ett europeiskt satellitpositioneringssystem som byggs upp av EU och ESA (European Space Agency) och utvecklas alltså inte av någon försvarsorganisation.

Systemet började projekteras 1999 och de första åren av 2000-talet bestod av en utvecklingsfas. Den första satelliten sändes upp 2005 och en efterföljande testfas pågår. Projektet har drabbats av en rad förseningar och i nuläget beräknas systemet vara i drift 2012. [3] [11]

När Galileo är fullt utbyggt planeras det bestå av 30 satelliter i tre olika omloppsbanor. Inklinationen kommer att bli 56° vilket är i höjd med Skåne. Omloppstiden blir ca 14 timmar och satelliterna kommer att ligga på en höjd av ca 23 600 km. [8]

Kontrollsegmentet planeras att bestå av två kontrollstationer i Europa och ett antal spårstationer runt om i världen. [8]

När Galileo är i drift kommer det att bli kompatibelt med mottagare för GPS och GLONASS. Positionsnoggrannheten kommer att förbättras och eftersom signalerna skickas ut i bredare frekvensspektrum öppnas möjligheten för viss positionering inomhus. [6]

2.3.2 COMPASS

COMPASS är ett system som Kina har under utveckling och projektet började år 2000. Till en början var det tänkt som ett lokalt system över Kina men det har senare bekräftats att det i full drift även kommer att fungera globalt. Den första COMPASS-satelliten skickades upp i april 2007. Från och med 2008 kommer satelliterna att täcka Kina med omkringliggande länder. Satelliterna kommer att ligga ungefär på höjden 21 000 km i sex olika omloppsbanor. [6] [12]

2.3.3 Regionala satellitsystem

Det finns planer på ett flertal satellitsystem som täcker delar av jordklotet. Japan har ett som kallas QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) där den första satelliten beräknas sändas upp 2009.

Indien har ett system kallat IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) som planeras vara i bruk 2012. [6]

2.4 Felkällor och eliminering av dessa

GNSS är inte felfritt och felen uppstår av en rad olika orsaker som påverkar resultatet. Vissa fel kan elimineras med olika positioneringsmetoder medan andra är svåra att göra något åt. De vanligaste felkällorna förklaras nedan.

2.4.1 Satellitklockans osäkerhet

Fel som orsakas av satellitklockans osäkerhet blir påtagliga om inte korrekt klockkorrektions används av mottagaren. Satellitens klocka, vilken är ett atomur, måste vara synkroniserad med GPS-tiden. Klockor som är i omloppsbanan går något snabbare än vad de gör på jorden. Ytterligare ett problem är att de olika satelliternas klockor inte är synkroniserade med varandra utan är helt oberoende.

Satellitklockan korrigeras och kontrolleras av kontrollsegmentet. [2] [5] [6]

2.4.2 Jonosfärspåverkan

Jonosfären är det yttersta atmosfärsskiktet och ligger mellan 50 och 1000 km ovanför jordens yta. I atmosfären påverkas signalen mest i jonosfären genom fördröjning och riktningsändring. Detta beror bl.a. på densitetsvariationer och solstrålningens jonisering av gasmolekyler. Det mest effektiva motmedlet mot jonosfärspåverkan är att undvika mätning med satelliter som har låg elevationsvinkel ($<10-15^\circ$). [2] [5]

2.4.3 Mottagarklockans osäkerhet

Den tredje största felorsaken är instabiliteten i mottagarklockan som till skillnad från satelliterna innehåller en oscillator istället för ett atomur. Mottagarklockan är således mer känslig mot temperaturförändringar, rörelse och vibrationer.

Vid bärvågsmätning elimineras felet genom s.k. enkeldifferenser. Vid absolut mätning tas större delen av felet bort med hjälp av inbindning mot minst fyra satelliter. [2] [5]

2.4.4 Bandatafel

Bandatafelet beror på fel i den information som sänds ut till mottagaren om var satelliterna befinner sig och deras omloppsbanor. För att minimera felkällan kontrolleras satelliternas omloppsbanor kontinuerligt av kontrollsegmentet. Banparametrarna justeras ständigt och sänds upp till satelliterna för vidare utsändning till användaren. [2] [5] [6]

2.4.5 Troposfärspåverkan

Troposfären är det atmosfärsskikt som ligger närmast jorden och sträcker sig till mellan 9 och 16 km över jordytan. Det är i troposfären som det vi definierar som väder utspelar sig. I troposfären kan det bli viss fördröjning av signalen men inte lika stor som i jonosfären. Fel som orsakas av troposfären kan minskas genom att göra en modell över den. [2] [5]

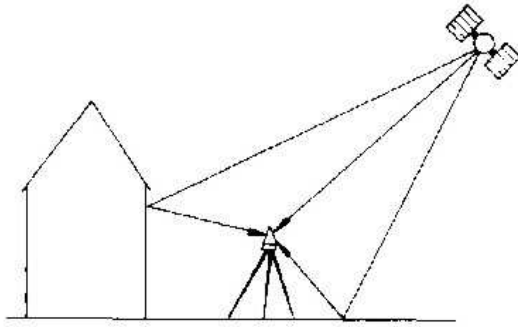
2.4.6 Satellitkonfiguration

En felkälla kan vara att DOP-talet är högt. Orsaken är dålig spridning av satelliter på himlavalvet både vad gäller bäring och elevationsvinkel. Mätning med högt DOP-tal undviks genom att ge mottagaren en förinställd gräns för högsta acceptabla värde. Via satellitprediktioner går det att förutse vilka tidpunkter det är mer eller mindre fördelaktigt att mäta. [5]

2.4.7 Flervägsfel

Med flervägsfel menas att satellitsignalen reflekteras mot t.ex. husfasader, bilar och vattenytor vilket ger falska signaler till mottagaren. Att signalen har reflekterats innan den når mottagaren medför att avståndsmätningen blir felaktig. [5] [6]

Mottagare har ofta funktioner för att upptäcka om signalen har bytt karaktär p.g.a. reflektion. Andra motmedel är val av antenntyp och mätmiljö.



Figur 2: Illustration av flervägsfel. [13]

2.4.8 Sikthinder

Avskärmning av GPS-signalen p.g.a. sikthinder kan innebära att signalen försvagas alternativt helt eller delvis uteblir. Sikthinder som t.ex. höga byggnader eller tät vegetation är vanliga orsaker och kan göra att mottagaren tappar kontakten med satelliterna temporärt eller helt och hållet. Detta i sin tur leder till sämre positionsnoggrannhet.

Motmedlet är att innan mätning rekognoscera terrängen väl samt välja punkter med omsorg. [5] [6]

2.5 Signalsystem

Principen för positionsbestämning bygger på inbindning mellan mottagare och satelliter och inbindningen sker genom avståndsmätning till satelliterna. Avståndsmätningen görs genom någon av principerna som beskrivs nedan.

Signalen som går från GPS-satelliterna till mottagaren innehåller ett meddelande som består av fem olika delar. Dessa utgörs av satellitklockkorrektur, två delar med information om banddata, atmosfärsinformation och femte delen innehåller information om satellitalmanackan och satellitens hälsa. [2]

Satellitsignalen sänds ut på två olika frekvenser som kallas L1 och L2. På L1-frekvensen sänds två modellerade koder ut, C/A- (Coarse/Acquisition) och P(Y)-kod (Precision), medan L2-frekvensen enbart sänder ut P(Y)-kod. C/A-koden är tillgänglig för samtliga

användare men P-koden är krypterad till Y-kod och kan endast användas av licensierade användare. [10]

2.5.1 Kodmätning

Avståndsmätning med kodmätning sker på C/A- eller P-koden. Mottagaren genererar en kopia av satellitens kodade signal och den jämförs med den uppfångade satellitsignalen som skickats ut från satelliten. Med hjälp av tidsmarkeringar mäts tidsförskjutningen mellan koderna. Tidsförskjutningen ger tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren, s.k. gångtid. Eftersom gångtiden och hastigheten är känd kan avståndet beräknas. Avståndet kallas också pseudoavstånd eftersom det inte är helt korrekt utan innehåller en del felaktigheter som beror på bl.a. de felkällor som nämns ovan. [6] [10]

De enklaste mottagarna för kodmätning klarar endast av C/A-kod och ger då en teoretisk positionsnoggrannhet på ca tre meter. P-kodens chiplängd är en tiondel av C/A-kodens chiplängd och ger därmed en teoretisk noggrannhet på ca tre decimeter. [5]

Mellan år 1989 till 2000 fanns en störsignal kallad S/A (Selective availability) som gjorde att positionsnoggrannheten försämrades avsevärt. Den användes för militära ändamål men togs bort efter order från USA:s president. [2]

Kodmätning går snabbt, är billigt och är okänsligt för signalavbrott. Däremot fås inte den noggrannhet som behövs för mätningar med höga krav.

2.5.2 Bär vågsmätning

Bär vågsmätningen är en noggrannare metod som mäter direkt på de omodellerade L1- och L2-frekvenserna. Den ställer därmed högre krav på mätutrustning och utförandet av mätningarna men även på mätmiljön eftersom den är känslig för signalavbrott. [10]

I mottagaren skapas en bär våg med samma frekvens som någon av de genererade satellitsignalerna L1, L2 eller båda. Bär vågsmätningen bygger på att antalet hela våglängder mäts mellan satellit och mottagare. När mottagaren har fixerat antalet hela våglängder har de periodobekanta lösts (avståndet har blivit bestämt). Det kallas fixlösning. [5]

För att kunna få fixlösning måste mottagaren följa satelliterna genom olika epoker för att få tillräcklig mängd mätdata och därigenom få överbestämning i avståndsmätningen. [2]

För att kunna mäta del av våglängderna sker fasmätning där mottagarens genererade signal och satellitens utsända signal återigen jämförs. Då bibehålls lösning mot satelliterna. Detta gör det möjligt för realtidsmätning och efter initialisering fås fixlösning. [5] [6]

Teoretisk noggrannhet för bärvågsmätning är några millimeter (för mottagare som kan ta emot både L1- och L2-frekvensen) och ger möjlighet för mätningar med högt ställda krav.

Bärvågsmätning är mycket noggrann, men den är tidskrävande, dyrbar och känslig för signalavbrott. [5]

2.6 Metoder för positionsbestämning

2.6.1 Absolut mätning

Med absolut mätning menas mätning med en ensam mottagare som mäter avstånd mot satelliter för att få en position. Latitud, longitud och höjd bildar tre obekanta, därför krävs mätning mot tre satelliter. För att till stor del eliminera klockfelet i mottagaren krävs fyra satelliter. Detta kallas också absolutpositionering. Absolut mätning sker i huvudsak med kodmätning. [2] [5]

Detta är en metod då en eller flera referensstationer på marken inte finns tillgängliga och då endast en mottagare används. Användningsområden blir då t.ex. fritidsbåtar, friluftsliv och lokalisering av fordon vid transporter. [3]

2.6.2 Relativ mätning

Krävs högre noggrannhet behövs minst två mottagare som mäter simultant. Detta kallas relativ mätning eftersom mätning med mottagaren sker relativt minst en referens. Bärvågsmätning eller kodmätning används för relativ mätning.

Vid bärvågsmätning bildas differenser mellan mottagarens mätning och referensstationens mätning för att eliminera eller reducera de flesta felkällorna. Detta är den största skillnaden i jämförelse med absolut mätning. För att få fixlösning krävs att mottagaren och referenserna har kontakt med samma satelliter.

Det finns olika typer av relativ mätning. Statisk mätning bygger på att mätdata samlas in över en punkt under en längre period. Positionen bestäms genom efterberäkning och ger en noggrannhet på 0,5-2 cm. Vid relativ kinematisk mätning används en referensstation och en rörlig mottagare och positionen efterberäknas eller erhålls i realtid och ger en noggrannhet på ca 1-3 cm.

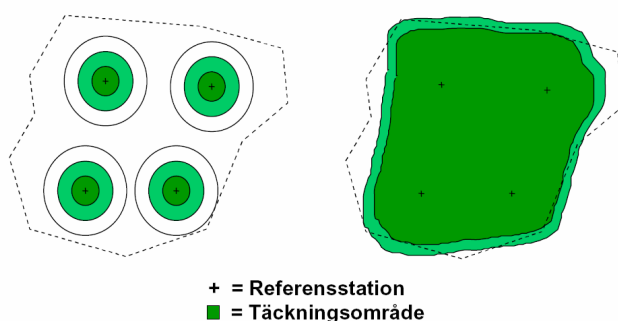
För att få position i realtid utan efterberäkning så används metoden DGPS (differentiell GPS) för kodmätning och metoderna RTK (Real Time Kinematic) och nätverks-RTK för bärvågsmätning. För RTK används en fast referensstation och en rörlig mottagare (s.k. enkelstations-RTK). Initialisering krävs för att få fixlösning. Nätverks-RTK bygger på att ett antal fasta referensstationer sitter ihop i ett nätverk (mer om detta i nästa kapitel). [2] [5] [14]

3 Nätverks-RTK

Nätverks-RTK för regional användning har funnits i Sverige sedan år 2001.

Huvudprincipen för nätverks-RTK är att flera stationer används som referens till skillnad från vanlig RTK där endast en referensstation används. [14]

Eftersom referensstationerna är sammankopplade i ett nätverk går det att beräkna en modell av felkällornas inverkan i hela nätverksområdet. Modellen skapas t.ex. utefter signalens påverkan i atmosfären och satelliternas banddata. [5]



Figur 3: Illustration av nätverks-RTK. [5]

Fördelar med nätverks-RTK är att endast en mottagare behövs eftersom referens finns tillgänglig överallt. Mätningen blir också oberoende av avståndet till referensstationen eftersom täckningen är "sömlös". Eftersom det inte behövs en ny referensstation för varje mätning krävs ingen vakt för eventuell stöld och det blir mindre att bära med sig. [15]

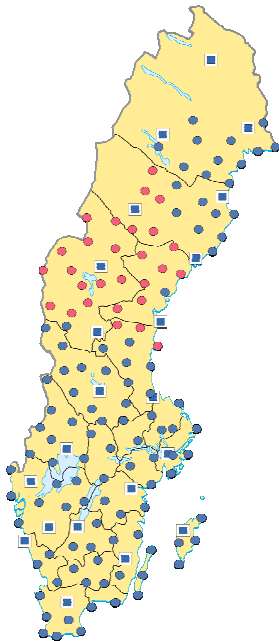
3.1 SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

Geodesienheten på Lantmäteriets division Informationsförsörjning driver en nätverks-RTK-tjänst kallad SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.

SWEPOS är ett nationellt nät av fasta referensstationer för mätning med GNSS. Den främsta uppgiften är att erbjuda data från satelliterna för t.ex. positionsbestämning i realtid för bl.a. navigering och datainsamling till databaser för GIS.

SWEPOS består idag av 121 stationer där 21 är de s.k. fundamentala stationerna. De 21 fundamentala stationerna och några till har sin GNSS-antenn monterad i berggrunden på en väl förankrad betongpelare, medan övriga har en mer förenklad antennmontering på t.ex. byggnader. Många stationer har dubblerad utrustning för ökad driftssäkerhet.

