

En nätverks-RTK- jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS

Examensarbete av
Fredrik Johnsson och Mattias Wallerström

Gävle 2007

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2007-04-27

Författare Fredrik Johnsson och Mattias Wallerström

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 56

LMV-Rapport 2007:1 – ISSN 280-5731

En nätverks-RTK- jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS

Examensarbete av
Fredrik Johnsson och Mattias Wallerström

Gävle 2007

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Detta examensarbete utfördes på C-nivå och avslutar vår utbildning till mättingsingenjörer vid Högskolan i Gävle. Examensarbetet genomfördes på uppdrag av Geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriet i Gävle.

Vi vill tacka vår utmärkte handledare Dan Norin samt Bo Jonsson, Stefan Öberg, Anna Lööf och övrig personal på Geodesienheten och SWEPOS-driften för all hjälp.

Vi vill även rikta ett tack till vår handledare och examinator på Högskolan i Gävle, Stig-Göran Mårtensson.

Gävle, april 2007

Mattias Wallerström

Fredrik Johnsson

Sammanfattning

Från den 1 april 2006 har SWEPOS kompletterat den befintliga nätverks-RTK-tjänsten, som hittills levererat RTK-data för GPS, med ett alternativ där RTK-data för GPS/GLONASS levereras. En del användare har rapporterat att de upplever att GPS/GLONASS inte tillför något och även att det ibland kan ta längre tid att få fixlösning. Andra användare hävdar att de nu kan använda nätverks-RTK på platser där de tidigare inte kunde mäta och är mycket positiva till GPS/GLONASS.

Syftet med detta examensarbete var att undersöka hur tillgängligheten för satellitmätning, positionsnoggrannheten och initialiseringstiden påverkades i öppna respektive störda miljöer med GPS/GLONASS jämfört med enbart GPS vid användandet av nätverks-RTK-tjänsten. Undersökningen har utförts med tre olika fabrikat av GNSS-mottagare (Leica, Topcon och Trimble), vilket även medger att en jämförelse mellan dessa till viss utsträckning kan göras.

I studien gjordes totalt 1 440 mätningar på sex punkter med kända positioner och med olika grad av sikthinder. Fixlösning uppnåddes inte inom 180 sekunder för 206 (77 för GPS/GLONASS och 129 för GPS) av de 1 440 mätningarna.

De extra GLONASS-satelliterna tillför en klar fördel när det gäller möjligheten att mäta i störda miljöer. När det gäller initialiseringstid så är dessa kortare för GPS/GLONASS. GLONASS-satelliterna ger ingen förbättring av positionsnoggrannheten. Det är till och med så att GPS får något bättre kvalitetstal i både plan och höjd i denna studie (1-3 mm bättre). För de olika fabrikaten kan det konstateras att precision och noggrannhet är likvärdiga i både plan och höjd för alla tre märken.

Abstract

On the 1st of April 2006, SWEPOS complemented the existing network RTK service with corrections for the Russian satellite system GLONASS. The service had so far only provided corrections for GPS. Some users have claimed that GPS/GLONASS do not contribute at all and also that the time for initialization sometimes can be longer. However, other users insist on that they now can use network RTK in areas that earlier were impossible and they are very favourable of GPS/GLONASS.

The purposes of this diploma work were to study and examine measurements using GPS and GPS/GLONASS in areas with different degrees of visual obstacles. Corrections were provided by SWEPOS Network RTK service and availability of satellites, accuracy of position and time for initialization were evaluated. The study has been conducted with three different brands of GNSS receivers (Leica, Topcon and Trimble), which also to some extent makes a comparison between the three brands possible.

A total number of 1 440 field measurements were made on six well-known points with different degrees of visual obstacles. A fixed solution was not accomplished within 180 seconds for 206 (77 for GPS/GLONASS and 129 for GPS) of the 1 440 measurements.

The additional GLONASS satellites provide an apparent advantage regarding the possibility to measure in disturbed environments. The time for initialization is shorter for GPS/GLONASS. The GLONASS satellites do not give any improvement in accuracy of position. On the contrary, GPS receives slightly better accuracy numbers in quality for both horizontal and vertical readings (1-3 mm better). Regarding the different brands, it was found that the precision and accuracy were similar in both plane and height for all three brands.

En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS

	Förord	5
	Sammanfattning	6
	Abstract	7
1	Inledning	13
1.1	Bakgrund	13
1.2	Syfte	14
2	Kort översikt av GNSS	15
2.1	GPS	15
2.2	GLONASS	16
2.3	Galileo	17
2.4	COMPASS	17
2.5	Regionala satellitsystem	17
2.6	Felkällor	18
2.6.1	Atmosfärspåverkan	18
2.6.2	Klockfel	19
2.6.3	Bandatafel	19
2.6.4	Flervägsfel	19
2.6.5	Satellitkonfiguration	19
2.6.6	Sikthinder	20
2.6.7	Jamming och spoofing	20
2.7	Avståndsmätning satellit - mottagare	20
2.7.1	Kodmätning	20
2.7.2	Bärvågsmätning	21
2.8	Positionsbestämningsmetoder	21

2.8.1	Absolut mätning	21
2.8.2	Relativ mätning	22
3	Kort översikt av Nätverks-RTK	23
3.1	SWEPOS	23
3.2	Nätverks-RTK	23
4	Metod och genomförande	25
4.1	Testområde	25
4.2	Utrustning	27
4.3	Mätstrategi	28
4.4	Databearbetning och analys	29
4.5	Kvalitetsbegrepp	30
4.5.1	Feltyper	30
4.5.2	Noggrannhet (medelfel)	30
4.5.3	Precision (standardavvikelse)	30
4.5.4	Medelavvikelse (riktighet)	31
4.5.5	Förhållandet mellan noggrannhet, precision och medelavvikelse	31
4.5.6	Normalfördelning	31
5	Resultat	32
5.1	Antal lyckade och misslyckade mätningar	32
5.2	Resultat för samtliga mätningar	33
5.3	Resultat för respektive fabrikat	36
5.4	Initialiseringstid och antal satelliter	37
6	Diskussion	38
6.1	Tillgängligheten för satellitmätning	38
6.2	Avvikelser för samtliga mätningar	38
6.3	Avvikelser för respektive fabrikat	40
6.4	Initialiseringstid	40
6.5	Satellitillgång	41
6.6	Kommunikation	41
6.7	Merkostnader för GPS/GLONASS	42

7	Slutsatser	43
8	Referenser	44
	Bilaga I	45
	Bilaga II	53

En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS

1 Inledning

1.1 Bakgrund

SWEPOS (se www.swepos.com) är ett nät av fasta referensstationer som täcker hela Sverige för mätning med GNSS. Genom SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst kan en positionsnoggrannhet på centimeternivå fås i realtid. RTK-data beräknas i SWEPOS driftcentral och skickas till användaren via GSM-länk eller GPRS. SWEPOS-nätet drivs och underhålls av Lantmäteriet, och finansieras av statliga anslag och användaravgifter.

Från den 1 april 2006 har SWEPOS kompletterat den befintliga nätverks-RTK-tjänsten, som hittills levererat RTK-data för GPS, med ett alternativ där RTK-data för kombinationen GPS/GLONASS levereras. En del användare har rapporterat att de upplever att GPS/GLONASS inte tillför något och även att det ibland kan ta längre tid att få fixlösning. Andra användare hävdar att de nu kan använda nätverks-RTK på platser där de tidigare inte kunde mäta och är mycket positiva till GPS/GLONASS. Ett tidigare examensarbete (Eriksson & Hedlund 2005) visade inte på några väsentliga skillnader mellan GPS och GPS/GLONASS. Detta examensarbete utfördes dock på ett begränsat antal punkter som inte hade några betydande sikthinder och mätningarna utfördes med endast ett fabrikat av GNSS-mottagare (Topcon).

I detta examensarbete gjordes testmätningar med nätverks-RTK-tjänsten i ett testnät vid Mårtsbo observatorium, där punkter med kända positioner fungerade som "sanna" värden. Mätningarna genomfördes dels med GPS, dels med kombinationen GPS/GLONASS. Skillnaderna i plan och höjd mellan mätta och "sanna" värden beräknades och analyserades. Initialiseringstiderna registrerades och jämfördes. GNSS-utrustning från tre olika tillverkare (Leica, Trimble och Topcon) användes. GNSS-mottagarna tog emot RTK-data från nätverks-RTK-tjänsten genom GPRS.

1.2 Syfte

Syftet var att undersöka om GPS/GLONASS förbättrar mätningarna och tillgängligheten i terrängen vid användandet av Nätverks-RTK-tjänsten och det huvudsakliga målet var att besvara följande fråga:

- Hur påverkas positionsnoggrannheten och initialiseringstiden i öppna respektive störda miljöer med GPS/GLONASS jämfört med enbart GPS?

Ett annat mål var även att se om det fanns några signifikanta skillnader mellan de tre fabrikaten Leica, Topcon och Trimble.

2 Kort översikt av GNSS

Det första satellitbaserade navigerings- och positioneringssystemet som fortfarande är i drift är det amerikanska NAVSTAR-GPS, vilket lanserades i början av 1970-talet. Tio år senare tog ryssarna i bruk sitt system som döptes till GLONASS. Ytterligare tjugo år senare sköt européerna upp sin första satellit i det som ska bli Galileo. Det senaste tillskottet till GNSS-familjen är Kinas COMPASS-projekt. Samlingsnamnet för dessa system är GNSS (Global Navigation Satellite Systems).

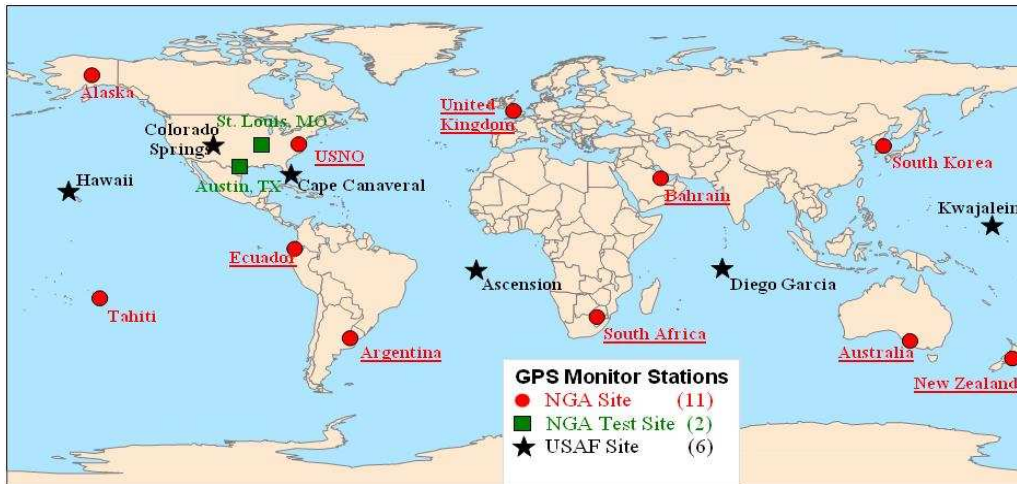
Till en början användes GNSS mest för navigation till sjöss och i luften av den amerikanska militären, men på senare år har den civila användningen vuxit explosionsartat. Numera återfinns GNSS-mottagare i såväl bilar som mobiltelefoner.

2.1 GPS

Uppbyggnaden av GPS-systemet startade 1973 med en första satellituppskjutning 1978 av det amerikanska försvaret och blev operationellt 1993 för civila ändamål. Systemet kallades först NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System), men blev med tiden kort och gott GPS. Rymdsegmentet består av minst 24 satelliter. I dagsläget (mars 2007) består systemet av 30 aktiva satelliter (U.S. Coast Guard 2007).

Satelliternas omloppstid är 11 timmar och 57,97 min, vilket gör att satellitkonstellationen upprepas ca 4 min tidigare per dag (Engfeldt & Jivall 2003). Inklinationen är 55 grader. Detta gör att satelliterna vänder i höjd med Bornholms sydspets. Satelliterna ligger på en höjd av ca 20 180 km ovanför jordytan i sex olika banplan.