Det sker en ständig utbyggnad av nätet och målet är att hela landet förutom den nordvästra delen av Norrland ska kunna använda nätverks-RTK-tjänsten och få god positionsnoggrannhet. Idag är täckningsområdet utbrett i hela Götaland och Svealand samt Västerbotten och Norrbottens kustlandskap. [16]



Figur 4: SWEPOS nätverk av fasta referensstationer och referensstationer under uppbyggnad. [3]

RTK-data från SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst kan överföras till användaren via GSM, trådlös Internetkommunikation via GSM med hjälp av GPRS (i rapporten benämnd GPRS), eller satellittelefoni. Annan trådlös Internetkommunikation än GPRS kan också användas (t.ex. UMTS och WLAN). I området kring utbyggnaden av E45 och järnvägen norr om Göteborg har tjänsten projektanpassats med tätare placering av referensstationer och utsändning av data sker även via radio. Projektanpassningen beskrivs nedan.

När användaren initierar kontakten med tjänsten skapas en s.k. virtuell referensstation på platsen. Data beräknas för att skapa en interpolerad atmosfärsmodell kring den virtuella referensstationen.

Anslutningen sker till driftledningscentralen på Lantmäteriet i Gävle där all styrning och övervakning sker. Abonnenterna av tjänsten har tillgång till support och kan även få felmeddelanden via SMS.

3.2 Projektanpassad nätverks-RTK

Vid omfattande projekt för t.ex. infrastruktur, såsom utbyggnaden av E45, har nätverks-RTK-tjänsten projektanpassats genom en förtätning av referensstationer. Den projektanpassade tjänsten kallas PA-NRTK

och används i detta fall för Vägverkets nybyggnad av E45 och Banverkets dubbelspårsutbyggnad norr om Göteborg. [1]

Det är första gången som nätverks-RTK projektanpassas. Det började i samband med Marieholmsförbindelsen, numera kallad Partihallsförbindelsen, som är en planerad förbindelse under Göta Älv i Göteborg. Arbetet med denna förbindelse låg nere ett tag till förmån för utbyggnaden av E45 men har nu åter startats. [17]

Anledningen till projektanpassningen i detta område är att uppfylla de höga krav som ställs på plan- och höjdnoggrannhet. Till projektanpassningen hör också att RTK-data även sänds ut via radio med full täckning i förtätningsområdet.

Radiosändare är placerade på referensstationerna i området. För varje sändare har en centralpunkt valts för den virtuella referensstationen, utifrån vilken RTK-data beräknas för. RTK-data från radiosändaren är alltså ej identisk med RTK-data för referensstationen där sändaren är placerad. [1]

För projektet har även SWEPOS anpassat sin beräkningstjänst. Användaren skickar fil med mätdata till beräkningsserver med dator för beräkning i det s.k. Bernprogrammet. Resultat fås både på webbsidan och via e-post. De data som beräkningstjänsten behöver är ungefärliga koordinater, antennhöjd och vilken antenntyp som används.

Referenssystemet RT 90 och höjdsystemet RHB 70 används till projektet, där ett transformationssamband från SWEREF 99 till RT 90 och en lokal geoidmodell till RHB 70 används. Den lokala geoidmodellen är bl.a. baserad på inpassning på nio, i RHB 70, avvägda punkter.

Då GPS-/GLONASS-utrustning används i det projektanpassade området är det förväntade medelfelet i plan, 11 mm (68 %), och i höjd, 13 mm (68 %). [1] [18]

4 Metod och genomförande

Examensarbetets huvudsakliga uppgift har varit att jämföra de båda distributionskanalerna GPRS och radio som kommunikation mellan SWEPOS driftledningscentral och användaren av nätverks-RTK-tjänsten.

Mätdata för jämförelsen har samlats in i åtta mätserier (en mätserie avser 10 direkt efterföljande mätningar på respektive punkt) på sex olika punkter.

Fältarbetet utfördes mellan 16 april 2007 och 2 maj 2007, med uppehåll på helgdagar.

Detta kapitel förklarar arbetet med förberedelser, vilken utrustning som användes, mätstrategi m.m.

4.1 Förberedande arbete

Arbetet inleddes med att samla ihop mätutrustning och tillbehör som ansågs vara nödvändig för att utföra fältarbetet. Två GNSS-mottagare användes och för att mätningar skulle kunna ske simultant över samma punkt användes en gemensam antenn. Instrumenten konfigurerades så att de båda utrustningarna hade samma programvara och liknande inställningar. Där det var nödvändigt fick de båda utrustningarna specifika konfigurationer för att kunna användas för GPRS respektive radio. Utrustning såsom trefot kontrollerades. Mätstrategin planerades, utrustningslista uppfördes och mätprotokoll konstruerades. Koordinater för punkter, som beskrivs nedan, användes som sanna värden vid beräkning av resultatet.

Punktbeskrivningar för de kända punkterna togs fram genom sökning i Lantmäteriets geodetiska arkiv och listor över satellitprediktioner för fältmättningsperioden skrevs ut från SWEPOS hemsida.

4.2 Fältmättningsområde och mätpunkter

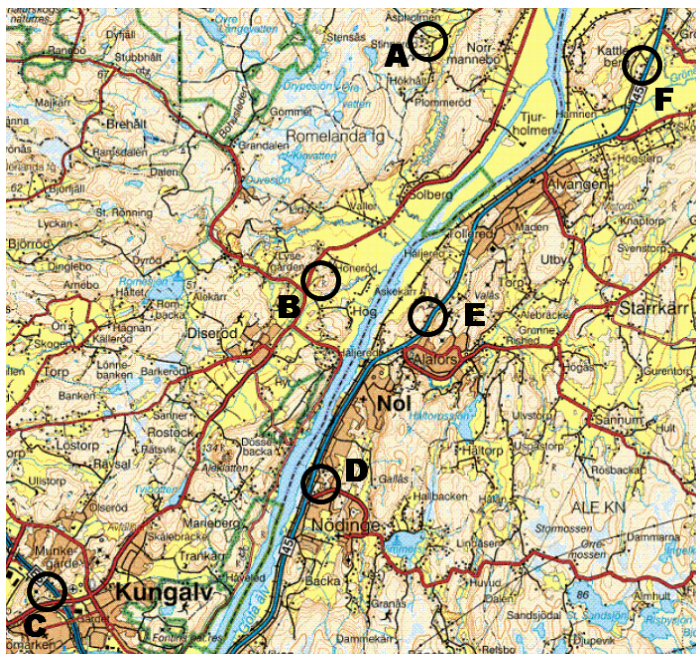
Eftersom nätverks-RTK-tjänsten i området kring utbyggnaden av E45 och den dubbelspåriga järnvägen mellan Göteborg och Trollhättan har projektanpassats med radioutsändning, valdes ett område kring Göta älv som fältmättningsområde. Sex punkter med kända positioner i både plan och höjd valdes, varav tre på västra sidan och tre på östra sidan av älven med Kungälv i söder och Skepplanda i norr som ungefärlig geografisk utbredning. Punkterna valdes också med tanke på att minska transporttiden mellan punkterna och tillgänglighet.

Fem av de sex punkterna är befintliga s.k. RIX 95-punkter och en punkt är nymarkerad. Dock har inte RIX 95-positioner använts som kända, utan de kommer från en ny statisk GPS-mätning utförd 2006 och är angivna i referenssystemet SWEREF 99. Dessa positioner har

också använts vid beräkningen av tranformations sambandet och den lokala geoidmodellen som nämns i avsnitt 3.2.

Strukturen för punkt nummer lades upp enligt följande: De kända punkternas "siffernamn" döptes om till A, B, C o.s.v. efter hur de ligger geografiskt (se figur 5). Sedan angavs, med siffror, mätserie och mätning enligt följande exempel för punkt A: "A101" som avser mätning på punkt A, serie 1 och mätning 1. Med mätning avses en enskild mätning som byggde på medeltalsbildning av fem mätningar i en sekunds observationsintervall. Mätningarna sparades i ett jobb per punkt och distributionskanal, t.ex. "GPRSA" för mätning på punkt A med GPRS.

Alla punkter är markerade med rör i berg utom punkt E som är markerad med dubb i berg.



Figur 5: Karta över fältmätningområdet. [Lantmäteriet]

Punkt	Belägenhet	Punkt-nummer	Latitud	Longitud	Höjd (m)
A	Stinneröd	7716590	57°58'59,059665"	12°04'56,251954"	99,640
B	Honeröd	7715590	57°56'11,319386"	12°02'51,469593"	101,943
C	Kungälv (Lasarettsmotet)	7714490	57°52'31,178544"	11°57'37,586499"	54,959
D	N. Nödinge	7715591	57°53'48,418922"	12°02'51,011713"	48,511
E	Alafors	05132	57°55'48,712942"	12°05'07,185498"	52,579
F	N. Kattleberg	7716690	57°58'51,291469"	12°09'29,327313"	67,221

Tabell 1: *Punktförteckning med positioner i SWEREF 99.*

Terrängen kring punkterna A och C var nästan helt öppen. Det var alltså en låg störandegrad av satellitmottagningen. Punkt B hade en del lite högre buskar och träd i närområdet. Punkt D hade höga träd i norr, annars fritt. Vid punkt E fanns en sluttning i väst vilket försvårade kontakten med satelliter som hade låg elevation. Kring punkt F fanns en del buskar och lövträd men dessa påverkade inte satellittillgången.

I de tillhörande punktbeskrivningarna finns utförlig beskrivning av deras belägenhet med tillhörande karta och skiss. Information finns även om hur punkten är markerad samt riktning och avstånd från distansmarkering. Alla punkterna utom punkt E har en lämplighetsbedömning för GPS-mätning och de fem punkterna är benämnda "bra".

Punktbeskrivningen för E är likvärdig men ger ingen bedömning om lämplighet för GPS-mätning.

I det projektanpassade området och i den projektanpassade beräkningstjänsten ges tredimensionell position initialt i referenssystemet SWEREF 99.

4.3 Utrustning och konfiguration

Mätningarna utfördes med både GPS och GLONASS. Mätningar skedde över samma punkt simultant för att få så rättvis jämförelse som möjligt. För att göra detta möjligt användes antenndelare så att gemensam antenn skulle kunna användas. Nedan följer den utrustning som användes av de båda mottagarna:

Komponent	GPRS	Radio
Stativ	Leica	
Trefot	Leica GDF 112	
Antennhållare	Leica GRT144	
Instrumenthöjdmätare	Leica GZS4-1	
GNSS-antenn	Leica AX1202 GG	
Antenndelare	GPS Networking INC, LDCBS1X4	
GNSS-mottagare	Leica GX1230	Leica GX1230
Handenhet	Leica RX1210T	Leica RX1210T
Mottagarens mjukvaruversion	5.1	5.1
Modem	Siemens MC45	Satellite 3ASd
Minimielevation	13°	13°
RTCM	Ver. 3.0	Ver. 3.0
Referenssystem	SWEREF 99	SWEREF 99

Tabell 2: Utrustning/konfiguration för de specifika teknikerna.

Övrig utrustning:

- PCMCIA-kort till respektive mottagare.
- Kablar.
- Tidtagarur.
- Mätprotokoll innehållande t.ex. initialiseringstid, antal satelliter, antennhöjd och övriga uppgifter.
- Satellitprediktioner.



Figur 6: *Leica system 1200 som användes vid fältmätningarna. [19]*

4.4 Mätstrategi

För varje mätserie utarbetades ett mätschema för att inte missa något moment då mätningen utfördes. Mätserierna utfördes vid olika tidpunkter för att få bra spridning. Viss planering vid val av tidpunkt gjordes utefter satellitprediktioner.

Radiomodemet var konfigurerat för ett visst frekvensintervall. Vid mätning på de fyra nordligast belägna punkterna (A, B, E och F) användes mottagning från radiosändaren på Tjurholmen vid Göta älv och vid mätning på punkt C och D användes mottagning från radiosändaren på Mareberget. Frekvensen för Tjurholmen (445,30625 MHz) är densamma som radiomodemets grundfrekvens. Vid mätning med Mareberget som radiosändare ändrades frekvensen till 445,38125 MHz.

Tre minuter användes som gräns för initialiseringstid. Inledningsvis var det tänkt att vid mätningar som översteg tidsgränsen så skulle dessa räknas som misslyckade inom det totala antalet mätningar. Istället gjordes sådana mätningar om och misslyckade mätningar räknades ej in i resultatet. Det ska nämnas att överskridande av initialiseringstiden eller ej uppnådd fixlösning endast inträffade ett fåtal gånger under fältmätningensperioden.

Varje enskild mätning byggde på medeltalsbildning av fem mätningar med en sekunds observationsintervall.

Vid mätningarna sparades punktnummer, latitud, longitud, höjd över ellipsoiden, mottagarens angivna 3D-kvalitet (sammanlagd kvalitet för plan och höjd), PDOP-värde, antennhöjd, datum samt klockslag. I mätprotokollet antecknades tid till fixlösning, antal satelliter för både

GPS och GLONASS vid mättillfället, ålder för RTK-data och procent överförda data. Dessutom noterades övrig information som väder och om något särskilt inträffade under mätningen.

4.4.1 Mätschema

Proceduren för fältmätningarna:

1. Stativ med trefot centrerades och horisonterades noggrant över punkt med känd position.
2. Antennhållare och antenn monterades på trefoten.
3. Instrumenthöjden uppmättes och noterades.
4. Radio- respektive GSM-antenn monterades på respektive modem.
5. Kablar monterades mellan antenner, antenndelare, handenheter och modem. Strömmen till GNSS-antennen togs från GNSS-mottagaren som använde GPRS, därför kopplades kabeln från GNSS-mottagaren för GPRS till antenndelarens "J1-uttag".
6. Radiomodemet ställdes in på korrekt frekvens.
7. GNSS-mottagaren för GPRS startades. När en absolut position uppnåtts startades även GNSS-mottagaren för radio. Radiomodemet startar automatiskt och RTK-data kommer.
8. När GNSS-mottagaren för radio fått en absolut position kopplades GNSS-mottagaren för GPRS upp mot Internet och tidtagning startades.
9. När fixlösning uppnåtts för respektive mottagare stoppades tidtagningen med de båda tidtagarna och tid noterades.
10. Vid bibehållen fixlösning gjordes simultan mätning och lagring av positionen med de båda mottagarna.
11. Antal satelliter för både GPS och GLONASS, ålder för RTK-data och procent överförda data noterades.
12. GNSS-mottagarna stängdes av helt efter att uppkopplingen mot Internet för GPRS-mottagningen först hade kopplats ned. Proceduren upprepades på varje punkt i åtta mätserier á tio mätningar.

4.5 Efterbehandling och analys av mätdata

Efter varje fältmätningdag fördes mätdata över från mottagarna till stationär dator. I GNSS-mottagaren konverterades data till textfil så att den blev kompatibel med kalkylprogrammet Microsoft Excel dit mätdata flyttades och beräkningar utfördes.

I Excel beräknades bl.a. medeltal, standardavvikelse och noggrannhetsmått (se nästa kapitel).

Statistiken beräknades utifrån avvikelsen från de kända punkternas koordinater i plan och höjd. Jämförelsen gjordes i SWEREF 99. I plan omvandlades koordinaterna från grad- till metersystemet. En sekund i latitud i gradsystemet motsvarar ca 30,9 meter. För att få latitudskillnaden i meter multipliceras latitudskillnaden i sekunder med värdet 30,9. Eftersom longitudgraderna minskar när latituden ökar multipliceras longitudskillnaden med förutom 30,9 också med $\cos(\text{latgrad})$ där lämpligt värde för fältmättningsområdet fördes in. Av skillnaden i latitud och longitud beräknades radiell planavvikelse i millimeter.

Höjdavvikelsen från punkternas sanna värden beräknades i millimeter.

Protokollförda uppgifter som nämns ovan fördes också in i programmet.

I Excel skapades diagram som redovisas i kapitel 6 samt bilagor.

5 Kvalitetstermer

För att få ett mått på mätningars kvalitet så används olika begrepp och formler som beskrivs nedan.

5.1 Feltyper

Det finns ingen mätning som är helt felfri. Ett fel definieras som skillnaden mellan det mätta och det sanna värdet. Felen brukar delas in i grova, systematiska/regelbundna och slumpmässiga/tillfälliga fel.

Grova fel uppkommer av slarv eller bristande uppmärksamhet i samband med mätningen. Det kan vara felskrivning, förväxling av siffror och annat som orsakas av den mänskliga faktorn. Grova fel upptäcks genom upprepad mätning eller att mätresultatet kontrolleras.

Systematiska eller regelbundna fel uppkommer av t.ex. dåligt kalibrerade instrument eller att felaktiga korrektioner har använts. Dessa fel elimineras eller reduceras genom korrekta korrektioner och lämpligt valda mätmetoder.

Slumpmässiga eller tillfälliga fel uppkommer av slumpen och kan inte i förväg beräknas eller korrigeras. Felen kan studeras med statistiska metoder eftersom de antas vara normalfördelade. De slumpmässiga felen reduceras genom lämpligt valda beräkningsmetoder och upprepade mätningar. [20] [21]

5.2 Riktighet

Riktighet beräknas med medelavvikelsen som är ett medeltal av alla mätvärdenas avvikelser från det sanna värdet. Medelavvikelsen ska vara så liten som möjligt och vid tillräckligt mycket data bör värdet närma sig noll. Om värdet avviker från noll innebär det att mätningarna innehåller systematiska fel.

Medelavvikelsen beräknas enligt följande formel

$$m = \frac{\sum \varepsilon}{n}$$

där ε är skillnaden mellan mätt värde och sant värde och n är antalet mätningar.

5.3 Precision

Precision beräknas med standardavvikelsen som visar mätvärdenas spridning kring ett antal mätningars medelvärde eller tyngdpunkt. Det betyder att en mätserie kan ha hög precision men ändå ligga långt

ifrån det sanna värdet. Om felen antas vara normalfördelade bör ca 68 % av mätningarna ha ett fel som är mindre än precisionen.

Standardavvikelsen beräknas enligt formeln

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

där \bar{x} är mätningarnas medelvärde och n är antalet mätningar.

5.4 Noggrannhet

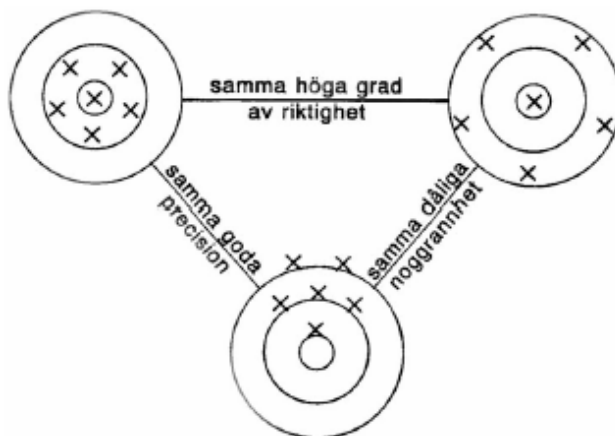
Noggrannhet eller medelfel beskriver mätvärdenas spridning kring det sanna värdet. Om felen antas vara normalfördelade bör ca 68 % av mätningarna ha ett fel som är mindre än noggrannheten. Är det hög noggrannhet innebär det att mätningarna är väl samlade och medför hög precision.

Medelfelet beräknas enligt formeln

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}}$$

där ε är skillnaden mellan mätt värde och sant värde och n är antalet mätningar.

5.5 Sambandet mellan riktighet, precision och noggrannhet



Figur 7: Sambandet mellan felbegreppen riktighet, precision och noggrannhet. [20]

Figur 7 illustrerar sambandet mellan de ovan beskrivna begreppen riktighet, precision och noggrannhet. Har mätningen en hög riktighetsgrad innebär det att medelvärdet ligger nära det sanna värdet men det behöver inte innebära att mätvärdena är tätt samlade.

Har mätningen en god precision innebär det att mätvärdena är tätt samlade men medelvärdet behöver inte ligga nära det sanna värdet.

Är noggrannheten dålig är medelvärdet av mätvärdenas avvikelse stor men det kan ändå vara god precision och hög grad av riktighet.

5.6 Sigmanivå

I normalfördelningen är kurvan symmetrisk kring medelvärdet. Olika konfidensintervall används för att visa inom vilken felmarginal mätvärden ligger. De vanligaste konfidensintervallerna inom statistiken är 68 % och 95 %, även kallat sigmanivå 1 och 2. Den senare kallas också varningsgräns.

6 Resultat

I detta kapitel sammanställs resultat från fältmätningar och efterföljande databearbetning. Fältmätningarna utfördes mellan 16 april 2007 och 2 maj 2007. Mätningarna utfördes på sex olika punkter:

6 punkter * 2 tekniker * 8 mätserier * 10 mätningar = 960 mätningar

Misslyckade mätningar gjordes om och ommätningen togs med som en "lyckad" mätning. Med misslyckad mätning avses t.ex. ej uppnådd fixlösning inom tre minuter eller ej kontakt med Internet. Dessa har alltså ej tagits med i beräkningen och således inte heller i resultatet. Det ska dock återigen nämnas att endast ett fåtal mätningar misslyckades. Samtliga mätvärden som ingår i resultatet är alltså "lyckade" mätningar.

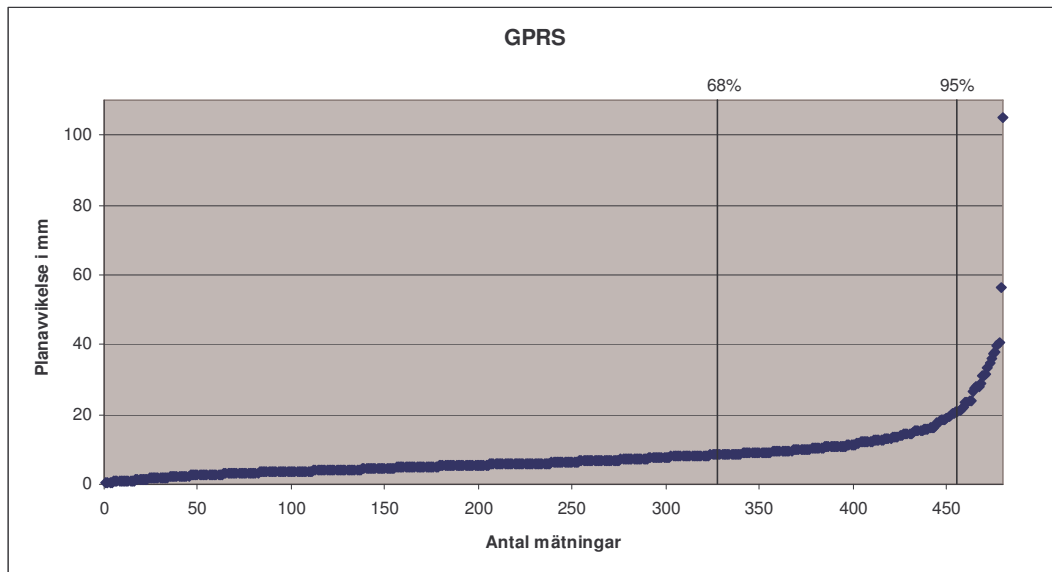
Värdet vid 68 % och 95 % i tabellerna avser gränsvärdet för 1-sigma respektive 2-sigma-nivåerna i normalfördelningsfallet. Dessa värden togs fram genom att sortera alla mätvärden från minsta till största avvikelse och sen plocka ut värdet vid 68 % och 95 %. T.ex. vid samtliga mätningar för en av teknikerna blev 68 %-värdet det 326:e värdet i ordningen ($0,68 * 480$).

Diagram punkt för punkt finns redovisat under Bilaga A och kompletterande diagram för samtliga punkter i Bilaga B.

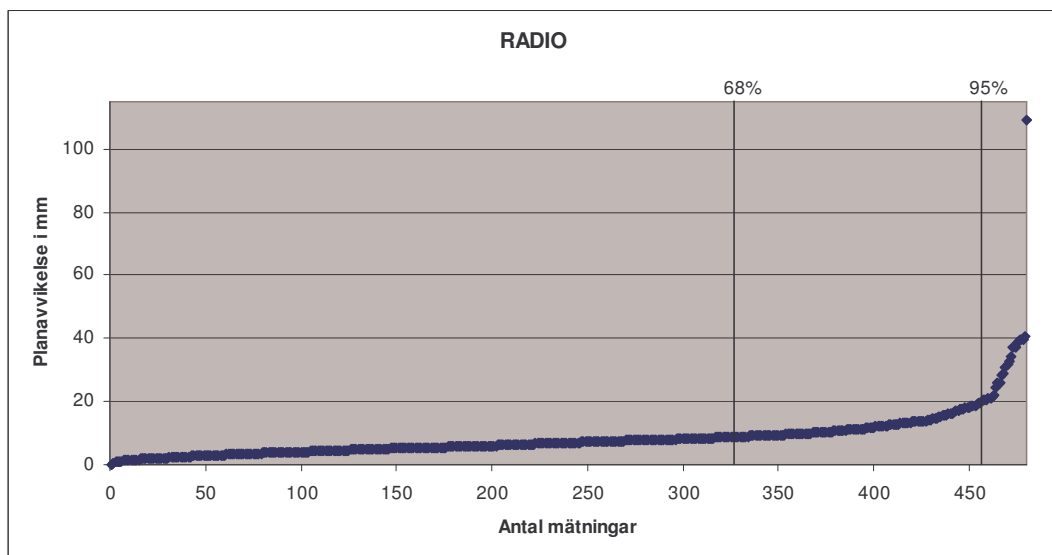
6.1 Planavvikelse

Kvalitets-term	Distributions-teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Samtliga punkter
68 %	GPRS	7	8	5	6	16	10	8
	Radio	9	9	6	7	17	10	9
95 %	GPRS	15	14	10	10	38	17	21
	Radio	16	16	9	10	39	16	20
Riktighet	GPRS	4	2	3	2	13	6	4
	Radio	7	5	2	2	13	6	4
Precision	GPRS	7	10	6	6	17	7	11
	Radio	6	8	5	6	18	7	11
Noggrannhet	GPRS	8	10	7	6	21	10	11
	Radio	9	9	6	6	22	10	12

Tabell 3: Kvalitetsvärden (mm) i plan för respektive distributionsteknik.



Figur 8: Planavvikelse i mm för mätning med distributionstekniken GPRS sorterat från det lägsta till det högsta värdet för samtliga mätningar.

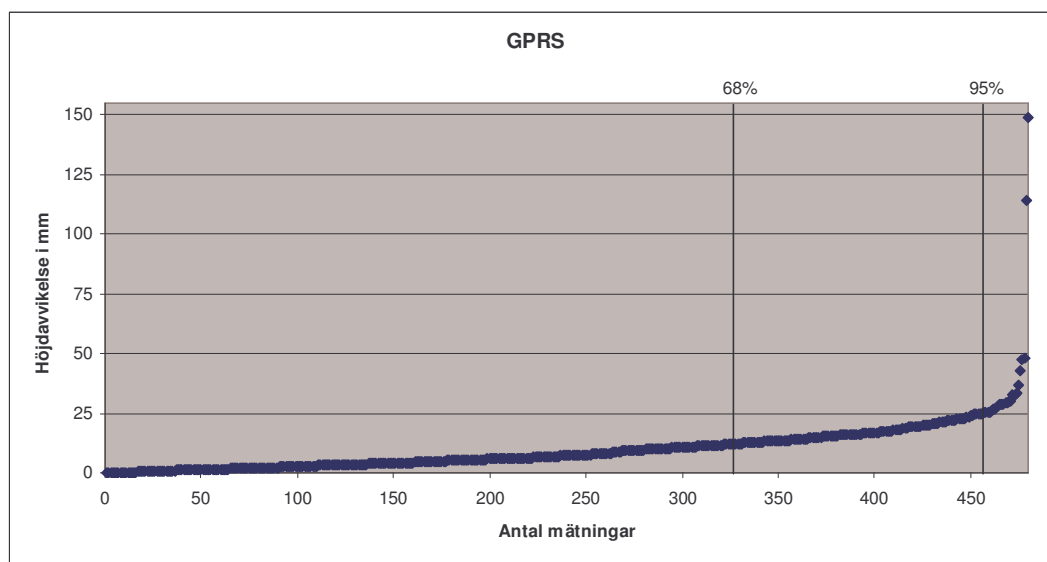


Figur 9: Planavvikelse i mm för mätning med distributionstekniken radio sorterat från det lägsta till det högsta värdet för samtliga mätningar.

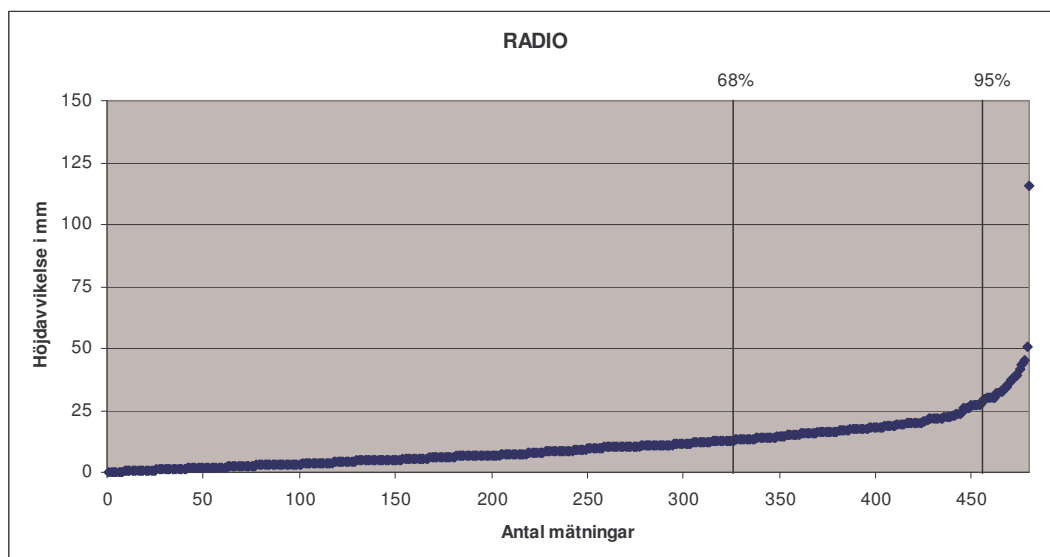
6.2 Höjdavvikelse

Kvalitets-term	Distributions- teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Samtliga punkter
68 %	GPRS	12	11	10	10	16	12	12
	Radio	13	12	11	11	16	11	13
95 %	GPRS	23	25	20	21	33	21	25
	Radio	30	30	22	22	35	27	29
Riktighet	GPRS	6	4	4	1	10	-1	4
	Radio	12	8	3	2	10	8	7
Precision	GPRS	11	20	10	10	19	11	15
	Radio	8	12	11	11	19	11	13
Noggrannhet	GPRS	12	20	11	10	21	11	15
	Radio	15	14	11	11	21	14	15

Tabell 4: Kvalitetsvärden (mm) i höjd för respektive distributionsteknik.