För att övervaka och vid behov flytta satelliterna finns ett övervakningssegment i form av sex kontrollstationer längs ekvatorn, med en driftsledningscentral i Colorado Springs. Detta övervakningssegment håller på att byggas ut med elva ytterligare kontrollstationer där åtta är klara (se figur 2.1).



Figur 2.1: Utbyggnaden av markbundna kontrollstationer (NGA 2007).

2.2 GLONASS

Den första satelliten i det ryska satellitnavigationssystemet GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sköts upp i oktober 1982. Systemet är uppbyggt och förvaltas av det ryska försvaret. Från början var det tänkt att det skulle bestå av 24 satelliter, men detta antal har endast uppnåtts under kort period 1996. Som minst var man nere på 5 satelliter. Ett kostsamt problem är GLONASS-satelliternas korta livslängd på 3 år, medan GPS-satelliterna håller 7-10 år. Det handlar främst om skillnader i satellitklockorna där GPS har en stor fördel med längre livslängd. Ryssarna försöker nu förbättra livslängden på satellitklockorna och målsättningen är att ha 24 satelliter i drift till 2010-2011. För att lyckas med detta har man inlett ett samarbete med Indien och den första gemensamma satelliten, GLONASS-K, är planerad att skickas upp under 2008. I dagsläget (april 2007) består GLONASS av 17 satelliter varav 5 är avstängda (Russian Space Agency 2007). Av dessa är dock 1 nyuppskjuten (25 dec 2006) och kommer snart att tas i drift (de 2 andra som sköts upp då är redan i drift). Dessutom är ytterligare 6 planerade att skickas upp under 2007, vilket kan ge 20 GLONASS-satelliter inom drygt ett år.

Satelliternas omloppstid är 11 timmar och 15,73 min, vilket gör att satellitkonstellationen upprepas ca 1,5 timme tidigare per dag. När det gäller inklinationen på 64,8 grader innebär den att satelliterna vänder i höjd med Skellefteå. Detta medför att GLONASS har bättre täckning av nordliga breddgrader än GPS. Satelliterna ligger på en höjd av ca 19 100 km ovanför jordytan i tre olika banplan.

GLONASS styrs av ett kontrollsegment där alla kontrollstationer ligger inom det forna Sovjetunionen.

2.3 Galileo

Galileo är ett europeiskt satellitprojekt som initierats av EU (Europeiska Unionen) och ESA (European Space Agency). Detta satellitsystem kommer att bli ett icke-militärt system och bedrivs i ett delvis kommersiellt syfte. Den första provsatelliten (Giove-A) sändes upp 28 december 2005. Galileo kommer att innefattas av 30 satelliter och planeras vara i drift år 2011 (ESA 2007). P.g.a. problem med att få till förhandlingarna mellan ägarna av Galileo och det konsortium av europeiska rymdrelaterade industriföretag som ska sköta driften, så kommer säkerligen driftstarten att bli försenad till åtminstone 2012.

Galileos satelliter kommer att gå i banor med inklinationen 56 grader mot ekvatorn. Satelliterna placeras på höjden 23 616 km över jordytan med omloppstiden ca 14 timmar. Systemet ska vara kompatibelt med GPS och GLONASS. Detta medför att en mottagarutrustning kan registrera signaler från alla tre satellitsystemen, vilket innebär att satellittillgängligheten ökar avsevärt. Dessutom kommer signalerna att skickas ut i bredare frekvensspektrum vilket kommer att möjliggöra vissa positionerings- och navigeringstjänster inomhus (Berner 2007).

2.4 COMPASS

31 oktober 2000 skickade Kina upp satelliten BNTS-1 i ett geostationärt omlopp och började därmed uppbyggnaden av ett lokalt navigations-system över Kina som kallades Beidou. Kineserna har nu bekräftat att detta system kommer att byggas ut till världens fjärde GNSS-system som går under namnet COMPASS (Inside GNSS 2006). Systemet kommer att bestå av 5 geostationära satelliter och ytterligare 30 satelliter i omloppsbanor. Den första av satelliterna som kommer att ligga på ca 20 000 km:s höjd i sex olika banplan sköts upp 13 april 2007.

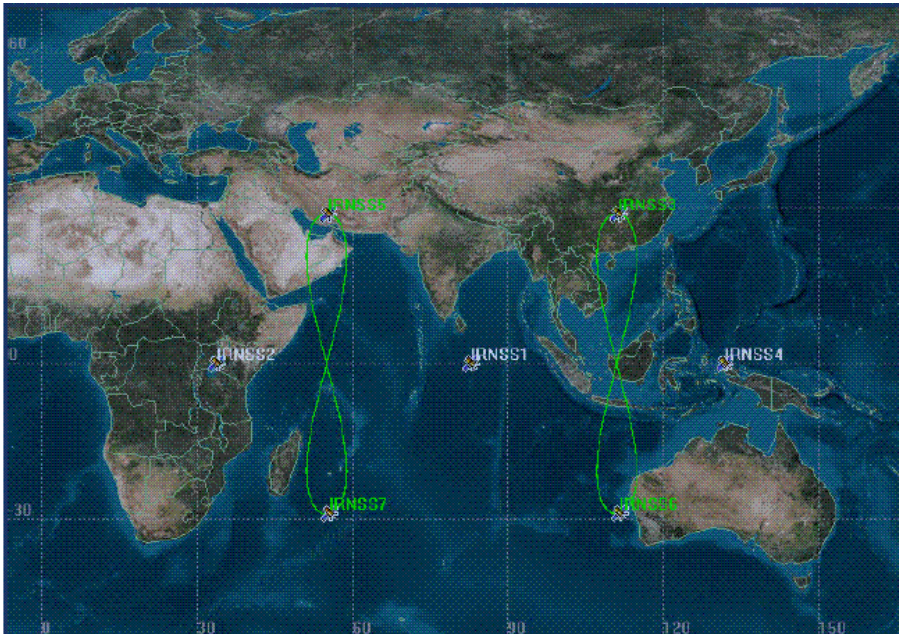
2.5 Regionala satellitsystem



QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) är namnet på det japanska systemet som ska bättra på GPS-konstellationen över främst Japan, där den första satelliten av tre beräknas sändas upp 2009. Satelliternas banor ligger vid ekvatorn på 42 164 km:s höjd och medför att de hamnar i elevationsvinklar över 70° i mer än 12 timmar per dag, därav namnet Quasi-Zenith.

Figur 2.2: QZSS, det planerade japanska satellitsystemet som ska bättra på GPS-konstellationen över främst Japan.

IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) heter Indiens system som planeras vara i bruk 2012. Totalt 7 satelliter kommer att skickas upp.



Figur 2.3: IRNSS, Indiens framtida satellitsystem.

2.6 Felkällor

En rad faktorer måste behandlas som påverkar resultatet vid mätning med GNSS. Det handlar om fel hos satelliterna, fel hos mottagarna och fel i överföringen mellan satellit och mottagare. De flesta av dessa fel kan reduceras med hjälp av olika positioneringsmetoder.

2.6.1 Atmosfärspåverkan

Ju längre sträcka satellitsignalen måste färdas genom atmosfären desto mer påverkad blir den. Denna påverkan blir som störst för satelliter som befinner nära horisonten och som minst för en satellit som står i zenit. De atmosfärsskikt som stör signalen mest är troposfären och jonosfären (Leick 1995).

Troposfärsfelet orsakas av det skikt som ligger närmast jorden, troposfären, som sträcker sig upp till ca 10 km höjd. Det är i troposfären som det vi i dagligt tal kallar väder utspelar sig. Här finns kvävgas, syrgas och vattenånga som förvanskar signalen. Dessa fel minskas genom att göra en modell över troposfären (Hofmann-Wellenhof et al. 2001).

Jonosfärsfelet orsakas av skiktet som ligger längst från jorden, jonosfären, som ligger på 50 till 1000 km höjd. Här är det elektriskt laddade partiklar som påverkar signalen så att tids- och skalfel uppstår. För att begränsa felets storlek används en elevationsmask på

10-15 grader för att sålla bort satelliter nära horisonten, utnyttjandet av flera frekvenser vid mätning och modellering av jonosfären.

2.6.2 Klockfel

Det sitter en klocka i satelliten och en klocka i mottagaren. Är inte dessa två klockor helt synkroniserade uppstår ett klockfel. Eftersom satelliten är utrustad med ett mycket exakt atomur är det klockan i mottagaren som orsakar det största felet. Vid absolut mätning tas större delen av mottagarens klockfel bort med hjälp av inbindning mot minst fyra satelliter. Klockfelet i satelliten elimineras för bärvågs-mätning genom enkeldifferenser, vilket är skillnaden mellan fas-mätningar från samma satellit till två olika punkter. Mottagarens klockfel reduceras sedan helt genom dubbeldifferenser.

2.6.3 Bandatafel

De ursprungliga monitorstationerna i övervakningsegmentet som ligger längs ekvatorn och de som håller på att byggas ut (se figur 2.1) registrerar kontinuerligt satellitsignalerna för att beräkna deras banor runt jorden. För att sända ut dessa bandata till användarna utnyttjas satellitmeddelandet där banparametrar ingår, dvs. information om var satelliterna befinner sig. Fel i denna information kallas bandatafel och uppgår till ungefär 3-5 meter. För de flesta ändamål räcker denna noggrannhet, men efterberäknade bandata kan användas om högre noggrannhet krävs.

2.6.4 Flervägsfel

Om satellitsignalen reflekteras mot ytor såsom vattenytor, husväggar eller plåttak m.m. innan den når mottagaren fås ett s.k. flervägsfel, även kallat multipath. Eftersom den reflekterade sträckan är längre än den direkta blir resultatet en felaktig avståndsmätning i och med att de båda signalerna interfererar med varandra.

Genom att använda antenner av typen "choke-ring antennis" och höja elevationsmasken till mer än 15 grader så kan flervägsfelets inverkan reduceras.

2.6.5 Satellitkonfiguration

DOP (Dilution Of Precision) är ett mått på hur bra konfiguration satelliterna har. Om satelliterna är bra fördelade över himlavalvet erhålls bra satellitgeometri och låga DOP-tal, vilket gynnar positionsnoggrannheten.

De vanligaste typerna av DOP-tal är:

PDOP (Position DOP) innefattar endast de tre dimensionerna.

GDOP (Geometric DOP) innefattar de tre dimensionerna och klockfelet.

2.6.6 Sikthinder

Anledningen till att dagens GNSS-mottagare inte fungerar inomhus är att de behöver fri sikt mot satelliterna. Utomhus kan höga byggnader eller tät vegetation göra att sikten mot satelliterna också störs så att mätning inte är möjlig. Det har stor betydelse i vilket väderstreck dessa sikthinder ligger, speciellt om mätningen sker med endast GPS. Sikthinder i söder är då sämst eftersom GPS-satelliternas inklinationsvinkel på 55 grader gör att antalet satelliter i norr begränsas. Med GLONASS blir spridningen av satelliterna större eftersom dessa satelliter har en inklinationsvinkel på 64,8 grader.

När det gäller vegetation så kan denna både dämpa signalen och stoppa den helt. Det har betydelse vilken typ av skog som signalen passerar genom. Lövskog stoppar signalen helt i större utsträckning, medan barrskog oftare mer dämpar signalen. Denna dämpade signal resulterar i sämre positionsnoggrannhet.

2.6.7 Jamming och spoofing

Portabla störsändare som slår ut GNSS-signalerna (jamming) kan idag köpas på Internet för mindre än 700 euro. Att vilseleda en GNSS-mottagare genom att generera falska signaler (spoofing) är betydligt svårare, men tekniskt möjligt (Nilsson 2006).

2.7 Avståndsmätning satellit - mottagare

Det finns olika metoder för att med hjälp av satelliter göra en positionsbestämning. Dessa metoder väljs utifrån aktuella mätförhållanden och önskad noggrannhet. Positionsbestämningen kan göras genom beräkningar i realtid eller genom att beräkningar utförs i efterhand. Kodmätning respektive bärvågsmätning är två metoder som används när avståndet mellan mottagare och satelliter bestäms.

2.7.1 Kodmätning

Kodmätning innebär att mätning görs på C/A eller P-koden för att bestämma avståndet. Detta är ett snabbt och enkelt sätt som ger en precision på några decimeter. Mottagaren skapar en kopia på den kodade satellitsignalen som sedan jämförs med den kodade satellitsignalen som uppfångas. Med hjälp av tidsmarkeringar på

koderna kan tidsförskjutningarna mellan koderna mätas. Tidsförskjutningen är ett mått på tiden det tar för satellitsignalen att förflyttas sig från satelliten till mottagaren, s.k. gångtid. Eftersom signalens utbredningshastighet är känd (=ljusets hastighet) och gångtiden är uppmätt kan sedan avståndet mellan mottagare och satellit beräknas. Vanligen benämns detta avstånd som pseudoavstånd (falskt avstånd) därför att det är påverkat av felkällor som att mottagarens klocka inte är fullständigt synkroniserad med satelliternas klockor.

2.7.2 Bärvägsmätning

Metoden bärvägsmätning medför att fasmätning genomförs på satellitsignalens bärväg. Bärvägen som genereras i GNSS-mottagaren jämförs med signalen som tas emot från satelliten. Satellitsignalen är färförskjuten i jämförelse med den bärväg som skapats i mottagaren. Eftersom bärvägen inte innehåller tidsmärken kan inte gångtiden beräknas direkt. Antalet hela våglängder för satellitsignalerna vid tidpunkten när mottagaren låste på dem kan däremot bestämmas mycket noggrant. Avståndet mellan satellit och mottagare kan uttryckas som detta antal hela våglängder (s.k. periodobekanta) plus en del av en våglängd. Denna del av en våglängd bestäms genom fasmätning.

För realtidsmätning benämns processen att bestämma periodobekanta för initialisering. Förändringen av antalet hela våglängder från tidpunkten mottagaren låste på satellitsignalen räknas. Mottagaren får efter initialisering s.k. fixlösning. För att bibehålla fixlösning får inte låsningen av satellitsignalen brytas. Noggrannheten som kan uppnås genom bärvägsmätning är några millimeter.

2.8 Positionsbestämningsmetoder

För att kunna bestämma mottagarens position måste avstånden till satelliterna kombineras med data om satelliternas position då signalerna sändes. När en mottagare används kallas det absolut mätning och när två eller flera mottagare som samverkar används kallas det relativ mätning.

2.8.1 Absolut mätning

Vid absolut mätning används kodmätning för att bestämma avstånden till satelliterna. En mottagare används och är därför den snabbaste och enklaste formen av positionsbestämning, men den ger också den sämsta horisontella noggrannheten; 10 meter eller bättre.

Mottagarens position bestäms genom inbindning mot minst 4 satelliter för att lösa de fyra obekanta (longitud, latitud, höjd och klockfelet i mottagaren).

2.8.2 Relativ mätning

Efterfrågas högre noggrannhet måste minst två mottagare användas vilket benämns som relativ mätning. De flesta felkällor kan reduceras när mottagarna kan jämföra mätdata från samma satelliter. Kodmätning kan användas även med denna metod, men bärvågsmätning ger bättre noggrannhet; centimeternivå.

De tre vanligaste relativa mätmetoderna är:

Statisk mätning innebär att baslinjer mellan två eller flera mottagare bestäms under flera timmars stillastående mätning. Positionerna beräknas i efterhand och noggrannheten hamnar på millimeter- till centimeternivå.

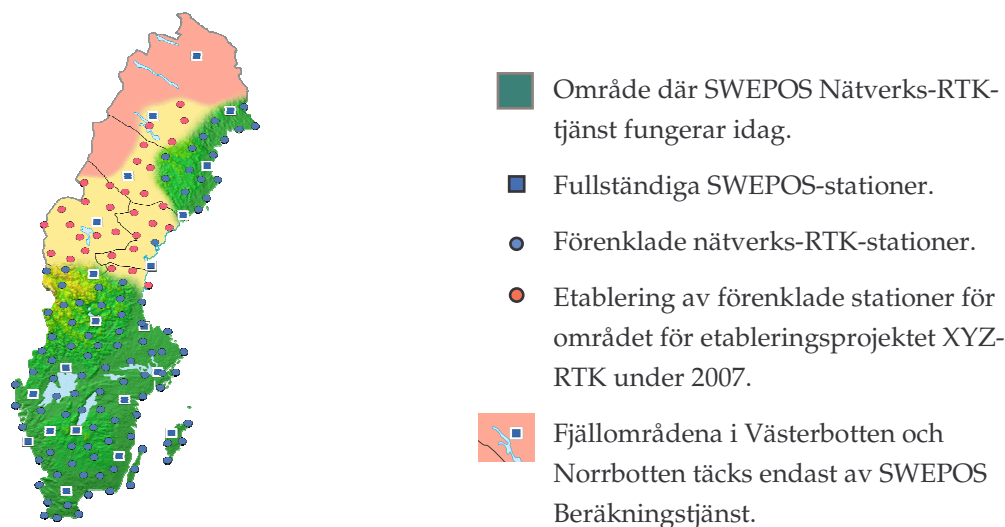
DGPS (Differentiell GPS) innebär kodmätning eller bärvågsunderstödd kodmätning. En rörlig mottagare (rover) får korrektioner som baseras på skillnaden mellan det mätta avståndet (pseudoavståndet) och det beräknade avståndet för den andra mottagaren som är placerad över en punkt med känd position och fungerar därmed som referensstation. Noggrannheten med den här metoden ligger på meternivå.

RTK (Real Time Kinematic) använder sig av bärvågsmätning och ger positionen direkt i fält. Även här placeras en referensstation över en punkt med känd position och RTK-data skickas till rovern som beräknar positionen i realtid. Eftersom RTK använder sig av bärvågen hamnar noggrannheten på centimeternivå.

3 Kort översikt av Nätverks-RTK

3.1 SWEPOS

Det nationella nätet av fasta referensstationer kallas SWEPOS. Det finns 21 fullständiga och 100 förenklade referensstationer. Skillnaden ligger i att de fullständiga stationerna har sin antenn monterad på en väl förankrad betongpelare, medan de förenklade kan ha sin antenn monterad på en byggnad.



Figur 3.1: SWEPOS referensstationer.

Lantmäteriet i Gävle svarar för drift, underhåll och utveckling. Det är även här driftledningscentralen ligger. Centralen samlar in data från nätet som bearbetas för olika ändamål. Framförallt handlar det om navigering och positionsbestämning. SWEPOS har även till uppgift att realisera det nationella referenssystemet SWEREF 99 (Jonsson et al. 2006).

3.2 Nätverks-RTK

I ett nätverks-RTK binds flera referensstationer samman i ett nätverk (t.ex. SWEPOS). SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst har för närvarande (070320) ca 640 abonnenter, varav ca 410 abonnenter har bara GPS och ca 230 abonnenter använder kombinationen GPS/GLONASS (Löf 2007). Abonnenterna är kommuner (42 %), konsulter (41 %), Lantmäteriet (15 %) och statliga verk (2 %).

Den rörliga mottagaren skickar data om sin ungefärliga position till centralen. Här används den inskickade positionen och observationsdata för de sex närmaste referensstationerna för att skapa en VRS (virtuell referensstation). Mottagaren kommer då att uppfatta att den

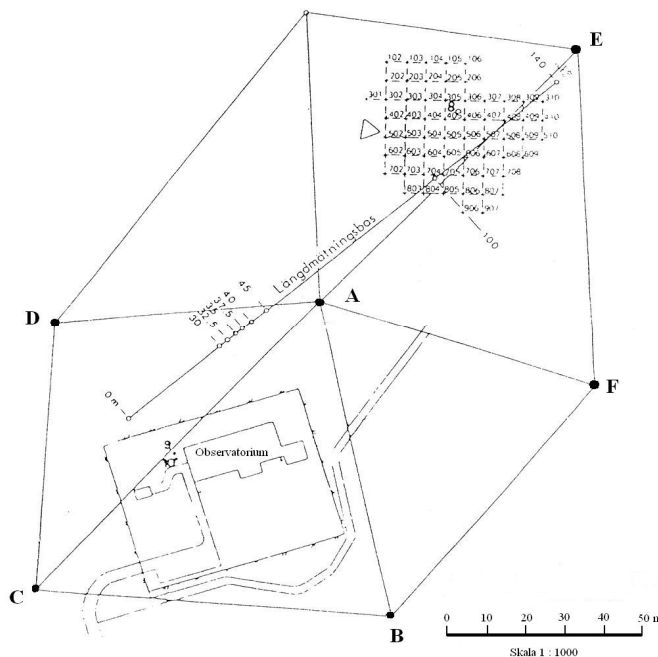
får sina RTK-data från en referensstation i sin omedelbara närhet. Nätverks-RTK-programvaran skapar en felmodell för att reducera atmosfärsfelen och banfelen. Denna används vid skapandet av de RTK-data som skickas till användaren.

4 Metod och genomförande

I detta examensarbete gjordes testmätningar med nätverks-RTK-tjänsten där punkter med kända positioner fungerade som "sanna" värden. Mätningarna genomfördes med endast GPS och med kombinationen GPS/GLONASS. GNSS-utrustning från tre olika tillverkare användes. GNSS-mottagarna tog emot RTK-data från nätverks-RTK-tjänsten genom GPRS.

4.1 Testområde

Området (se figur 4.1) runt Observatoriet i Mårtsbo, ca 1 mil söder om Gävle, valdes för testmätningarna. Här består sikthindren av barrskog (främst tall) i varierande täthetsgrad. Punkterna fick då olika grad av störd miljö.



Figur 4.1: Testnätet runt Lantmäteriets observatorium i Mårtsbo, Gävle.

För att rangordna punkternas sikthinder (störandegrad) fotograferades omgivningen på varje punkt. Ett kamerastativ ställdes upp över varje punkt och sju bilder togs med ett visst överlapp. En kompass användes för att markera väderstrecken. Bilderna sammanfogades sedan i Adobe Photoshop till en panoramabild som gjordes helt svartvit utan mellanliggande gråskalor. Detta möjliggjordes genom att kontrasten mellan träd och bakomliggande himmel var hög. I histogrammet för bilden kontrollerades hur stor andel av pixlarna som var svarta. På så sätt gavs en ungefärlig uppfattning av punkternas omgivande miljö och benämns som störandegrad (se figur 4.2 – 4.7).

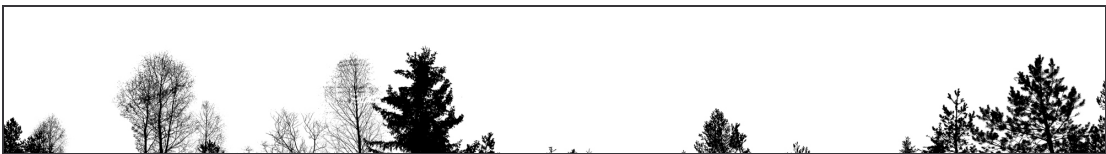
Underkanten på bilden ligger på ungefär 30 graders elevationsvinkel och överkanten på cirka 70 grader. Söder ligger mitt i bilden.



Figur 4.2: Störandegraden var 5 % för punkt A.



Figur 4.3: Störandegraden var 34 % för punkt B.



Figur 4.4: Störandegraden var 11 % för punkt C.



Figur 4.5: Störandegraden var 24 % för punkt D.



Figur 4.6: Störandegraden var 26 % för punkt E.



Figur 4.7: Störandegraden var 57 % för punkt F.

Punkternas koordinater har bestämts av Lantmäteriet genom statisk GPS-mätning. Dessa koordinater antas vara felfria och fungerade som referensvärden vid beräkningarna av kvalitetstalen.