Figur 10: Höjdavvikelse i mm för mätning med distributionstekniken GPRS sorterat från det lägsta till det högsta värdet för samtliga mätningar.



Figur 11: Höjdavvikelse i mm för mätning med distributionstekniken radio sorterat från det lägsta till det högsta värdet för samtliga mätningar.

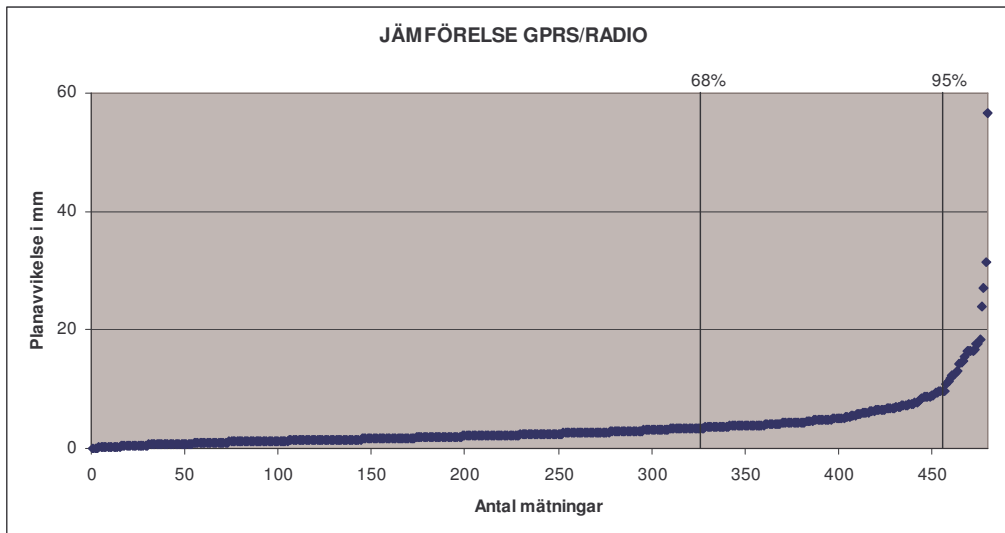
6.3 Jämförelse mellan distributions- teknikerna

Syftet med tabellerna och diagrammen i detta avsnitt är att visa storleken på skillnaden i plan och höjd mellan de båda distributions-
teknikerna. De visar hur långt ifrån varandra de båda teknikerna hamnade. Medelavvikelsen avser medelvärdet av skillnaderna vid varje mätning mellan teknikerna.

6.3.1 Jämförelse i plan

Kvalitetsterm	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Samtliga punkter
68 %	6	4	3	2	3	3	3
95 %	10	17	5	10	5	7	10
Medelavvikelse	4	5	2	2	3	3	3

Tabell 5: Jämförelse i plan avseende skillnaden i mm mellan distributions-
teknikerna GPRS och radio.

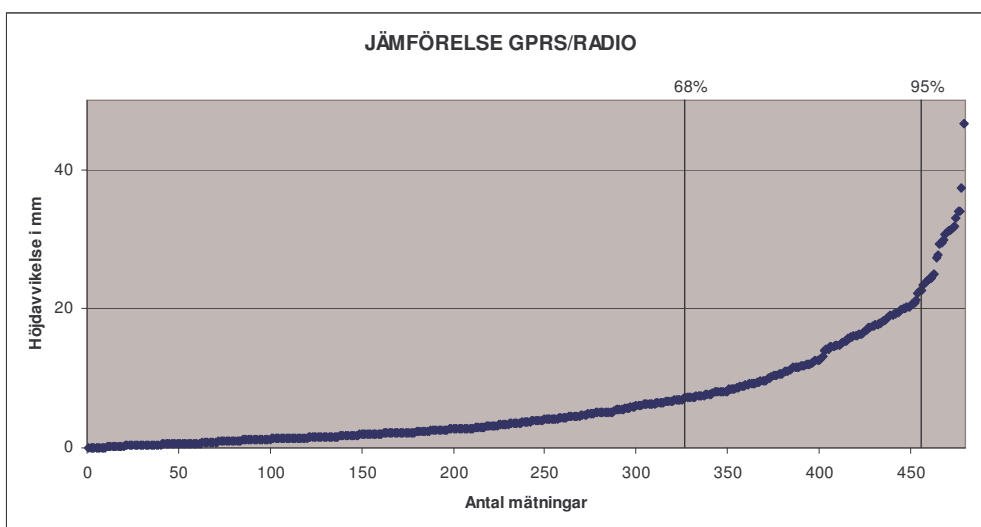


Figur 12: Jämförelse i plan i mm mellan distributionsteknikerna GPRS och radio.

6.3.2 Jämförelse i höjd

Kvalitetsterm	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Samtliga punkter
68 %	10	15	4	2	3	11	7
95 %	20	24	10	23	7	31	23
Medelavvikelse	9	12	4	4	3	10	7

Tabell 6: Jämförelse i höjd avseende skillnaden i mm mellan distributionsteknikerna GPRS och radio.



Figur 13: Jämförelse i höjd i mm mellan distributionsteknikerna GPRS och radio.

6.4 Initialiseringstid

Med initialiseringstid för GPRS avses tiden från att uppkoppling mot tjänsten påbörjas tills det att fixlösning uppnåtts. I jämförelsestudien gjordes uppkoppling mot tjänsten när mottagaren för radio erhållit en absolut position.

Med initialiseringstid för radio avses tiden från att en absolut position uppnås till dess att fixlösning uppnås.

Typvärde är det mest förekommande värdet i urvalet.

Kvalitetsterm	Distributions- teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Samtliga punkter
68 %	GPRS	24	25	22	23	26	22	23
	Radio	9	10	8	9	15	11	9
95 %	GPRS	41	40	24	26	43	32	36
	Radio	13	17	21	17	27	18	20
Medeltal	GPRS	26	25	21	22	28	22	24
	Radio	9	10	9	9	15	10	10
Typvärde	GPRS	22	23	21	20	23	19	21
	Radio	7	7	7	7	7	7	7
Längsta ini- tialiseringstid	GPRS	109	41	30	39	158	39	158
	Radio	86	24	31	22	135	34	135

Tabell 7: Kvalitetsvärden (sekunder) för initialiseringstid för respektive distributionsteknik.

6.5 Antal satelliter

Med antal satelliter avses det antalet satelliter som respektive mottagare hade kontakt med vid mättillfället. "Max antal satelliter" och "minst antal satelliter" avser sammanlagda antalet satelliter (GPS/GLONASS) vid mättillfället.

Kvalitetsterm	Distribu- tionsteknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Samtliga punkter
Medeltal antal GPS-satelliter	GPRS	7	7	7	7	6	7	7
	Radio	7	7	7	7	6	7	7
Medeltal antal GLONASS- satelliter	GPRS	4	3	3	3	3	3	3
	Radio	4	3	3	3	3	3	3
Max/min antal satelliter, GPS	GPRS	9/5	8/5	9/5	9/6	8/5	10/5	10/5
	Radio	9/5	8/5	9/5	9/5	8/5	10/5	10/5
Max/min antal satelliter, GLONASS	GPRS	6/0	5/0	4/0	4/1	4/1	4/0	6/0
	Radio	5/0	5/0	4/0	4/0	5/0	4/0	5/0

Tabell 8: Antal satelliter vid mättillfället för respektive distributionsteknik.

6.6 Ålder för RTK-data

Med ålder för RTK-data avses tiden för RTK-data att ta sig från SWEPOS utsändning till mottagaren vid mättillfället.

För mottagaren som använde GPRS som distributionsteknik var åldern 0,5-1,0 sekund på ca 75 % av mätningarna. Övriga var som mest 2-3 sekunder.

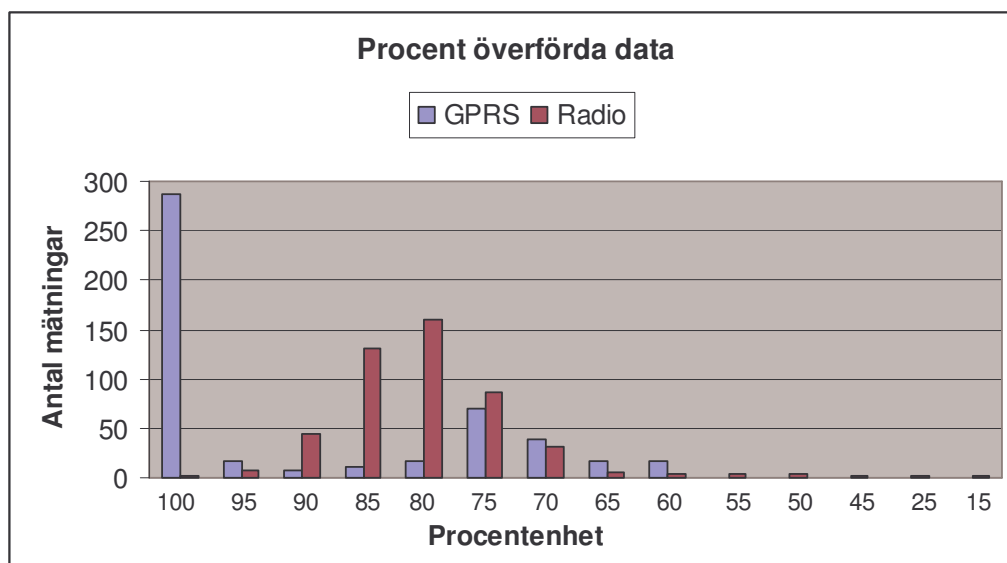
För mottagaren som använde radio var åldern 0,5-1,0 sekund vid nästan samtliga mätningar.

6.7 Procent överförda data

Med procent överförda data menas hur stor mängd av utsända RTK-data som når mottagaren vid mättillfället.

Procent överförda data	Antal GPRS	Antal radio
100	287	1
95	16	8
90	7	45
85	11	130
80	17	160
75	70	86
70	39	31
65	17	5
60	16	4
55	-	3
50	-	4
45	-	1
25	-	1
15	-	1
Summa	480	480

Tabell 9: Procent överförda data för de respektive distributionsteknikerna GPRS och radio för samtliga gjorda mätningar.'



Figur 14: Procent överförda data för de respektive distributionsteknikerna GPRS och radio.

7 Diskussion

I detta kapitel ges reflektioner över ovan angivna resultat. Se även bilagorna som referens för det här kapitlet. Jämförelser har gjorts utifrån de förväntade medelfelen för projektanpassningen av nätverks-RTK-tjänsten i projektet kring E45. De förväntade medelfelen är 11 mm i plan (68 %) och 13 mm i höjd (68 %).

7.1 GPRS

I resultaten med distributionstekniken GPRS för plan går det utläsa att 68 % av mätningarna på punkt A-D och punkt F gav bättre resultat än det förväntade medelfelet. Det bästa resultatet var på punkt C som hade 5 mm i planavvikelse. T.o.m. 95 % av mätningarna hade på punkt C och D under förväntat medelfel, övriga punkter hade också bra värden, alla under 20 mm förutom punkt E. Resultatet för punkt E kan ha blivit sämre p.g.a. högre störningsgrad genom träd och brant sluttning i väst. Samma mönster gäller för värdena för riktighet, precision och noggrannhet.

I sammanställningen för samtliga punkter var värdena 8 mm respektive 21 mm vid 68- och 95 %-nivåerna.

I höjd är 68 % av mätvärdena bättre än det förväntade utom på punkt E. På 95 %-gränsen är punkt E också sämst med 33 mm. Enstaka mätningar har stora avvikelser från det sanna värdet.

De systematiska avvikelserna finns på punkt A, där avvikelserna drar sig lite mot NO och lite uppåt. På punkt B drar avvikelserna mot norr och den tredje mätserien ligger högre än övriga. På punkt D samlas mätvärdena i NO/SV-riktning. På punkt E hamnar mätvärdena markant åt SO och uppåt. På punkt F samlas mätvärdena åt NO och lite nedåt.

68 % av initialiseringstiderna för GNSS-mottagaren för GPRS ligger mellan 20 och 25 sekunder. Vid 95 %-nivån är det initialiseringstiderna vid mätning på punkt C och D som avviker positivt (båda hade fri sikt åt söder), i övrigt ligger de runt 30-40 sekunder. Oftast var det så att om inte fixlösning erhöles inom en minut så uppnåddes ingen fixlösning alls utan mätningen gjordes om. Detta gäller även för radio.

Satellitillgången var lika på samtliga punkterna förutom på punkt E som var något sämre, vilket kan förklaras av störningsgraden åt väst.

RTK-åldern var bra, och som tidigare nämnts var RTK-åldern max en sekund i 75 % av mätningarna.

I 287 av de 480 mätningarna överfördes 100 % av all RTK-data vilket ger en trygghet i mätningen. Bland övriga mätningar låg de flesta runt 70 %.

GPRS-tekniken har en del utrustningskrav för att kunna användas till nätverks-RTK-tjänsten. GSM-uppkoppling behövs med tillhörande abonnemang som ger en extra kostnad där användaren betalar för överförd datamängd. En annan handhavandeaspekt att tänka på är att mjukvaran måste klara NTRIP-protokollet för mobilt Internet.

Prestandamässigt kan sägas att mätning med GPRS som distributions-teknik är tillförlitligt överlag men vid en del tillfällen blev det krångel med GSM-initialisering och Internetuppkoppling under fältmätningarna. Dock varade problemen inte längre än någon timme med undantag för ett tillfälle då en halv dags mätning uteblev p.g.a. Internetanslutningssvårigheter.

7.2 Radio

Alla punkter vid mätning med distributionstekniken radio utom punkt E hade bättre planavvikelser än det förväntade vid 68 %-nivån. Vid 95 %-nivån var det bra värden, punkt C och D hade t.o.m. bättre än de förväntade värdena för det projektanpassade området. Endast enstaka planavvikelser är stora.

Likt GPRS är mönstret detsamma för riktighet, precision och noggrannhet som för sigmanivåerna. Det är resultatet för punkt E som har sämre värden än övriga punkter.

Höjdavvikelserna för radio är nästan precis som de förväntade vid 68 %-gränsen. Vid 95 % ligger det på max 35 mm (punkt E).

En del systematiska avvikelser har upptäckts. På punkt A ligger planavvikelserna åt NO. Punkt C är väldigt bra samlat kring det sanna värdet (origo). Likt GPRS så är avvikelserna för punkt D spridda i SV/NO-riktning. Avvikelserna för punkt E är mer utspridda, speciellt åt SO. Avvikelserna på punkt F är spridda åt öst.

Initialiseringstiderna är mycket korta vilket typvärdet på 7 sekunder indikerar. 68 % av mätningarna hade initialiseringstid på 15 sekunder eller mindre och 27 sekunder eller mindre på 95 % av mätningarna.