Tabell 4.1: Punktförteckning med koordinater i SWEREF 99 (Norin 2007).

Punkt	Latitud	Longitud	Höjd
A	60°35'43,43391"	17°15'33,67744"	69,530 m
B	60°35'40,66480"	17°15'33,29116"	69,926 m
C	60°35'41,71147"	17°15'27,79918"	68,106 m
D	60°35'43,83531"	17°15'29,37465"	66,900 m
E	60°35'44,94204"	17°15'39,07154"	68,511 m
F	60°35'42,08276"	17°15'37,68195"	67,321 m

4.2 Utrustning

Under testmätningarna användes tre olika fabrikat av GNSS-mottagare som alla hade GPS/GLONASS-kombinationen i sina mätutrustningar. Dataöverföringen skedde med GPRS via GSM-nätet.



Leica Geosystems:

- GNSS-mottagare: GX 1230 GG
- Antenn: AX 1202 GG
- Handenhet: RX 1210T
- Programvara: System 1200 version 4.10

Figur 4.8: Leica GPS 1200 som användes för testmätningarna (på fotot saknas ryggsäcken med GNSS-mottagaren GX 1230 GG).



Figur 4.9: Topcon HiPer+ som användes för testmätningarna.

Topcon Positioning System:

- GNSS-mottagare: HiPer+
- Antenn: Integrerad
- Handenhet: FC-100
- Programvara: TopSURV version 6.04.03



Figur 4.10: Trimble R8 som användes för testmätningarna.

Trimble:

- GNSS-mottagare: R8 – Model 2
- Antenn: Integrerad
- Handenhet: TSC2
- Programvara: Trimble Survey Controller version 11.32

4.3 Mätstrategi

Eftersom GLONASS satellitkonstellation upprepas ca 1,5 timme tidigare varje dag och GPS satellitkonstellation ca 4 minuter tidigare varje dag så är den totala satellitkonstellationen i ständig förändring. Dessutom mättes punkterna på olika tider för att mätningarna med någon av de två teknikerna inte skulle påverkas negativt.

Varje mätserie bestod av 10 mätningar per fabrikat och teknik och utfördes enligt följande procedur:

1. Stativet centrerades över punkten med känd position.
2. Antennen placerades på en trefot, vars optiska lod kontrollerats och klarat HMK:s krav på centreringsfel mindre än 1 mm.
3. Antennhöjden mättes och noterades.
4. GNSS-mottagaren startades.
5. Mätprofil för GPS respektive GPS/GLONASS valdes.
6. GPRS anslöts via GSM-länken och en första fixlösning inväntades.
7. GNSS-mottagaren ominitialiserades genom ett kommando i handenheten, men GSM-länken bibehölls.
8. Fixlösning inväntades och tid till fix (initialiseringstid) noterades.
9. Mätning utfördes.
10. Antal satelliter (både GPS och GPS/GLONASS), RTK-ålder (åldern på överförda RTK-data) och kvalitet på radiolänk noterades.
11. Punkt 7 – 10 utfördes 10 gånger.

Elevationsmasken sattes till 13 grader. Medeltalsbildning gjordes på tre mätningar för varje enskild mätning i serien. Maximal initialiseringstid sattes till tre minuter innan mätningsförsöket avbröts och noterades som en överskridelse av fixtidsgränsen. PDOP och 3D-kvalitet sparades automatiskt i mottagaren tillsammans med koordinater. För att ungefär samma satellitkonstellation skulle gälla för båda teknikerna mättes de direkt efter varandra. Vilket fabrikat som användes först i mätningarna på varje punkt varierades också.

4.4 Databearbetning och analys

Eftersom alla statistiska beräkningar skulle ske i programmet Microsoft Excel exporterades all data i form av textfiler. Olika strategier krävdes för de tre fabrikaten. I Leica och Topcon skapades textfilen direkt i handenheten som sedan överfördes till Excel. Med Trimble togs vägen via PC-programmet Trimble Geomatics Office (TGO) version 1.60, vilket är en programvara som hanterar olika typer av mätdata.

I Excel beräknades kvalitetstal för precision, noggrannhet och medelavvikelse. Här skapades även tabeller och diagram.

4.5 Kvalitetsbegrepp

4.5.1 Feltyper

Ingen mätning är helt felfri. Felet som uppstår är skillnaden mellan det mätta värdet och det sanna värdet. Felen kan delas in i grova, systematiska och tillfälliga fel.

Grova fel kan inte bearbetas med statistiska metoder, men de kan upptäckas genom upprepade mätningar. Exempel på grova fel är slarvfel som beror på den mänskliga faktorn.

Systematiska fel är regelbundna och beror inte på slumpen. Exempel på systematiska fel är dåligt kalibrerade instrument.

Tillfälliga fel är slumpmässiga och antas vara normalfördelade. De kan därför bearbetas med statistiska metoder och det är dessa fel som analyseras med kvalitetsbegreppen som följer nedan.

4.5.2 Noggrannhet (medelfel)

Noggrannheten (\hat{s}) beskriver de mätta värdenas spridning kring ett sant värde och beräknas som ett kvadratisk medelvärde av skillnaderna mellan mätta värden och sant värde. Vid normalfördelade fel bör cirka 68 % vara mindre än noggrannheten. God noggrannhet innebär att mätningarna är väl samlade och medför bra precision. Beräkningen av noggrannheten görs som ett kvadratisk medelvärde enligt följande formel:

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

ε är skillnaden mellan mätt värde och sant värde

n är antalet mätningar

4.5.3 Precision (standardavvikelse)

Precisionen (s) beskriver spridningen kring mätningarnas medelvärde. Om felen är normalfördelade bör cirka 68 % av mätningarna ha fel som är mindre än precisionen. Hög precision och låg noggrannhet kan förekomma om mätningarna är väl samlade men ligger långt från det sanna värdet. Beräkningen av precisionen görs som standardavvikelse enligt följande formel:

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

\bar{x} är mätningarnas medelvärde

n är antalet mätningar

4.5.4 Medelavvikelse (riktighet)

Medelavvikelsen (m) beskriver hur mycket de mätta värdenas medelvärde avviker från det sanna värdet. Den ska vara så liten som möjligt. Om den avviker från noll innebär det att mätningarna innehåller systematiska fel.

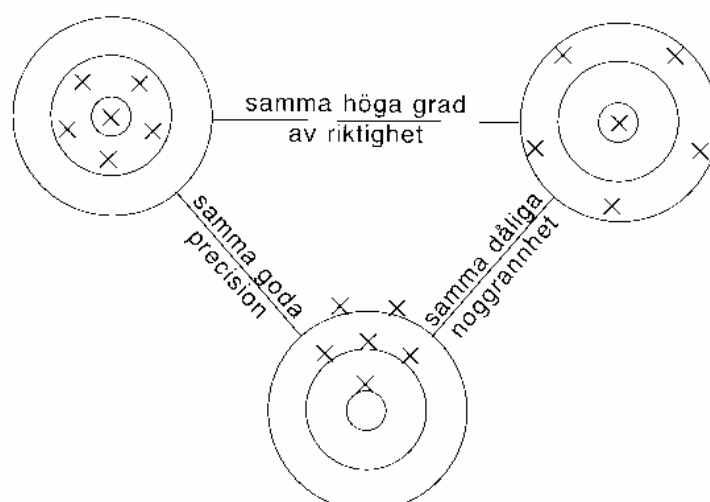
$$m = \frac{\sum \varepsilon}{n}$$

ε är skillnaden mellan mätt värde och sant värde

n är antalet mätningar

4.5.5 Förhållandet mellan noggrannhet, precision och medelavvikelse

God noggrannhet medför även god precision och medelavvikelse. Förhållandet mellan noggrannhet, precision och medelavvikelse redovisas i bilden nedan.



Figur 4.11: Förhållandet mellan noggrannhet, precision och medelavvikelse (Lantmäteriverket 1996).

4.5.6 Normalfördelning

Normalfördelningskurvan är symmetrisk kring medelvärdet och har arean 1, det vill säga 100 %. För att beräkna sannolikheten att ett värde ligger inom en viss felmarginal används olika konfidensintervall. Två vanligt förekommande konfidensintervall inom statistiken är 68 % och 95 %, även kallat sigmanivå 1 och 2.

5 Resultat

I denna studie gjordes totalt 1 440 mätningar på de sex punkterna med kända positioner A-F (se figur 4.1). Mätningarna utfördes under perioden 070131-070216. Inga mätningar gjordes på lördagar och söndagar.

Först mättes alla sex punkter:

$6 \text{ punkter} * 2 \text{ tekniker} * 3 \text{ fabrikat} * 3 \text{ serier} * 10 \text{ mätningar} = 1\ 080$

Därefter mättes två av punkterna (E och F) igen:

$2 \text{ punkter} * 2 \text{ tekniker} * 3 \text{ fabrikat} * 3 \text{ serier} * 10 \text{ mätningar} = 360$

Av de 1 440 mätningarna uppnåddes inte fixlösning inom 180 sekunder för 206 av försöken. Vidare är 22 mätningar (som alla fick fixlösning) borttagna. 20 av de 22 borttagna mätningarna kommer från två serier som togs bort på grund av dålig RTK-ålder och problem med dataöverföring, vilket resulterade i dålig 3D-kvalitet. Detta tas upp mer ingående i avsnitt 6.6. Övriga 2 av de 22 borttagna mätningarna togs bort då de klassades som s.k. "outliers", eftersom de avvek mer än 200 mm i höjd och därmed kan betraktas som grova fel.

Det ska också sägas att alla mätningar med Leicautrustningen gjordes med en felaktig inställning rörande vilken antenntyp som RTK-data från nätverks-RTK-tjänsten är refererade till. Denna felaktiga inställning fick till följd att alla Leicamätningar fick ett höjdvärde som var drygt 20 mm för högt (viss variationer beroende på satelliternas positioner). För att göra jämförelserna rättvisa har därför alla höjdvärden från mätningar med Leica reducerats med en konstant på 20 mm.

Alla beräknade avvikelser utgår från otransformerade koordinater i SWEREF 99.

5.1 Antal lyckade och misslyckade mätningar

I tabell 5.1 redovisas antal lyckade mätningar, misslyckade mätningar och hur stor andel mätningar som lyckades få fixlösning inom 180 sekunder (lyckandegrad) oavsett fabrikat.

I tabell 5.2 redovisas antal lyckade mätningar, misslyckade mätningar och lyckandegrad för respektive fabrikat.

På punkt A – D gjordes 90 mätningar per punkt och teknik.

På punkt E och F gjordes 180 mätningar per punkt och teknik.

Tabell 5.1: Redovisning av hur väl mätningarna lyckades på de olika punkterna.

	Typ av teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Alla punkter
Antal lyckade mätningar	GPS/GLONASS	90	90	80	88	155*	129*	632
	GPS	86	87	90	80	142*	95*	580
Antal misslyckade mätningar	GPS/GLONASS	0	0	10	2	14/11(1)**	51	77/11 (1)**
	GPS	4	3	0	10	28/10 (0)**	84/1 (1)**	129/11 (1)**
Lyckandegrad	GPS/GLONASS	100 %	100 %	89 %	98 %	86/91 %***	72 %	88/89 %***
	GPS	96 %	97 %	100 %	89 %	79/84 %***	53/53 %***	81/82 %***

*På punkt E och F gjordes dubbelt så många mätningar

** Överskred fixtidsgränsen/Borttagna (varav "Outliers")

***Andel av samtliga mätningar/Andel av ej borttagna mätningar

Tabell 5.2: Redovisning av hur väl mätningarna lyckades för respektive fabrikat.

	Typ av teknik	Leica	Topcon	Trimble
Antal lyckade mätningar	GPS/GLONASS	225	210	197
	GPS	220	175	185
Antal misslyckade mätningar	GPS/GLONASS	4/11 (1)*	30	43
	GPS	10/10 (0)*	64/1 (1)*	55
Lyckandegrad	GPS/GLONASS	94/98 %**	88 %	82 %
	GPS	92/96 %**	73/73 %**	77 %

*Överskred fixtidsgränsen/Borttagna (varav "Outliers")

**Andel av samtliga mätningar/Andel av ej borttagna mätningar

5.2 Resultat för samtliga mätningar

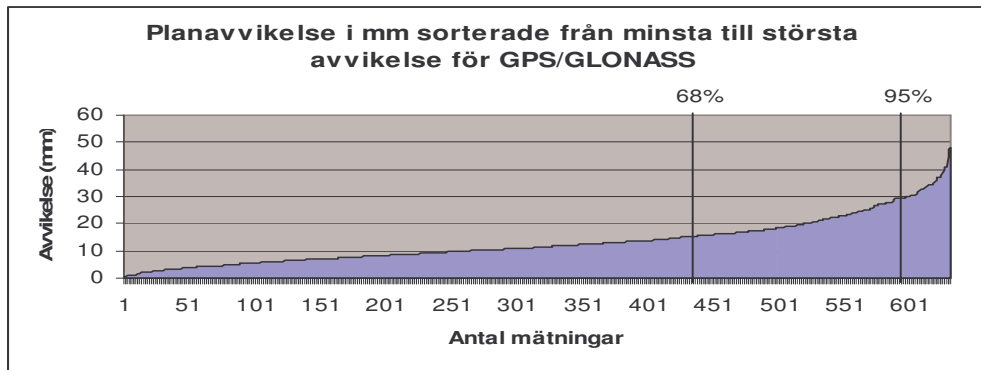
I tabell 5.3 och 5.4 redovisas största avvikelser inom 68 %- och 95 %-nivån (68 % och 95 % av mätningarna), precision, noggrannhet och medelavvikelse i plan och höjd oavsett fabrikat. Figurerna 5.1 – 5.4 visar avvikelserna i plan och höjd i diagramform.

Tabell 5.3: Kvalitetsvärden (mm) i plan för de olika punkterna.

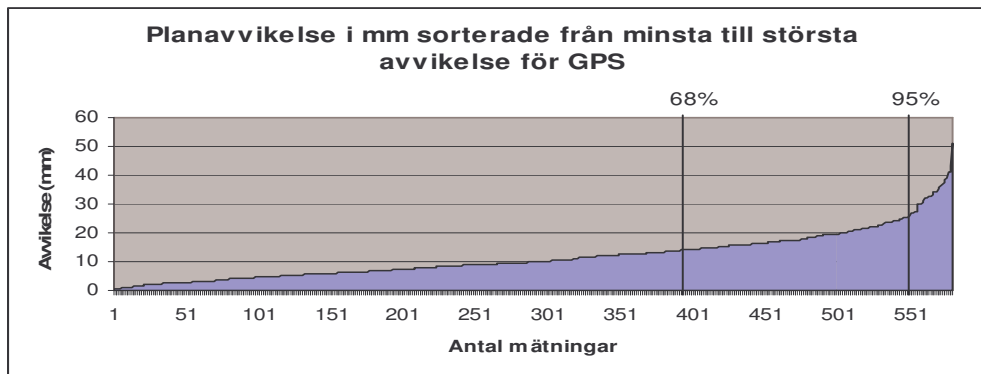
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Alla punkter
68 %	GPS/GLONASS	10	14	13	15	19	16	15
	GPS	7	9	15	14	20	15	14
95 %	GPS/GLONASS	20	23	33	30	34	30	30
	GPS	13	16	24	22	33	27	27
Precision	GPS/GLONASS	9	13	12	15	14	14	15
	GPS	7	8	14	14	15	14	14
Noggrannhet	GPS/GLONASS	10	14	15	15	19	16	16
	GPS	7	9	14	14	19	14	14
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	4	5	9	5	13	6	3
	GPS	3	2	4	3	12	3	3

Tabell 5.4: Kvalitetsvärden (mm) i höjd för de olika punkterna.

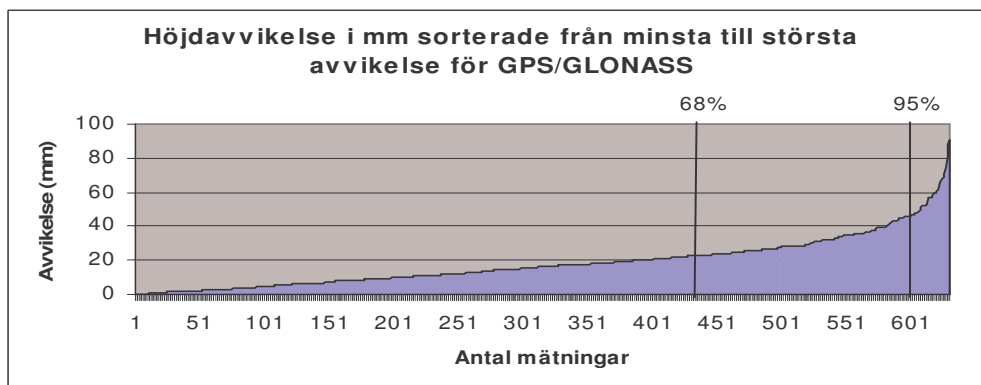
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Alla punkter
68 %	GPS/GLONASS	19	27	18	19	21	26	23
	GPS	17	32	14	12	18	24	19
95 %	GPS/GLONASS	46	47	42	33	56	52	46
	GPS	32	55	30	23	42	43	43
Precision	GPS/GLONASS	21	21	19	19	23	23	22
	GPS	17	21	16	12	18	21	20
Noggrannhet	GPS/GLONASS	21	26	18	19	25	27	24
	GPS	17	31	16	12	21	24	21
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	0	16	1	4	10	13	8
	GPS	-4	23	-1	-2	10	10	7



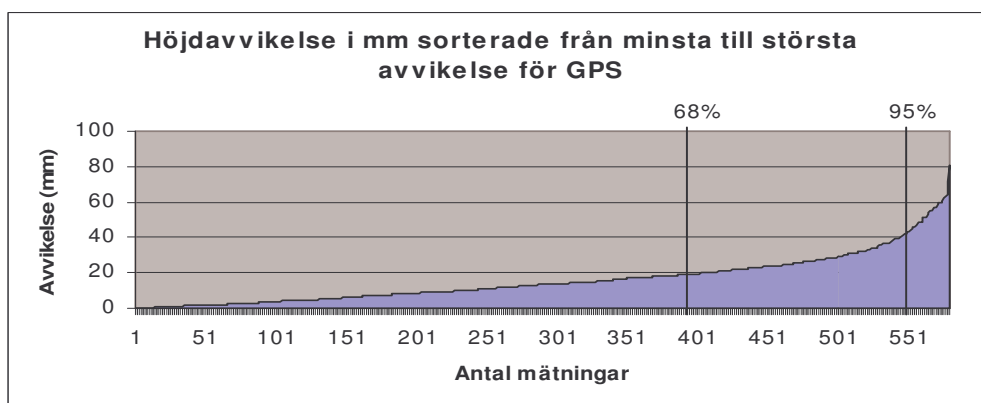
Figur 5.1



Figur 5.2



Figur 5.3



Figur 5.4

5.3 Resultat för respektive fabrikat

I tabell 5.5 och 5.6 redovisas största avvikelser inom 68 %- och 95 %-nivån (68 % och 95 % av mätningarna), precision, noggrannhet och medelavvikelse i plan och höjd för respektive fabrikat.

Tabell 5.5: Kvalitetsvärden (mm) i plan för respektive fabrikat.

Kvalitets- termer	Typ av teknik	Leica	Topcon	Trimble
68 %	GPS/GLONASS	14	14	18
	GPS	14	14	13
95 %	GPS/GLONASS	27	28	34
	GPS	24	25	32
Precision	GPS/GLONASS	14	15	17
	GPS	14	13	15
Noggrannhet	GPS/GLONASS	14	15	18
	GPS	14	14	15
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	2	2	6
	GPS	1	3	3

Tabell 5.6: Kvalitetsvärden (mm) i höjd för respektive fabrikat.

Kvalitets- termer	Typ av teknik	Leica	Topcon	Trimble
68 %	GPS/GLONASS	22	23	23
	GPS	20	19	19
95 %	GPS/GLONASS	39	48	47
	GPS	38	37	51
Precision	GPS/GLONASS	22	20	23
	GPS	20	19	21
Noggrannhet	GPS/GLONASS	22	24	24
	GPS	20	20	23
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	4	13	8
	GPS	4	6	10

5.4 Initialiseringstid och antal satelliter

I tabell 5.7 redovisas längsta tid till fixlösning för 68 % och 95 % av alla mätningar och det genomsnittliga antalet satelliter för varje punkt oavsett fabrikat.

I tabell 5.8 redovisas längsta tid till fixlösning för 68 % och 95 % av alla mätningar och det genomsnittliga antalet satelliter för respektive fabrikat.

206 (77 för GPS/GLONASS och 129 för GPS) av mätningarna avbröts eftersom de överskred 180 sekunders-gränsen för tid till fixlösning och är bortsorterade.

Tabell 5.7: Initialiseringstid (sekunder) och antal satelliter för samtliga mätningar.

Kvalitets- termer	Typ av teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Alla punkter
68 %	GPS/GLONASS	12	13	12	15	20	31	17
	GPS	10	17	15	16	27	36	18
95 %	GPS/GLONASS	24	45	44	94	115	131	85
	GPS	90	116	70	78	86	125	96
Genomsnitt antal satelliter	GPS/GLONASS	10,7	10,9	11,5	11,1	10,3	11,6	11,00
	GPS	7,8	7,6	7,8	7,9	7,5	8,4	7,8

Tabell 5.8: Initialiseringstid (sekunder) och antal satelliter för respektive fabrikat.

Kvalitets- termer	Typ av teknik	Leica	Topcon	Trimble
68 %	GPS/GLONASS	15	24	11
	GPS	16	38	15
95 %	GPS/GLONASS	51	106	110
	GPS	47	116	120
Genomsnitt antal satelliter	GPS/GLONASS	10,8	11,4	10,6
	GPS	8,00	8,1	7,3

6 Diskussion

Syftet med denna studie var att undersöka hur tillgängligheten för satellitmätning, positionsnoggrannheten och initialiseringstiden påverkas i öppna respektive störda miljöer med GPS/GLONASS jämfört med enbart GPS. Vidare studerades om det fanns några skillnader mellan de tre fabrikaten Leica, Trimble och Topcon i detta avseende.

6.1 Tillgängligheten för satellitmätning

Eriksson och Hedlund (2005) pekade på att deras studie inte hade några betydande sikthinder och att bidraget av GLONASS därför inte hade en så avgörande roll som väntat. Därför utfördes den nu utförda fältstudien i en miljö med svårare sikthinder. Detta blir tydligt i en jämförelse av hur många misslyckade mätningar respektive studie fick. Vid den tidigare studiens 720 mätningar lyckades samtliga, vilket ger en lyckandegrad på 100 % för båda teknikerna. Av den här studiens 1 440 mätningar lyckades 1 212, med en lyckandegrad på 88 % för GPS/GLONASS och 81 % för GPS (89 respektive 82 %:s andel av ej borttagna mätningar). Majoriteten av de misslyckade mätningarna inträffade av naturliga skäl på punkt F då denna hade den mest störda miljön. I denna störda miljö bidrar GLONASS-satelliterna som mest till att mätningar kan genomföras. 72 % av mätningarna lyckades med GPS/GLONASS, medan endast 53 % lyckades med GPS (se tabell 5.1).

Beträffande fabrikaten så finns det en del saker som gör att en jämförelse mellan dessa bara bör ses som en i indikation. Bland annat så kan det finnas skillnader i hur de olika programvarorna hanterar ominitialiseringen. I studien är Leica det fabrikat som lyckades med flest mätningar och skillnaden mellan teknikerna är även minst med Leica, med en lyckandegrad på 94 % för GPS/GLONASS respektive 92 % för GPS (98 respektive 96 %:s andel av ej borttagna mätningar). Störst skillnad mellan de båda teknikerna uppvisar Topcon, med en lyckandegrad på 88 % för GPS/GLONASS respektive 73 % för GPS (se tabell 5.2).