Antal satelliter vid mättillfällena var nästan helt likvärdigt med mätning med mottagaren för GPRS. Det är på punkt E som satellit-tillgången var något sämre vilket även här förklaras av träd och sluttning i väst vilket gjorde att mätning mot satelliter med låg elevation var omöjligt i den riktningen.

RTK-data-åldern var max en sekund på nästan samtliga mätningar vilket bevisar att överföringen genom radiomodemet går snabbt.

Antal procent överförda data är sämre än för mottagaren för GPRS och låg för det mesta runt 80-85 % med en del "dalar". De låga procent-talen som blev i enstaka fall kan förklaras med att antennen på radiomodemet råkade ligga mot marken. Frågan kan ställas om placeringen av radiomodemets antenn har stor betydelse.

Utrustningskrav vid mätning med radio som distributionsteknik är att det behövs ett radiomodem. I det projektanpassade området kring E45 krävs det också att modemmet är av ett specifikt fabrikat och märke (Satelline 3AS) för att kunna ta emot de frekvenser som sänds ut från SWEPOS referensstationer i området.

Användaren behöver byta frekvens när mätningen förflyttas ut ur en radiosändares täckningsområde och in i ett annat. När standardöverföringsformatet RTCM går över i nästa version (3.1) kommer data att kunna sändas ut över hela området och frekvensen behöver då inte ändras.

Vad gäller prestandan så var radio mer tillförlitligt än GPRS under fältmätningarna och fungerade felfritt förutom när SWEPOS-tjänsten hade driftstörningar.

7.3 Jämförelse mellan distributions- teknikerna i plan och höjd

I plan gav teknikerna genomgående liknande resultat. På 68 %-nivån var GPRS något bättre i plan på punkt A-E men samma resultat på F. På 95 %-nivån var GPRS något bättre på tre punkter, radio bättre på två punkter och samma resultat på en punkt. För samtliga punkter var radio 1 mm sämre på både 68 %- och 95 %-nivån. På 68%-nivån för punkt E hade båda teknikerna ca 1 cm sämre resultat än på övriga punkter och på 95 %-nivån på punkt E låg teknikerna ca 2 cm ifrån resultatet på övriga punkter. Samma planresultat avspeglar sig i värdena för riktighet, precision och noggrannhet. Noterbart är att alla noggrannhetsvärden ligger bättre än det förväntade (11 mm) förutom för punkt E.

Även i höjd gav teknikerna liknande resultat. På 68 %-nivån var det en större avvikelse med båda teknikerna för punkt E än för övriga punkter. För övriga punkter fick båda teknikerna en något bättre avvikelse som låg mellan 10 mm och 13 mm. På 68%-nivån, punkt F, hade radio 1 mm mindre avvikelse än GPRS. För övriga punkter låg GPRS 1 mm bättre förutom E som hade samma värde. Punkt E hade ett steg sämre höjdvärde för båda teknikerna. På 95 %-nivån hade GPRS en mindre avvikelse än radio på samtliga punkter. På punkt C, D och E var avvikelsen mellan 1 mm och 2 mm och på punkt A, B och F låg GPRS 5-7 mm bättre än radio. Höjdresultaten för 68 %- och 95 %-nivåerna avspeglas i riktighet, precision och noggrannhet. Samtliga höjdvärden ligger bättre eller på den förväntade avvikelsen (13 mm) förutom för punkt E som fick 3 mm sämre resultat än det förväntade.

Sammanfattningsvis kan sägas att i plan och höjd ger GPRS något bättre resultat men att överlag så ger båda teknikerna bättre värden än de förväntade. Båda teknikerna hade problem på punkt E vilket kan förklaras av sämre mätförhållanden.

7.4 Övrig jämförelse mellan distributions-teknikerna

68 % av samtliga mätningar hade 3 mm eller mindre i skillnad i plan-avvikelse mellan teknikerna och 95 % av mätningarna 10 mm eller mindre. I höjd hade 68 % av mätningarna 7 mm eller mindre i skillnad och 95 % av mätningarna 23 mm.

I jämförelse med resultaten i plan och höjd för de respektive teknikerna så ligger deras mätvärden närmare varandra inbördes än deras avvikelse från det sanna värdet på respektive punkt.

Metoderna fick mest lika resultat på punkterna C, D och E där de ligger mindre än 5 mm ifrån varandra i medel.

De båda distributionsteknikernas resultat låg alltså närmare varandra än de kända koordinaterna vilket visar att de båda teknikerna är lika inbördes.

Uppkopplingsprocessen mot nätverks-RTK-tjänsten är olika. Mottagaren för GPRS har en uppkopplingstid som är tämligen konstant, vilket gör att initialiseringstiden för GPRS-tekniken har en konstant skillnad mot radiotekniken. Därmed blir det svårare att jämföra tidtagningssvärdena men de båda teknikerna var stabila jämfört med varandra.

Båda teknikerna har bra värden på RTK-ålder även om radio är mer stabil.

GPRS-tekniken ger störst andel överförda data och ligger för det mesta över radioteknikens överföringsandel. En fråga som går att ställa är på vilket sätt det försvinner mer data "på vägen" till mottagaren vid användning av radio än vid användning av GPRS.

Det var i princip ingen skillnad mellan teknikerna med avseende på antal satelliter under mätningarna, vilket borde bero på att en gemensam antenn alltid användes och mätningarna gjordes simultant.

Som en jämförelse i prestanda kan reflektionen göras att över tid är radio mer tillförlitligt. Däremot kräver radiotekniken ett radiomodem som behöver ställas in på rätt frekvens medan GPRS-tekniken tillsammans med sitt modem fungerar utan användarinställning i fält.

7.5 Projektanpassad nätverks-RTK

Fördelen med projektanpassad nätverks-RTK är att det är möjligt att få ytterligare valmöjligheter för att ta emot korrektionsdata från SWEPOS-tjänsten. Noggrannheten i mätdata ökar med hjälp av förtätning av referensstationer.

En annan fördel är att det är en lokalt anpassad höjdmodell som förbättrar positionen i höjd vilket är ett känt problem med satellitbaserad mätning.

Det finns även en projektanpassad beräkningstjänst som ger bättre position vid statisk mätning vilket ger ytterligare en möjlighet med anpassningen.

7.6 Övrig diskussion

Något som upptäckts vid bearbetning och analys av mätresultat ihop med handskrivna protokoll är att det överlag inte finns något samband mellan dåliga mätvärden och dåliga förhållanden vid mättillfället. Jämförelse har gjorts mellan enskild mätnings planavvikelse och t.ex. antal satelliter och procent överförda data vid mättillfället. En intressant detalj rörande den mätning som blev sämst (149 mm fel i höjd och 56 mm fel i plan) var dock att det interna kvalitetstal som GNSS-mottagaren räknar ut var för denna mätning 89 mm, alltså en klar varning från utrustningen att mätningen inte var bra.

En annan iakttagelse som gjorts är att mätresultaten på punkt E nästan uteslutande är sämre än övriga mätresultat. Som tidigare nämnts kan de sämre resultaten bero på dålig sikt åt väst från punkten. Under mätning vid väntan på tillräckligt många satelliter på punkt E, upptäcktes att satelliter i västlig riktning med låg elevationsvinkel inte kunde användas. En studie av satellitkonfigurationen på punkt E säger att den inte var exceptionellt dålig, men inte heller att den var på topp, t.ex. hade ingen mätningen ett PDOP-värde under 2, vilket det var en hel del av på övriga punkter.

Vid jämförelsen har endast ett fabrikat av mottagare används. Det går därför inte att utesluta att mätning med andra fabrikat hade gett annorlunda resultat.

8 Slutsatser

Det kan konstateras att det inte har någon betydelse vilken distributionsteknik av radio och GPRS som används vad gäller mätresultat. Båda teknikerna ger resultat som ligger kring de förväntade avvikelserna både med avseende på plan och höjd.

Initialiseringstiden vid mätning med GPRS är längre än vid mätning med radio. Anledningen är att GPRS måste koppla upp mot Internet till skillnad från radio som påbörjar kontakten med radioutsändarna direkt när instrumentet startas. Eftersom uppkoppling med GPRS-tekniken ej måste ske kontinuerligt utan bara en gång per mättillfälle är användarvänligheten avseende initialiseringstid likvärdig.

Åldern för RTK-data är bra och likvärdig för de båda teknikerna.

Även tillgången på satelliter var likvärdig under fältmätningarna.

Vad gäller procent överförda data så ligger GPRS-tekniken oftast upp mot 100 % och är bättre än radiotekniken som ligger kring 80-85 %.

Under hela fältmätningssperioden så hade inte radion några problem med anslutningen mot SWEPOS-tjänsten förutom de få tillfällen då tjänsten var nere eller när radiomodemet var inställt på fel frekvens. GPRS kunde tillfälligt ha problem med GSM-initialisering och Internetuppkoppling.

Avslutningsvis kan slutsatsen dras att med projektanpassning är det möjligt att komma ner på nivåer som gör den satellitbaserade mätningen mer trygg med avseende på mätnoggrannhet och prestanda och kan därför helt eller delvis ersätta traditionell mätning med t.ex. totalstation.

Källförteckning

1. Projektanpassad Nätverks-RTK-tjänst för V45 – kortfattad beskrivning, version 2.0. (2007) Lantmäteriet.
2. Van Sickle, Jan (2001). GPS for Land Surveyors – Second edition. New York/London: Taylor & Francis.
3. SWEPOS – Navigering och positionering med GPS (2007). [Elektronisk]. Gävle: Lantmäteriet: Geodetiska enheten
Tillgänglig: <<http://www.swepos.com>> [2007-05-24]
4. US Coast Guard Navigation Center. (2007) [Elektronisk]
Tillgänglig: <<http://www.navcen.uscg.gov>> [2007-05-09]
5. Jan Alexandersson, universitetsadjunkt. Föreläsningar i september/oktober 2006 på Högskolan Väst, Trollhättan.
6. Johnsson, Fredrik & Wallerström Mattias (2007). En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS. LMV-rapport 2007:1. Gävle: Lantmäteriet: Geodetiska enheten.
7. Dan Norin, SWEPOS utveckling, Lantmäteriet. 2007-06-05.
8. Ahlm, Linda & Jämnäs, Lars (2005). Fältstudie av Internet-distribuerad nätverks-RTK. LMV-rapport 2005:4. Gävle: Lantmäteriverket: Geodetiska enheten.
9. GPS och annan mätningsteknik – GPS, GLONASS och GALILEO – status. (2007) [Elektronisk] Gävle: Lantmäteriet.
Tillgänglig: http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=7361 [2007-05-10]
10. Eriksson, Merja & Gunilla Hedlund (2005). Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS. LMV-rapport 2005:8. Gävle: Lantmäteriverket: Geodetiska enheten.
11. Nygårds, Olle (2007). Galileo-projektet i kris. [Elektronisk] Ny Teknik, 9 mars.
Tillgänglig <<http://www.nyteknik.se/art/50594>> [2007-05-10]
12. Chinese Space. (2007) [Elektronisk] NASA Spaceflight.
Tillgänglig: <<http://www.nasaspaceflight.com/content/cat.asp?cid=23>> [2007-05-10]
13. Schulz, Michael (2007). Fehlerquellen. [Elektronisk] Burgdorf: GEOSOFT.
Tillgänglig: <http://www.geosoft-gps.de/gps_infos/info_5.html> [2007-05-10]
14. GPS och annan mätningsteknik - Mätmetoder, GPS. (2007) [Elektronisk] Gävle: Lantmäteriet.
Tillgänglig: <http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4860> [2007-05-11]

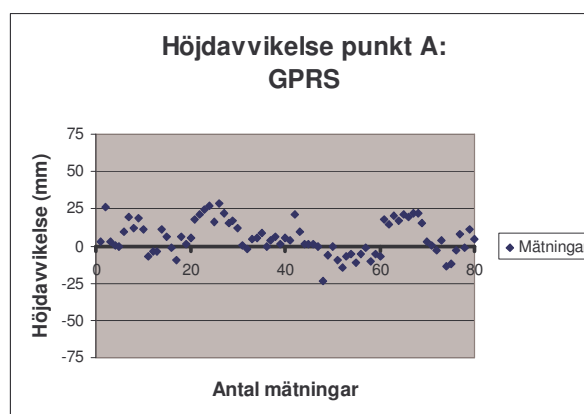
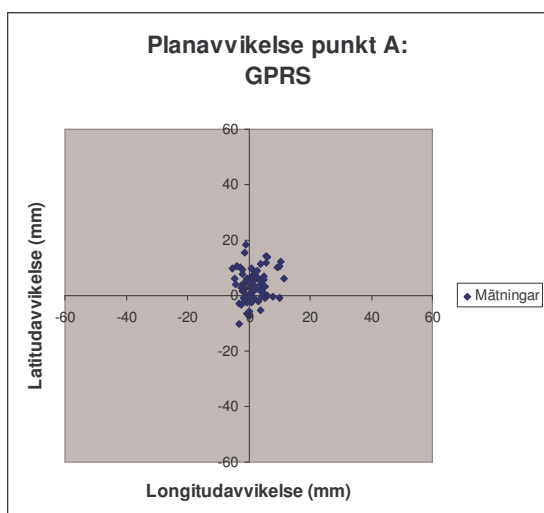
15. Engfeldt, Andreas & Jivall Lotti (2003). Så fungerar GNSS. LMV-rapport 2003:10. Gävle: Lantmäteriverket: Geodetiska enheten.
16. SWEPOS – Ett nationellt nät av fasta referensstationer för GPS (2007). [Elektronisk] Gävle: Lantmäteriet: Geodetiska enheten
Tillgänglig: <http://swepos.lmv.lm.se/index_swep.htm>
[2007-05-24]
17. Dan Norin, SWEPOS utveckling, Lantmäteriet. E-post 2007-05-24.
18. Vägverket (2007). Projektanpassat Nätverks-RTK [Elektronisk] Göteborg: Vägverket Region Väst
Tillgänglig: <http://www.vv.se/filer/24356/FOL_0701_L%C3%85G%20n%C3%A4tverksRTK_SE.pdf>
[2007-05-24]
19. Leica Geosystems (2007) [Elektronisk]
Tillgänglig: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/products/total_stations/lgs_4521.htm> [2007-06-01]
20. Lantmäteriverket (1996). HMK-Geodesi: Stommätning. Gävle: Lantmäteriverket.
21. Karlsson, Tore (1997). Mätningsteknik. Borlänge: BriKå Konsult AB.