6.2 Avvikelser för samtliga mätningar

När det gäller kvalitetstalen både i plan och höjd så visar resultaten på mycket små skillnader mellan GPS respektive GPS/GLONASS i de fall man får fixlösning (1-3 mm bättre för enbart GPS). Vid svåra mätmiljöer är det dock avsevärda skillnader för tillgängligheten för satellitmätning för GPS/GLONASS respektive GPS (se avsnitt 6.1). Det

kan konstateras att precisionen och noggrannheten i plan är av samma storlek, vilket indikerar att de systematiska felen är små i plan. Detta bekräftas av att medelavvikelserna var nära noll. Värt att notera är att kvalitetstalen i plan inte försämras vid mätning i störda miljöer.

För att kontrollera hur precisionen var i latitud- och longitudled gjordes även beräkningar på detta (se bilaga I). Som tidigare studier (Kjørsvik 2002) visat är precisionen sämre i latitud, vilket beror på den sämre satellittäckningen i nord-sydlig riktning på våra breddgrader. GLONASS-satelliterna förbättrade inte latitudprecisionen.

I höjd är det som sagt inte heller någon större skillnad mellan de två teknikerna. Skillnaderna mellan precision och noggrannhet är även i höjd små för både GPS och GPS/GLONASS, vilket även storleken på medelavvikelsen pekar på detta. Smärre systematiska fel då noggrannheten är sämre än precisionen i höjd finns för punkterna B, E och F, vilket bekräftas av något höga värden på medelavvikelsen här. Dessa systematiska fel blir tydliga vid en granskning av spridningsdiagrammen i höjd (se bilaga I). Vid denna granskning bör man beakta att det finns en osäkerhet i bestämningen av de kända höjderna, vilket kan förklara systematiken.

En tendens är att kvalitetstalen i höjd, till skillnad från de i plan, försämras något i störd miljö. De tre punkterna med mest störd miljö (B, E och F) har något sämre precision än de övriga tre. Att övriga noggrannhetstal är lite sämre för dessa punkter beror främst på förhöjda medelavvikelser.

Klockornas noggrannhet är en viktig nyckel för att erhålla en god noggrannhet vid satellitmätning. En förklaring till varför GPS får något bättre positionsvärden i de fall man får fixlösning kan vara att GLONASS-satelliternas klockor är något sämre än GPS-satelliternas (Matthis 2006). En annan faktor som kan påverka noggrannheten är att kontrollstationerna för GLONASS endast ligger i det forna Sovjetunionen, vilket medför att kontakten med satelliterna omöjliggörs under en stor del av omloppsbanorna.

Att noggrannheten blir sämre i höjd än i plan beror generellt på att satellitgeometrin alltid gynnar plan i förhållande till höjd. Dessutom ger troposfärsfelet större påverkan i höjd.

Felens storlek i denna studie ligger nära de erfarenheter Lantmäteriet har från tidigare testmätningar (Norin 2007). Dessa ligger på 15 mm på 68 %-nivån och 30 mm på 95 %-nivån i plan. I höjd ligger de på 20-25 mm på 68 %-nivån och 45 mm på 95 %-nivån. Avvikelserna i denna undersökning överensstämmer även mycket väl i både plan och höjd med de resultat som framkom i studien av Eriksson & Hedlund (2005).

6.3 Avvikelser för respektive fabrikat

Precision och noggrannhet ligger på samma nivå för alla tre fabrikat i både plan och höjd. Skillnaderna mellan de båda teknikerna är även små för alla tre fabrikat med en liten fördel för GPS (0-4 mm).

6.4 Initialiseringstid

En viktig frågeställning vid en jämförelse av initialiseringstider är hur de misslyckade mätningarna påverkar resultatet. I tabell 5.7 har punkterna A, B och C betydligt längre initialiseringstider för GPS än för GPS/GLONASS. På dessa punkter är de misslyckade mätningarna få. För punkterna D, E och F är förhållandet det omvända med kortare initialiseringstider för GPS än för GPS/GLONASS. På punkt E och F skedde många misslyckade mätningar. För att se hur dessa påverkade resultatet gjordes nya beräkningar där de ingick. Alla misslyckade mätningar tilldelades initialiseringstiden 180 sekunder. Därefter beräknades genomsnittstiderna för de olika punkterna (se tabell 6.1). Då är initialiseringstiderna längre för GPS på alla punkterna utom C.

Tabell 6.1: Redovisning av genomsnittstiderna (sekunder) med misslyckade mätningar inkluderade.

Typ av teknik	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E	Punkt F	Alla punkter
GPS/GLONASS	11	14	34	26	41	77	40
GPS	23	33	21	39	54	105	54

En tidigare studie (Jämtnäs & Ahlm 2005) har visat att initialiseringstider över 60 sekunder resulterade i sämre noggrannhet (studien utfördes med enbart GPS). Detta examensarbete verifierar detta resultat i avseende på mätningarna med GPS för både plan- och höjdnoggrannhet (se tabell 6.2 och 6.3). Överraskande nog uppvisar inte GPS/GLONASS denna skillnad, där det till och med är så att noggrannheten i höjd blir något bättre med långa initialiseringstider. Beräkningarna gjordes på de mätningar vars initialiseringstid översteg 60 sekunder och jämfördes med motsvarande antal med kortast tider.

Tabell 6.2: Kvalitetsvärden (mm) i plan för mätningarna med de kortaste respektive längsta initialiseringstiderna.

Kvalitets- termer	GPS		GPS/GLONASS	
	Korta	Långa	Korta	Långa
Precision	11	17	16	17
Noggrannhet	11	17	16	18
Medelavvikelse	0	2	2	7

Tabell 6.3: Kvalitetsvärden (mm) i höjd för mätningarna med de kortaste respektive längsta initialiseringstiderna.

Kvalitets- termer	GPS		GPS/GLONASS	
	Korta	Långa	Korta	Långa
Precision	17	27	22	18
Noggrannhet	17	28	22	19
Medelavvikelse	0	10	-2	8

Sammanfattningsvis bidrar GLONASS till kortare initialiseringstider. Detta är också i överensstämmelse med resultaten från Eriksson & Hedlund (2005). Att initialiseringstiderna blev något längre i vår studie jämfört med Eriksson & Hedlund beror troligen på att mätningarna utfördes i en mer störd miljö.

6.5 Satellittillgång

Under mätningarna med enbart GPS har tillgången på GPS-satelliter varierat mellan 4 och 12 med ett genomsnitt på 7,8. Vid mätningarna med GPS/GLONASS var tillgången mellan 6 och 15 satelliter totalt, med ett genomsnitt på 10,9. Som mest fanns 5 GLONASS-satelliter och vid 96 % av mätningarna var de fler än 2 GLONASS-satelliter.

6.6 Kommunikation

Vid mätningarna med Leica och Topcon noterades åldern på RTK-data (RTK-ålder) och radiolänkens kvalitet. Trimble saknade denna möjlighet.

RTK-åldern för Leica låg vid majoriteten av mätningarna på 1 sekund och radiolänkens kvalitet varierade mellan 70 och 80 %. Vid två mätserier (en serie för varje teknik) på punkt E varierade RTK-åldern mellan 1 och 14. Radiolänkens kvalitet pendlade mellan 8 och 81 %. Dessa två mätseriers avvikelser blev mycket stora och plockades därför bort från beräkningarna. Det är dessa mätningar som tillsammans med några enstaka "Outliers" kallas "Borttagna" i tabellerna 5.1 och 5.2.

Under en av mätdagarna (13 februari 2007) fick mätningarna avbrytas under några timmar då uppkoppling mot Internet misslyckades. Vid tidigare studie (Jämtnäs & Ahlm 2005) i samma område uppstod stora problem med GPRS-överföringen. Detta problem förekom på en endast en av mätdagarna i denna studie, vilket tyder på att Telia förbättrat GPRS-funktionaliteten i området.

6.7 Merkostnader för GPS/GLONASS

Vid inköp av utrustning blir den kombinerade GPS/GLONASS-mottagaren cirka 15 % dyrare (15-20.000:-) än mottagare med enbart GPS.

Abonnemangsavgiften för SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst ligger på 15.000:-/anslutning och år för GPS. För GPS/GLONASS ligger den på 20.000:-/anslutning och år (SWEPOS 2007).

7 Slutsatser

De extra GLONASS-satelliterna tillför en klar fördel när det gäller möjligheten att mäta i störda miljöer. När det gäller initialiseringstid så är dessa kortare för GPS/GLONASS. GLONASS-satelliterna ger ingen förbättring av positionsnoggrannheten. Tvärtom får GPS något bättre kvalitetstal i både plan och höjd (1-3 mm bättre). Det är speciellt för de mätningar som har korta initialiseringstider som GPS uppvisar bättre noggrannhet. Den försämring av noggrannheten som GPS uppvisar för mätningar med långa initialiseringstider finns inte hos GPS/GLONASS. Där är det till och med så att noggrannheten i höjd blir något bättre med långa initialiseringstider än med korta initialiseringstider.

För de olika fabrikaten konstateras att precision och noggrannhet är av samma storlek i både plan och höjd för alla tre märken. Leica är det fabrikat som har flest antal lyckade mätningar.

Den stora praktiska nyttan i fält med de extra GLONASS-satelliterna är att arbetet inte behöver anpassas efter satellitprediktionerna eftersom det finns tillräckligt med satelliter dygnet runt (se bilaga II). Detta förutsätter naturligtvis att mätningarna inte sker i alltför störda miljöer. När Galileo och eventuellt COMPASS blir operativt kommer mätning att möjliggöras på platser som i dagsläget är omöjliga, exempelvis i stadskärnor med tät och hög bebyggelse. Framtiden ser ljus ut för positionering med GNSS.

8 Referenser

- Engfeldt A., Jivall L. (2003): *Så fungerar GNSS*. LMV-rapport 2003:10, Gävle.
- Eriksson M., Hedlund G. (2005): *Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS*. LMV-rapport 2005:8, Gävle.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (2001): *GPS Theory and Practice*. Springer-Verlag, Wien, New York.
- Inside GNSS (2006): *Compass – And China's GNSS Makes Four*. Inside GNSS November/December 2006, s. 14.
- Jonsson B., Hedling G., Jämtnäs L., Wiklund P. (2006): *SWEPOS positioning services – status, applications and experiences*. FIG, XXIII International Congress, 8-13 oktober 2006, Proceedings, München, Tyskland.
- Jämtnäs L., Ahlm L. (2005): *Fältstudie av Internetdistribuerad Nätverks-RTK*. LMV-rapport 2005:4, Gävle.
- Kjørsvik N. (2002): *Assessing the Multi-Base Station GPS Solutions*. FIG XXII International Congress, 19-26 april 2002, Washington D.C. USA.
- Lantmäteriverket (1996): *HMK-Geodesi: Stommätning*, Lantmäteriverket, Gävle.
- Leick A. (1995): *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons, New York.
- Matthis S. (2006): *GLONASS tar igen försprånget*. Nordisk Geomatik, nr 2/2006, s. 30-31.
- Nilsson P. (2006): *Studie av beroendet i samhället av satellitnavigations-system*. Krisberedskapsmyndigheten, 0173/2005.

Internetkällor:

- ESA (2007): <http://www.esa.int>, hämtat mars 2007
- NGA (2007): <http://www.nga.mil>, hämtat mars 2007
- Russian Space Agency (2007): <http://www.glonass-ianc.rsa.ru>, hämtat mars 2007
- SWEPOS (2007): <http://www.swepos.com>, hämtat mars 2007
- U.S. Coast Guard (2007): <http://www.navcen.uscg.gov>, hämtat mars 2007

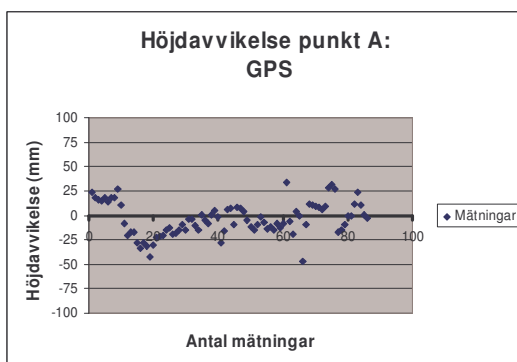
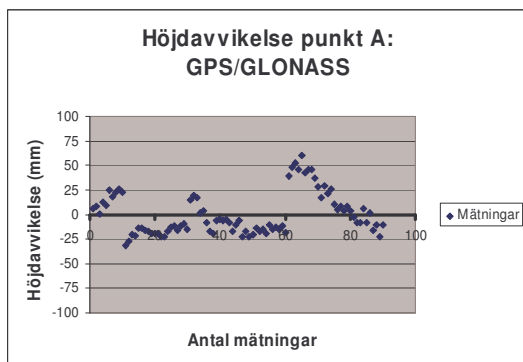
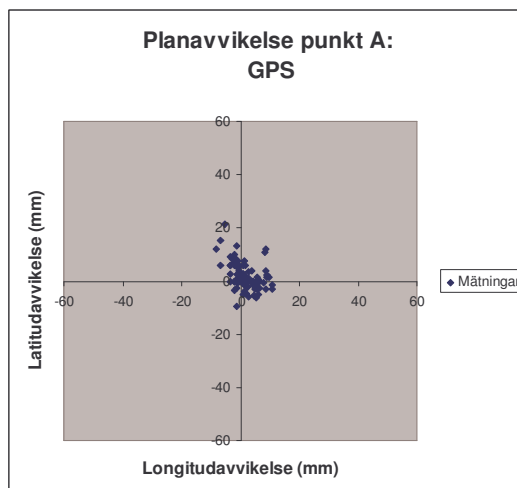
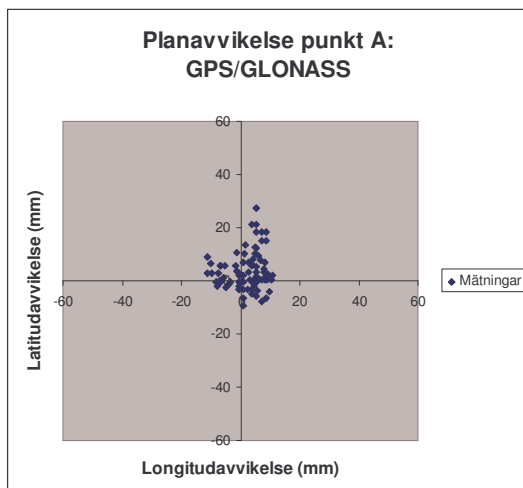
Muntliga källor:

- Berner C. (2007): 2007-03-13, GNSS-seminarium 2007, Gävle.
- Löf A. (2007): 2007-03-20, Lantmäteriet, Gävle.
- Norin D. (2007): 2007-03-01, Lantmäteriet, Gävle.

Bilaga I

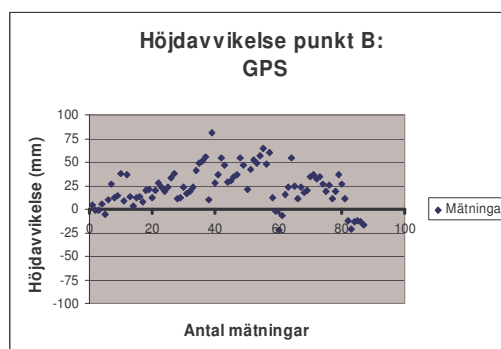
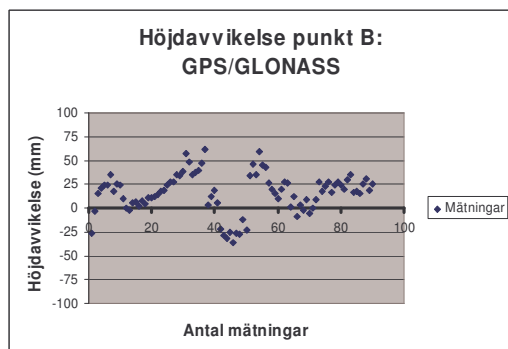
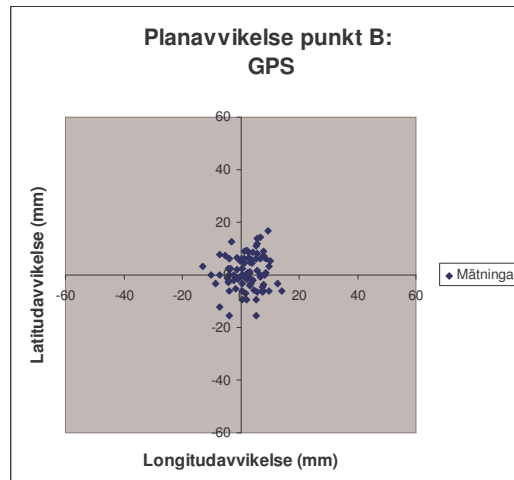
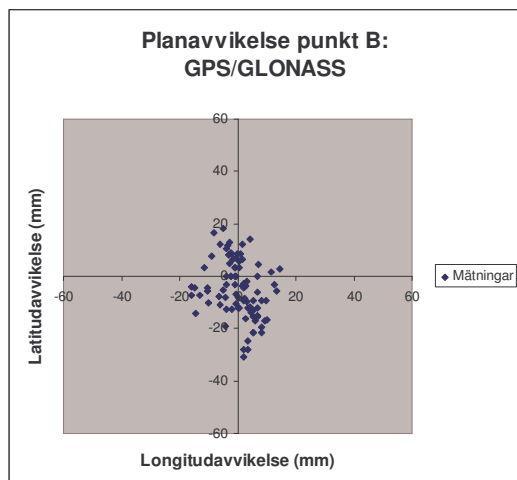
Spridningsdiagram och kvalitetstal i plan och höjd.

Punkt A



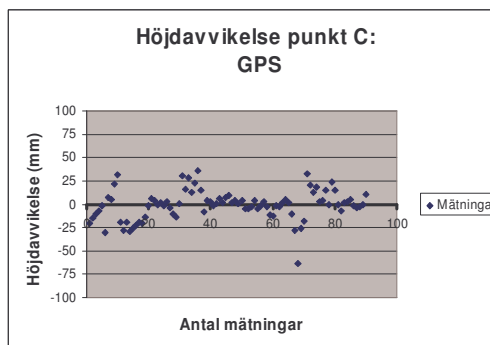
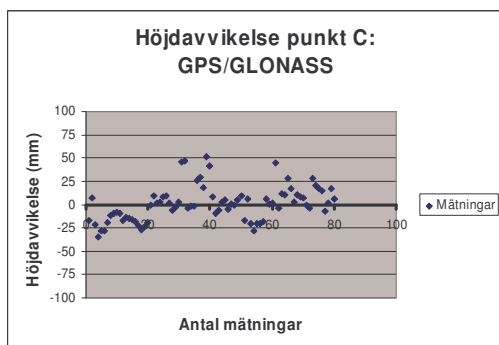
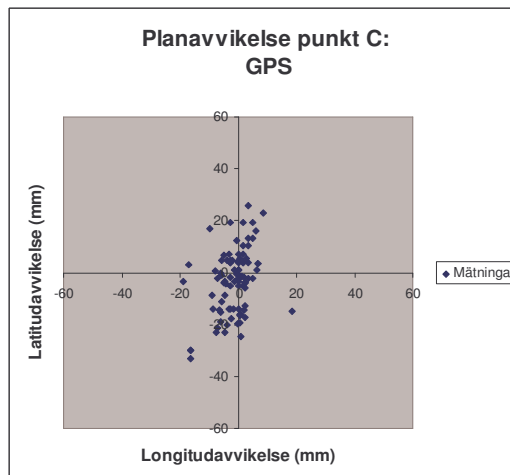
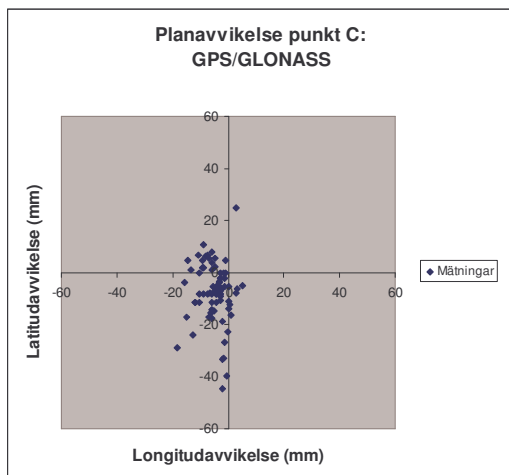
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	7	6	9	21
	GPS	5	4	7	17
Noggrannhet	GPS/GLONASS	8	6	10	21
	GPS	6	4	7	17
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	4	2	4	0
	GPS	2	2	3	-4

Punkt B



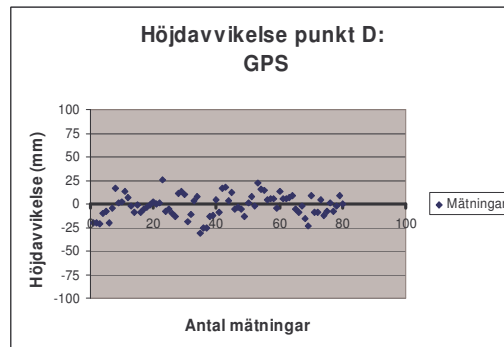
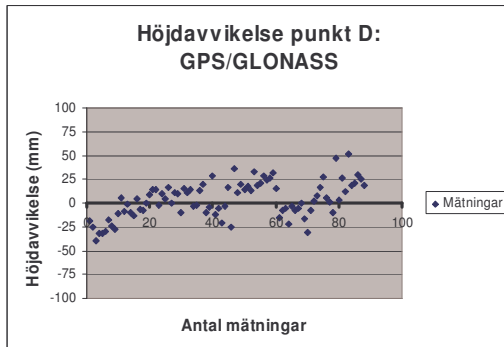
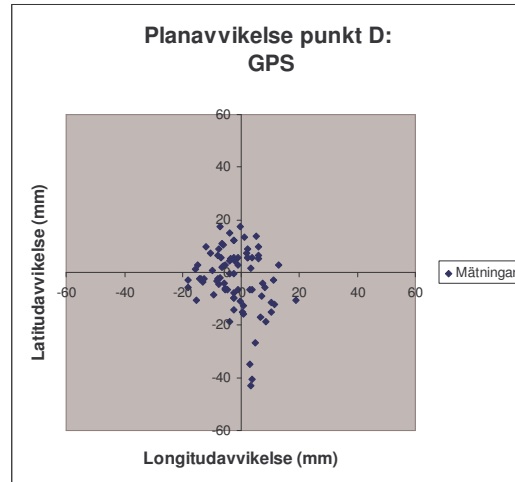
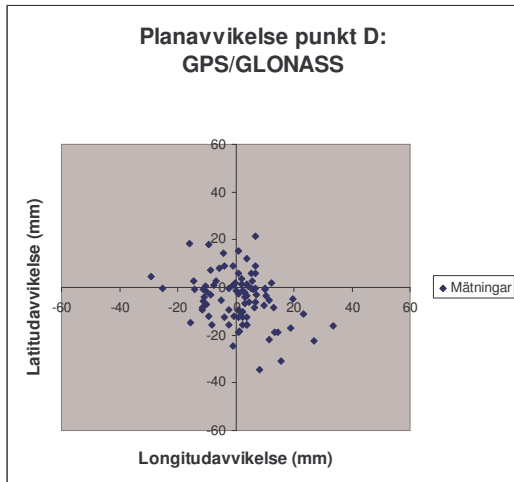
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	11	7	13	21
	GPS	6	5	8	21
Noggrannhet	GPS/GLONASS	12	7	14	26
	GPS	7	6	9	31
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	-5	0	5	13
	GPS	1	2	2	23