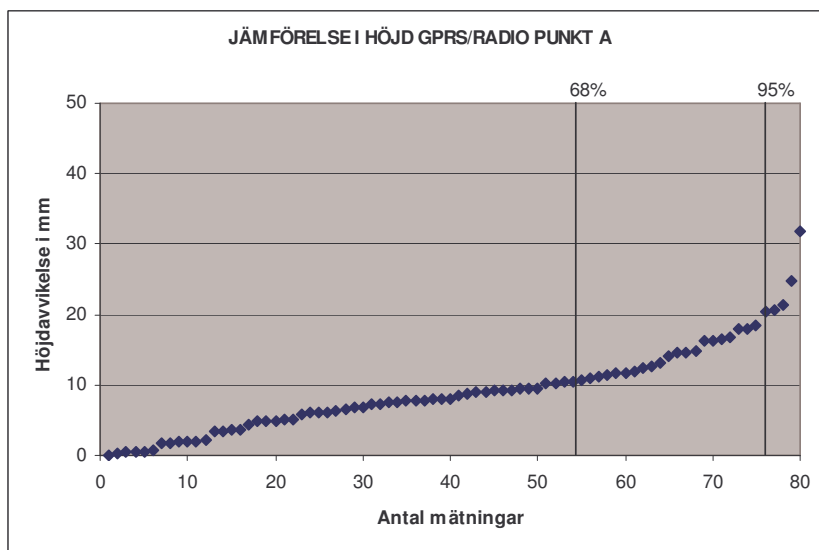
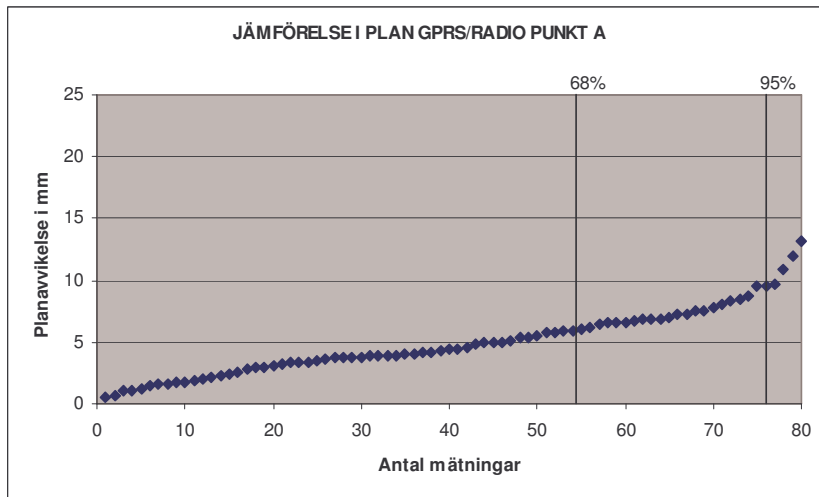
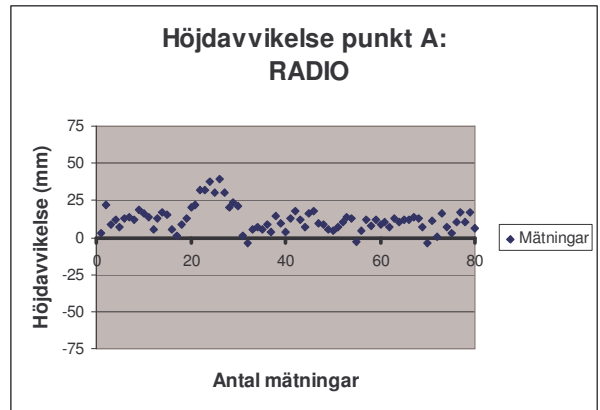
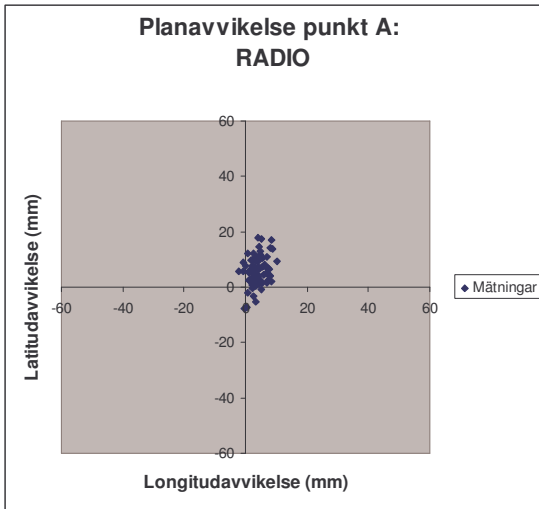
Bilaga A: Resultat för respektive punkter

I denna bilaga redovisas tabeller och diagram för plan- och höjdavvikelse i mm, punkt för punkt. Det bör nämnas att några få mätningar ligger utanför diagrammens skala.

Punkt A

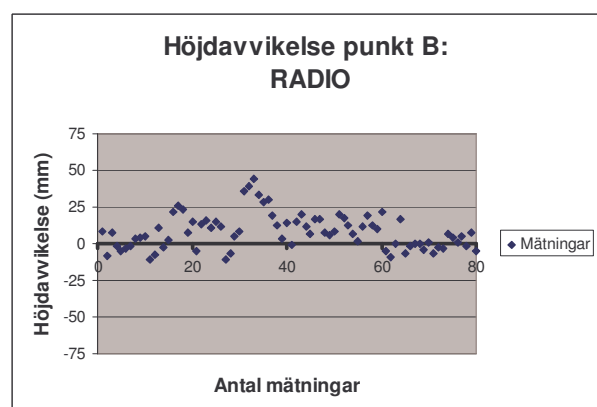
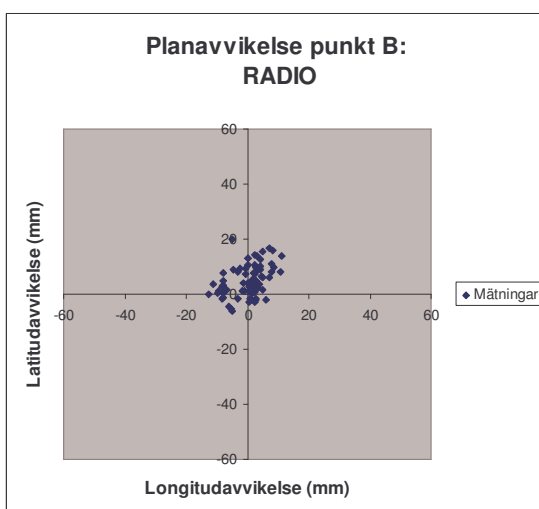
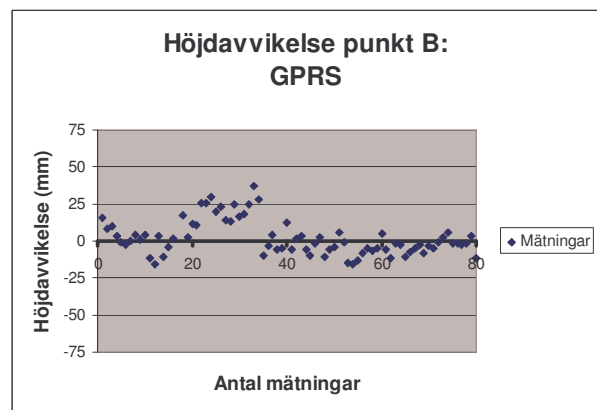
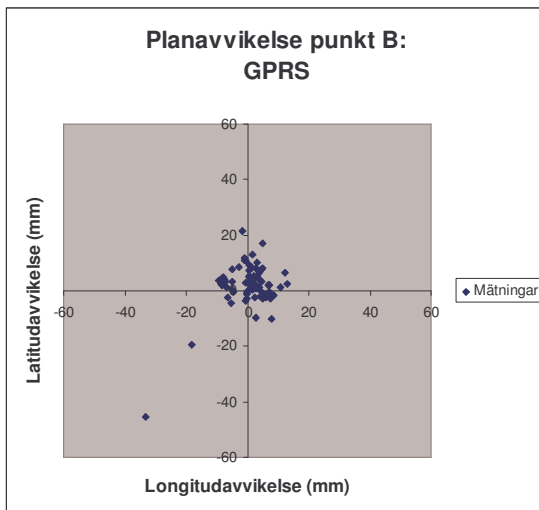
Kvalitets-termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	4	1	4	6
	Radio	6	4	7	12
Precision	GPRS	5	4	7	11
	Radio	5	2	6	8
Noggrannhet	GPRS	7	4	8	12
	Radio	8	5	9	15
Medelavvikelse	Jämförelse	3	3	4	9

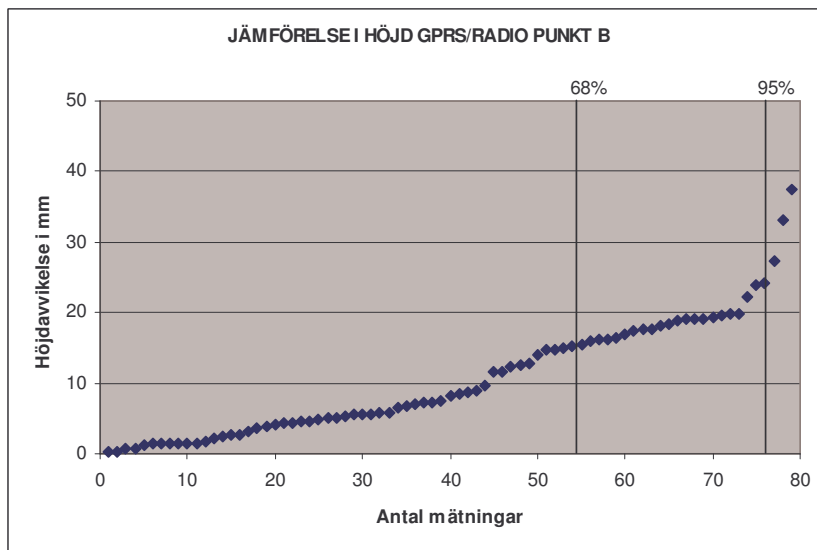
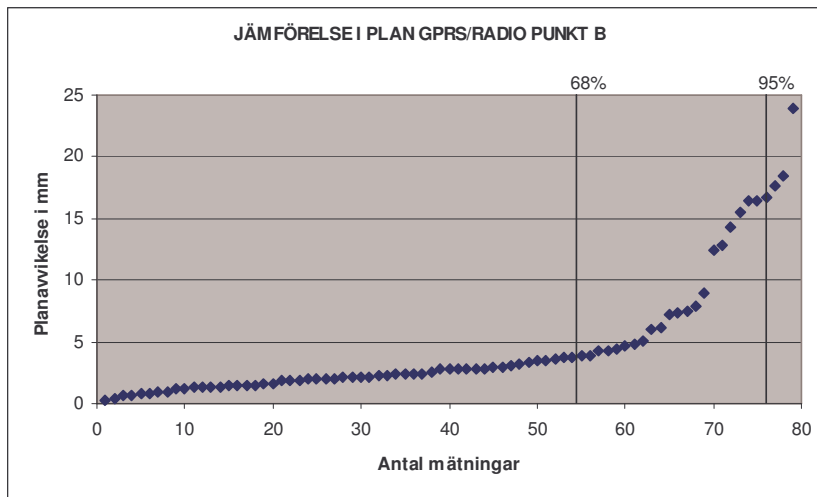




Punkt B

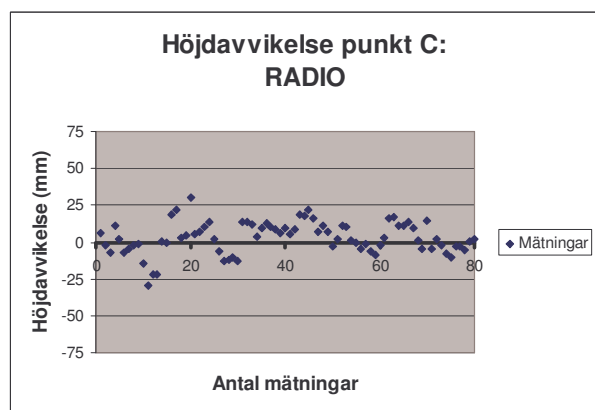
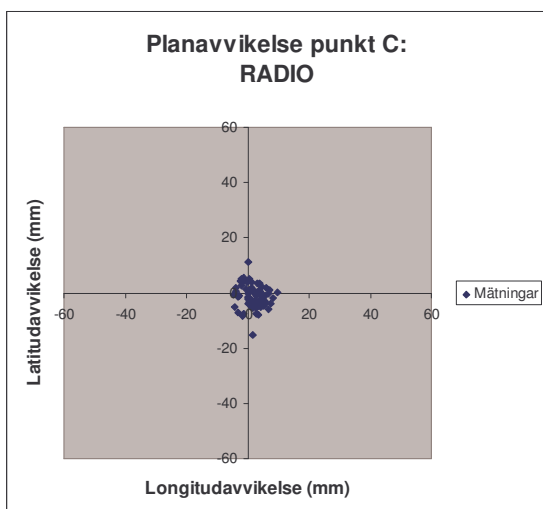
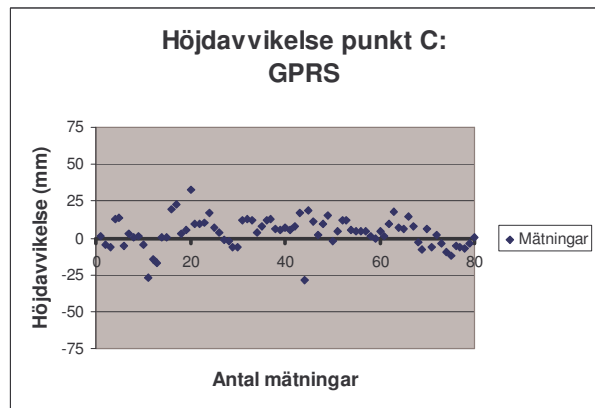
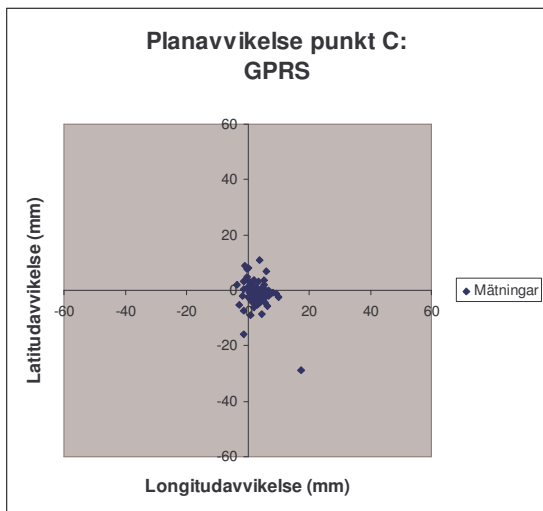
Kvalitets- termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	2	1	2	4
	Radio	5	0	5	8
Precision	GPRS	8	7	10	20
	Radio	5	5	8	12
Noggrannhet	GPRS	8	7	10	20
	Radio	7	5	9	14
Medelavvikelse	Jämförelse	4	2	5	12