Punkt C



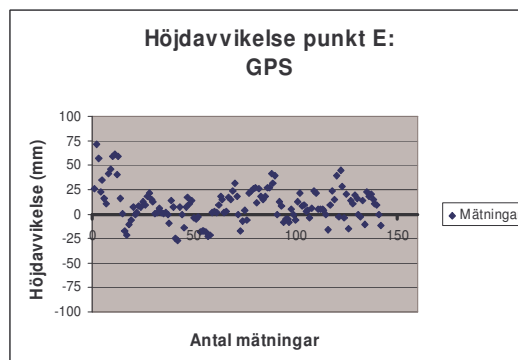
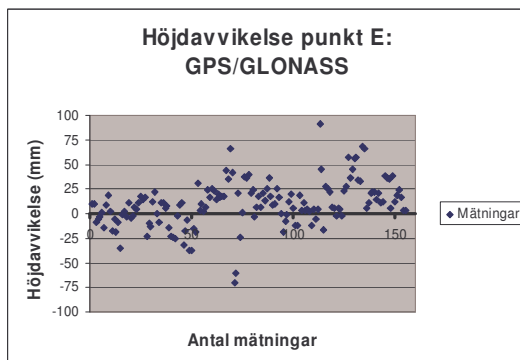
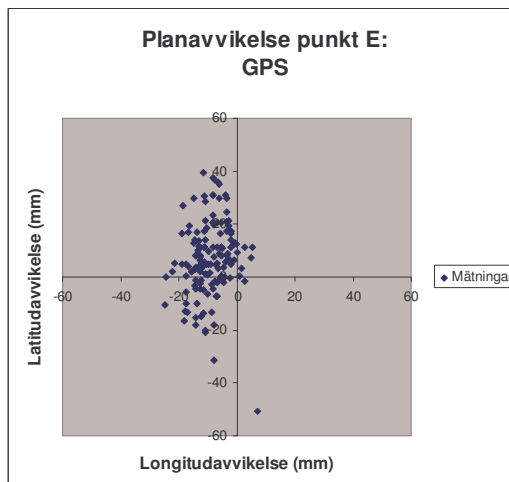
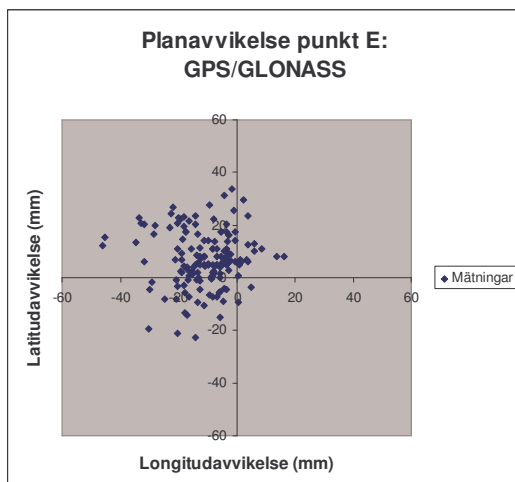
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	11	5	12	19
	GPS	12	6	14	16
Noggrannhet	GPS/GLONASS	13	7	15	18
	GPS	13	6	14	16
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	-8	-5	9	1
	GPS	-3	-2	4	-1

Punkt D



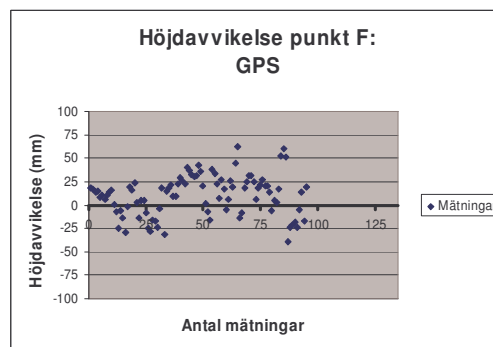
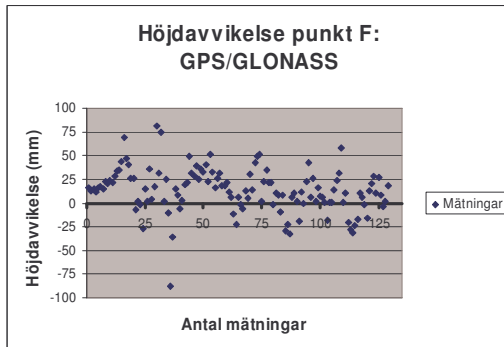
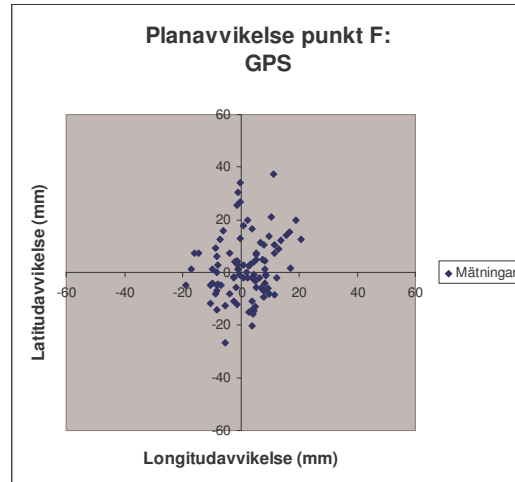
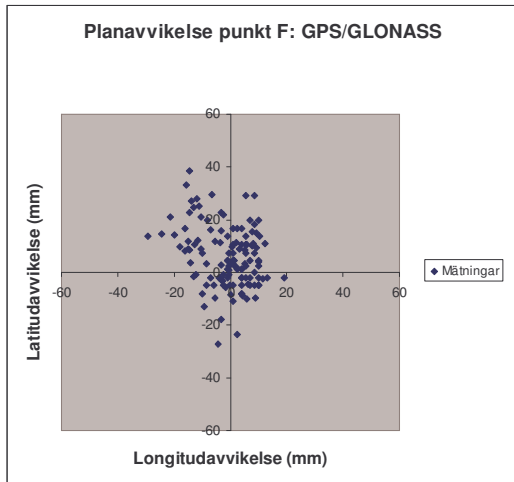
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	11	10	15	19
	GPS	12	8	14	12
Noggrannhet	GPS/GLONASS	11	10	15	19
	GPS	12	8	14	12
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	-5	1	5	4
	GPS	-2	-2	3	-2

Punkt E



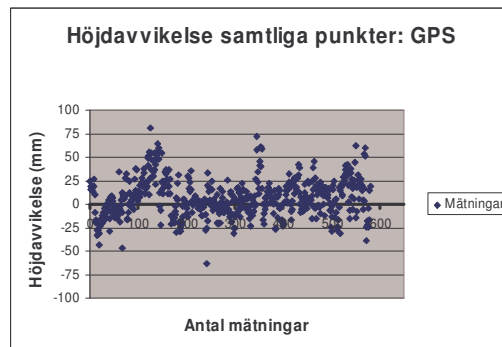
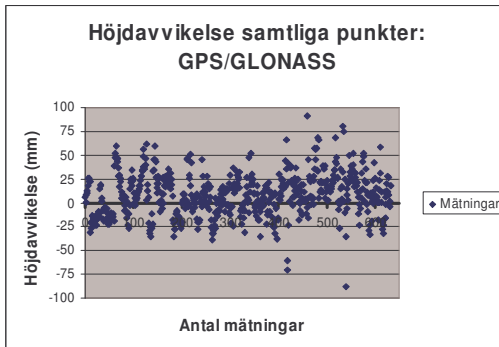
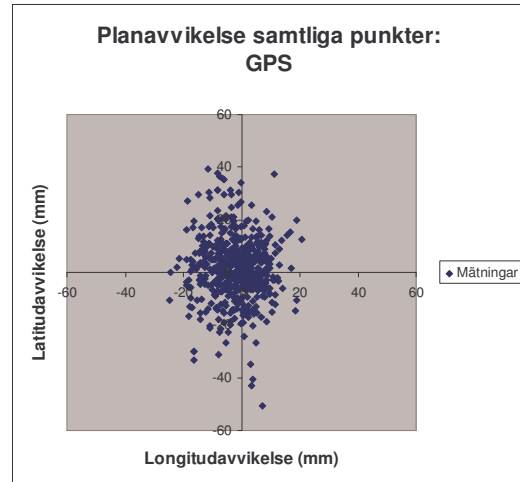
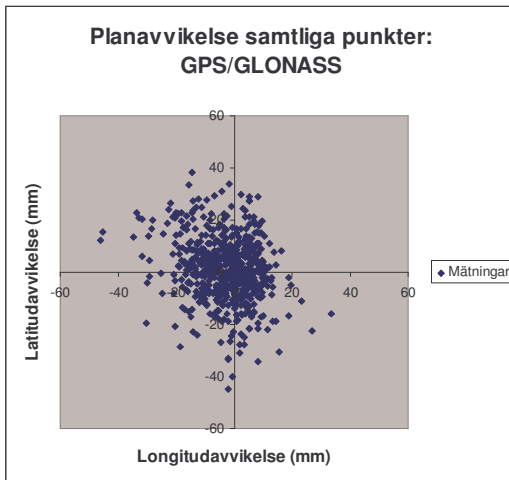
Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	10	10	14	23
	GPS	14	6	15	18
Noggrannhet	GPS/GLONASS	13	15	19	25
	GPS	16	11	19	21
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	7	-11	13	10
	GPS	7	-9	12	10

Punkt F



Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	11	9	14	23
	GPS	12	8	14	21
Noggrannhet	GPS/GLONASS	13	9	16	27
	GPS	12	8	14	24
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	6	-1	6	13
	GPS	2	2	3	10




























Samtliga punkter



























































Kvalitets- termer	Typ av teknik	Latitud	Longitud	Radiellt	Höjd
Precision	GPS/GLONASS	12	10	15	22
	GPS	12	8	14	20
Noggrannhet	GPS/GLONASS	12	10	16	24
	GPS	12	8	14	21
Medelavvikelse	GPS/GLONASS	1	-3	3	8
	GPS	2	-2	3	7

Bilaga II

Satellitprediktioner, hämtade från www.swepos.com 2007-03-13.

Tid	GPS 	PDOP
09:00	 10	 1.8
09:30	 9	 2.2
10:00	 8	 1.8
10:30	 5	 4.7
11:00	 5	 3.7
11:30	 7	 2.2
12:00	 7	 2.6
12:30	 8	 2.2
13:00	 7	 2.3
13:30	 7	 2.1
14:00	 5	 20.6
14:30	 7	 2.0
15:00	 7	 2.5

Tid	GLONASS 	PDOP
09:00	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
09:30	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
10:00	 2	för få satelliter för att beräkna pdop
10:30	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
11:00	 4	 4.0
11:30	 4	 4.0
12:00	 4	 5.0
12:30	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
13:00	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
13:30	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
14:00	 3	för få satelliter för att beräkna pdop
14:30	 2	för få satelliter för att beräkna pdop
15:00	 3	för få satelliter för att beräkna pdop

Tid	GPS  GLONASS 	PDOP
09:00	  14 (11/3)	 1.5
09:30	  13 (10/3)	 1.7
10:00	  11 (9/2)	 1.7
10:30	  9 (6/3)	 2.7
11:00	  9 (5/4)	 1.9
11:30	  11 (7/4)	 1.7
12:00	  11 (7/4)	 1.9
12:30	  11 (8/3)	 1.6
13:00	  10 (7/3)	 1.8
13:30	  10 (7/3)	 1.8
14:00	  8 (5/3)	 2.5
14:30	  9 (7/2)	 1.8
15:00	  10 (7/3)	 2.0

Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 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 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 höjddmodell laserskanning, Testprojekt Falun.
- 2006:4 Klang Dan: KRIS-GIS® projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdd modeller.
- 2006:5 von Malmborg Helena: Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS.
- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.

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.