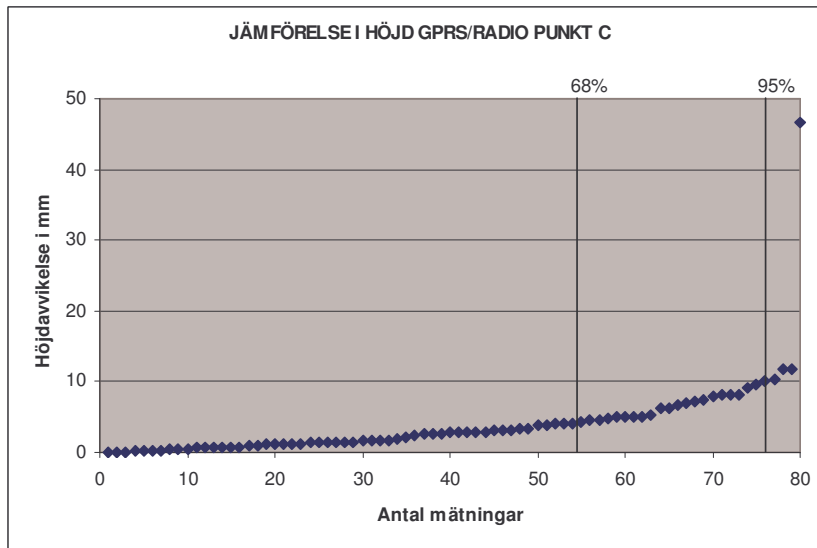
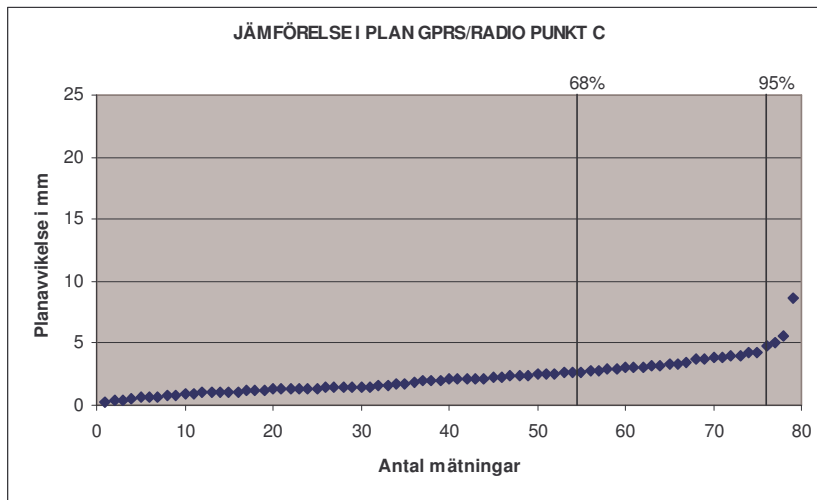




Punkt C

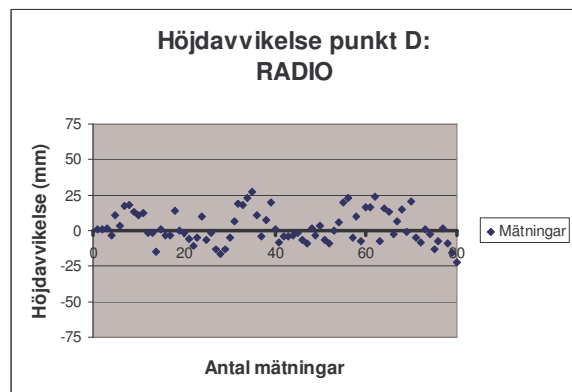
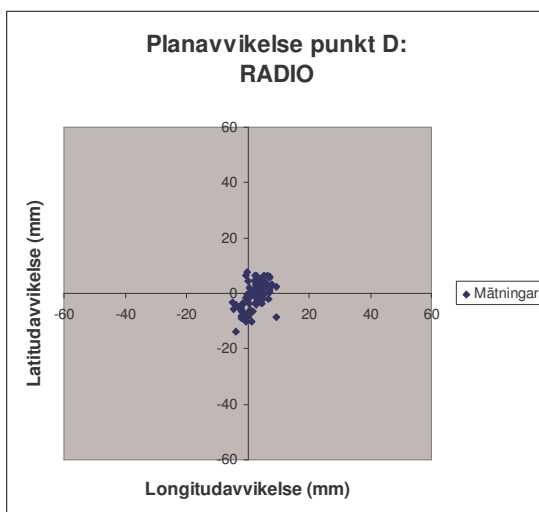
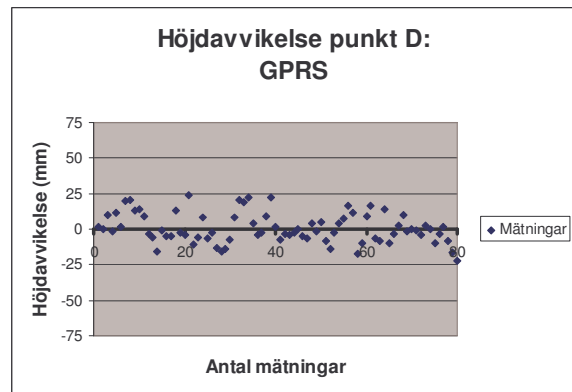
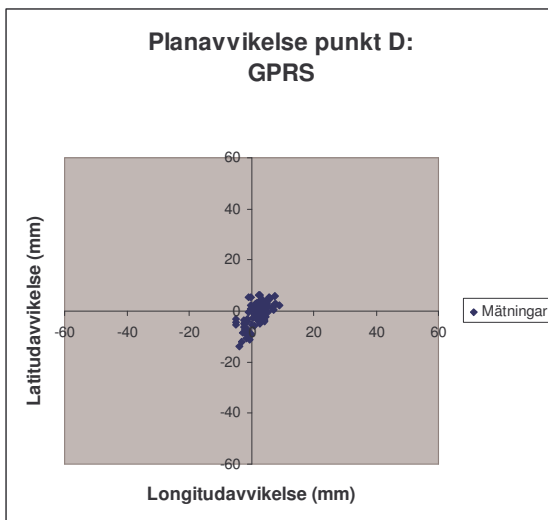
Kvalitets- termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	-1	3	3	4
	Radio	-1	2	2	3
Precision	GPRS	5	3	6	10
	Radio	4	3	5	11
Noggrannhet	GPRS	5	4	7	11
	Radio	4	4	6	11
Medelavvikelse	Jämförelse	2	1	2	4

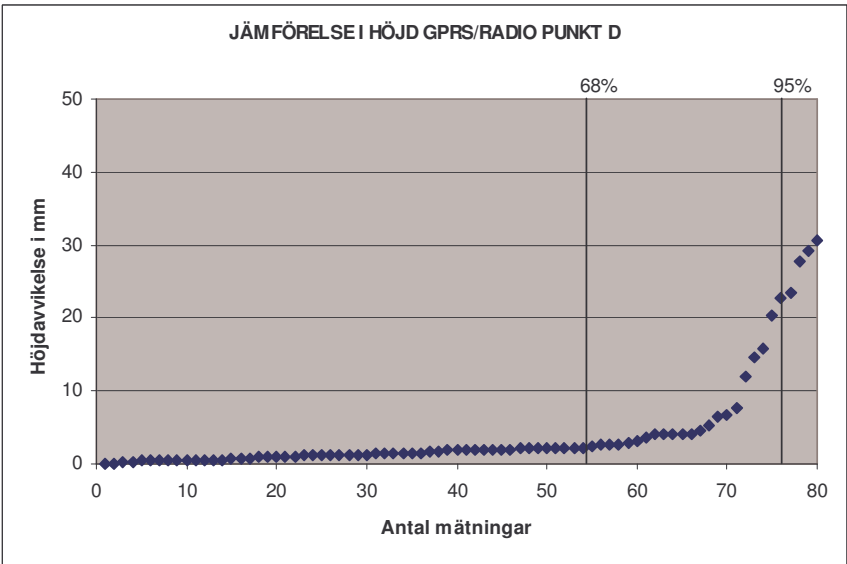
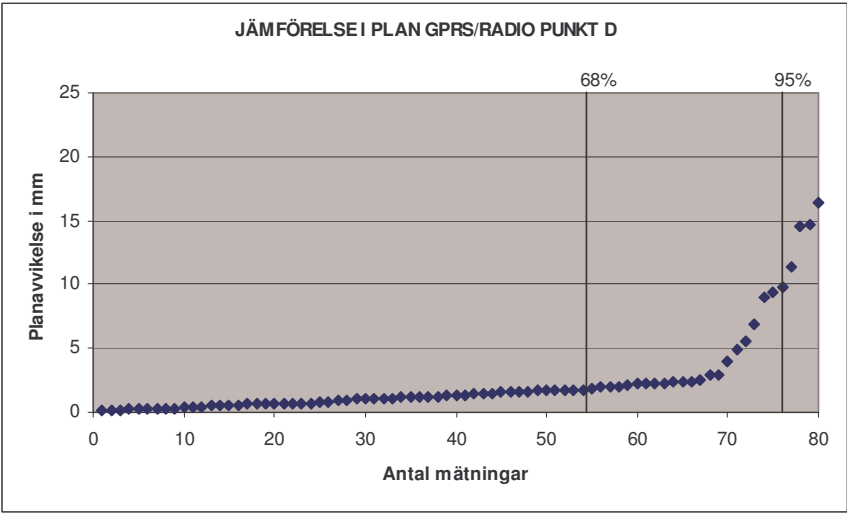




Punkt D

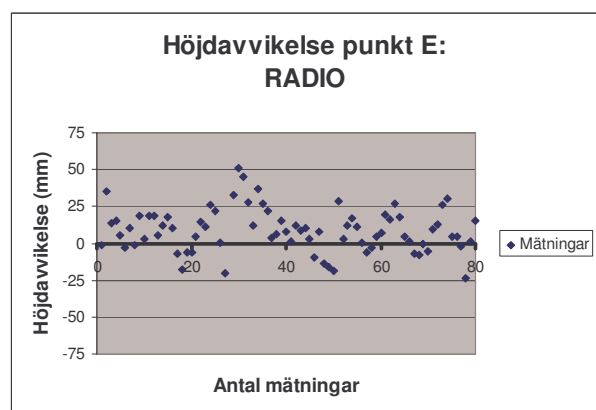
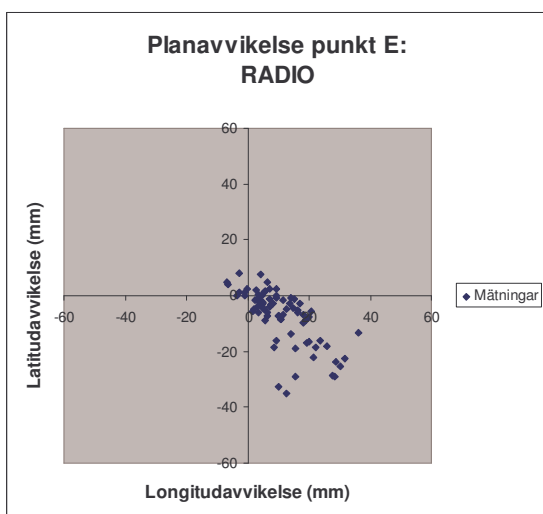
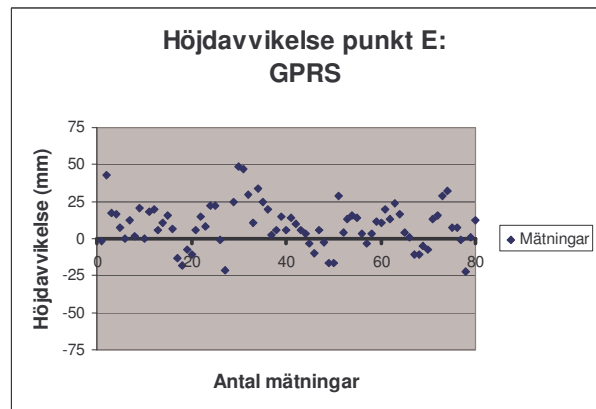
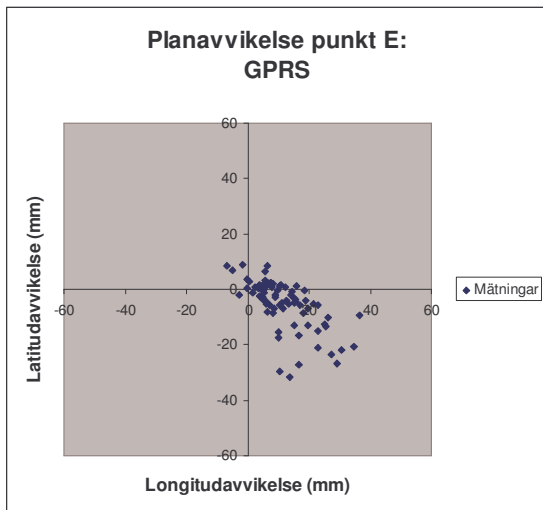
Kvalitets- termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	-1	2	2	1
	Radio	-1	2	2	2
Precision	GPRS	5	3	6	10
	Radio	5	3	6	11
Noggrannhet	GPRS	5	4	6	10
	Radio	5	4	6	11
Medelavvikelse	Jämförelse	2	1	2	4

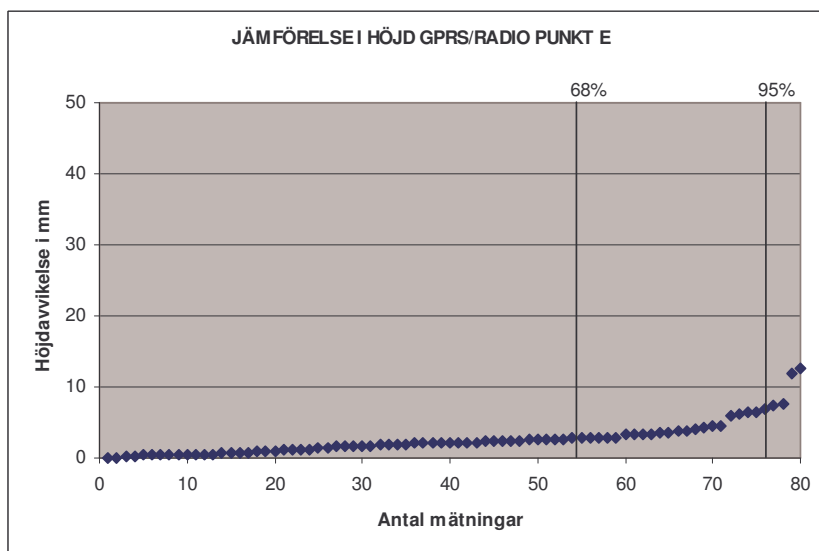
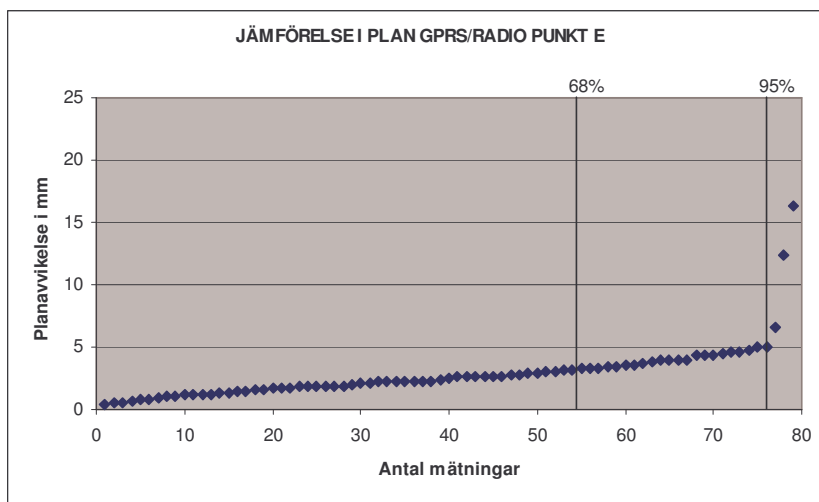




Punkt E

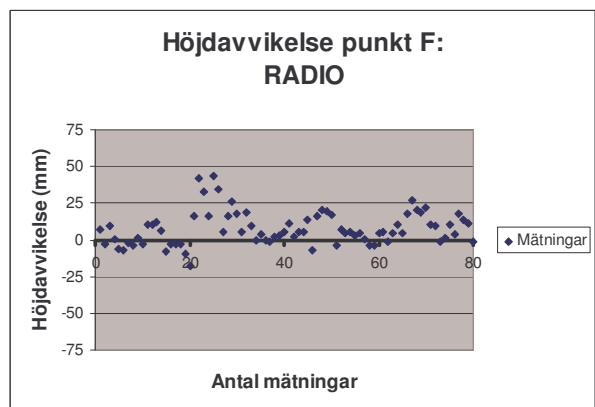
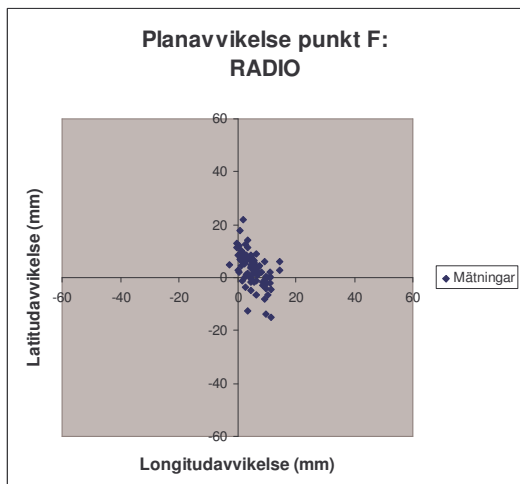
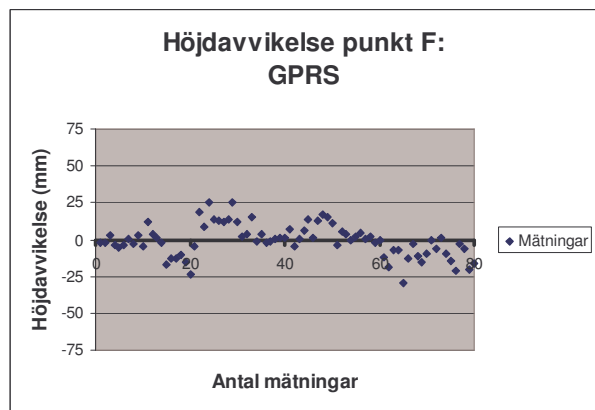
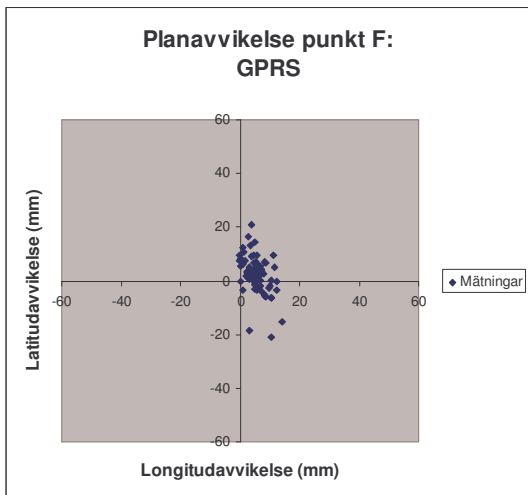
Kvalitets- termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	-6	11	13	10
	Radio	-8	10	13	10
Precision	GPRS	14	9	17	19
	Radio	15	9	18	19
Noggrannhet	GPRS	16	14	21	21
	Radio	17	14	22	21
Medelavvikelse	Jämförelse	2	2	3	3

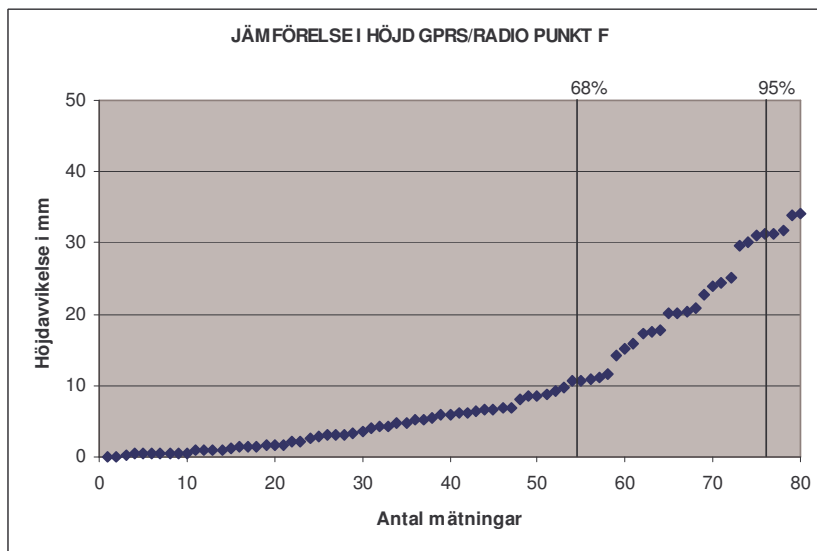
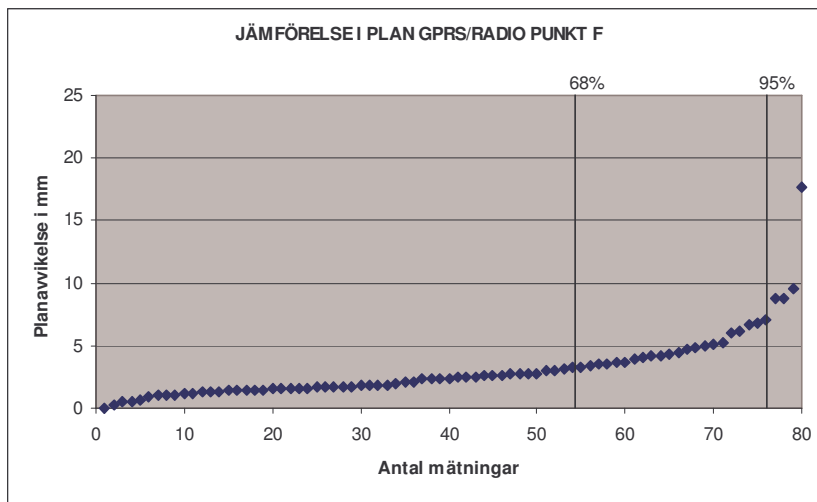




Punkt F

Kvalitets- termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	3	5	6	-1
	Radio	3	5	6	8
Precision	GPRS	7	3	7	11
	Radio	6	4	7	11
Noggrannhet	GPRS	7	6	10	11
	Radio	7	6	10	14
Medelavvikelse	Jämförelse	2	2	3	10

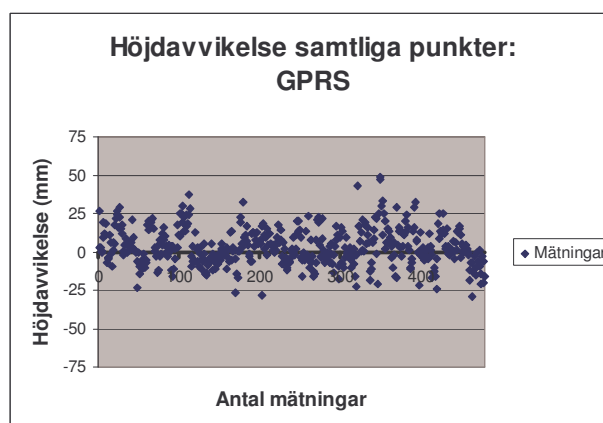
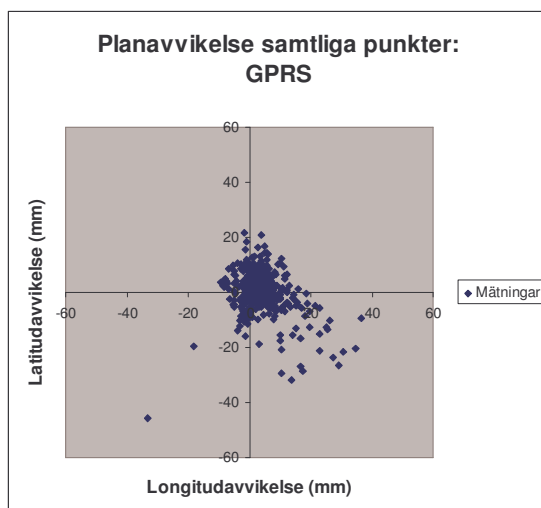


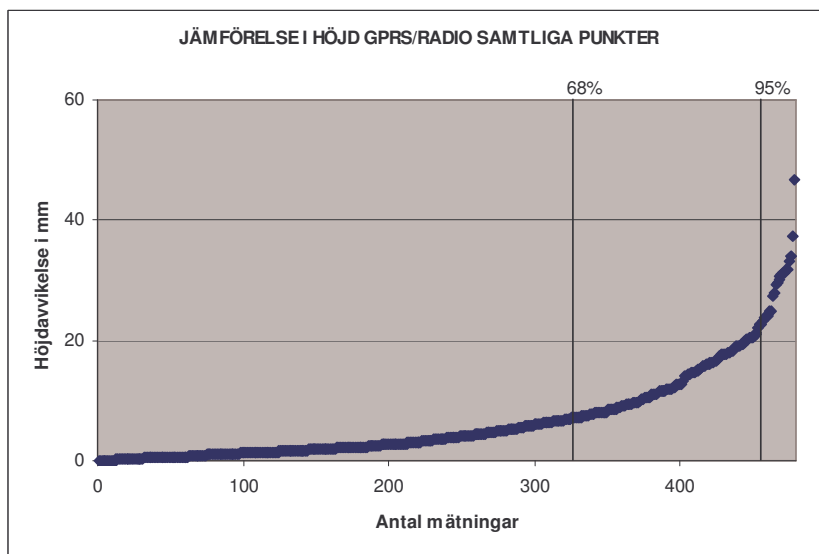
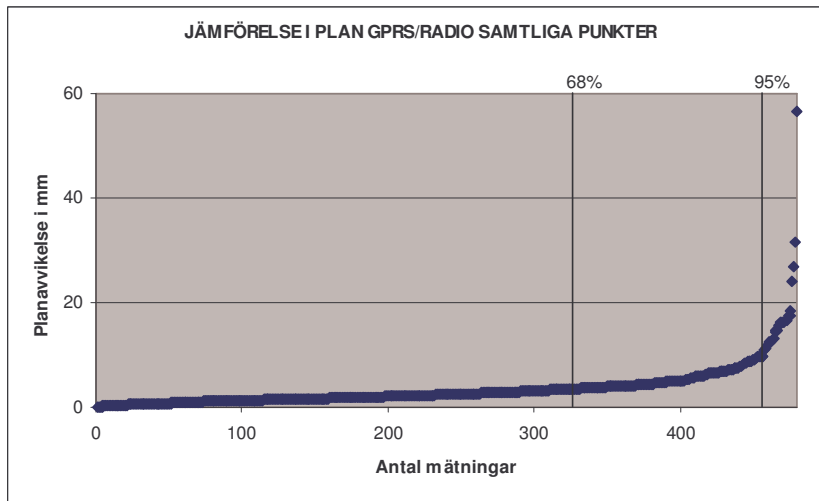
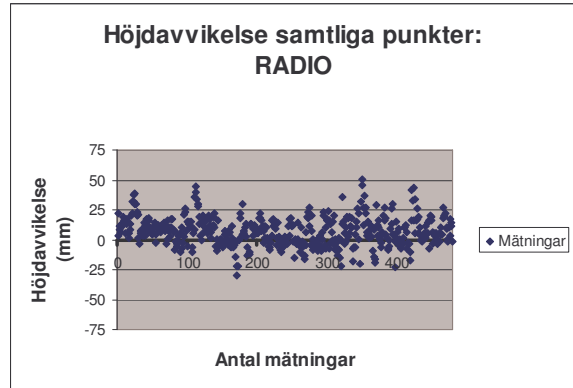
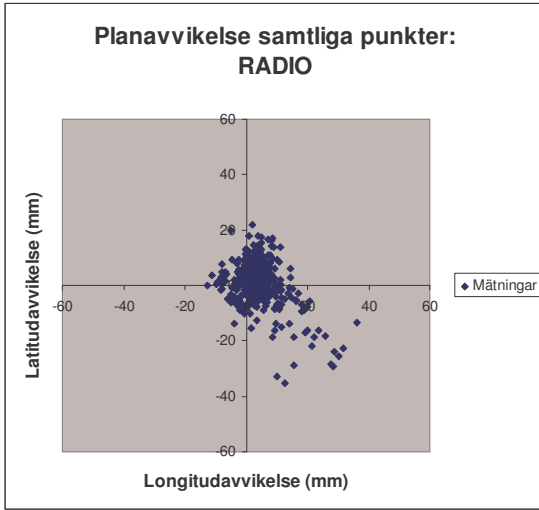


Bilaga B: Resultat för samtliga punkter

I denna bilaga redovisas tabeller och diagram för plan- och höjdavvikelse, för samtliga punkter. Det bör nämnas även här att några få mätningar ligger utanför diagrammens skala.

Kvalitets- termer	Distributions- teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Riktighet	GPRS	0	4	4	4
	Radio	1	4	4	7
Precision	GPRS	9	6	11	15
	Radio	9	6	11	13
Noggrannhet	GPRS	9	7	11	15
	Radio	9	7	12	15
Medelavvikelse	Jämförelse	3	2	3	7





Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 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 Johansson Daniel: SKAN-RTK – 2 – nätverks-RTK i produktionstest i södra Sverige.
- 2004:13 Wiklund Peter: "Position Stockholm-Mälaren – 2" – nätverks-RTK i produktionstest.
- 2004:16 Andersson Therese & Torngren Julia: Traditionell RTK och nätverks-RTK – en jämförelsestudie.
- 2005:3 Ahrenberg Magnus & Olofsson Andreas: En noggrannhetsjämförelse mellan nätverks-RTK och nätverks-DGPS.
- 2005:4 Jämtnäs Lars & Ahlm Linda: Fältstudie av Internet-distribuerad nätverks-RTK.
- 2005:5 Engfeldt Andreas (ed.): Network RTK in northern and central Europe.
- 2005:7 Jivall Lotti, Lidberg Martin, Nørbech Torbjørn, Weber Mette: Processing of the NKG 2003 GPS campaign.
- 2005:8 Eriksson Merja & Hedlund Gunilla: Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS.
- 2006:2 Norin Dan, Engfeldt Andreas, Johansson Daniel, Lilje Christina: Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.
- 2006:3 Klang Dan & Burman Helén: En ny svensk höjdmodell laserskanning, Testprojekt Falun.
- 2006:4 Klang Dan: KRIS-GIS® projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdmodeller.
- 2006:5 von Malmberg Helena: Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS.
- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.
- 2007:1 Johnsson Fredrik & Wallerström Mattias: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS.
- 2007:4 Ågren Jonas & Svensson Runar: Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH 2000.

L A N T M Ä T E R I E T



Vaktmästeriet, 801 82 Gävle. Tfn 0771-63 63 63, fax 026-65 29 15.