

Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS

Examensarbete av
Merja Eriksson & Gunilla Hedlund

Gävle 2005

LANTMÄTERIET





Copyright ©

2005-12-16

Författare Merja Eriksson & Gunilla Hedlund

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 68

LMV-rapport 2005:8 – ISSN 280-5731

Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS

Examensarbete av
Merja Eriksson & Gunilla Hedlund

Gävle 2005

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Detta examensarbete påbörjades efter samtal och planering med Bo Jonsson, chef för SWEPOS, och Christina Kempe som arbetar för SWEPOS utveckling och driftcentral. Båda är verksamma på divisionen för Informationsförsörjning och enheten för Geodetisk utveckling vid Lantmäteriet i Gävle. Christina Kempe, vår handledare, är framför allt den som väglett och stöttat oss när frågor och motgångar dykt upp. Vi fick låna instrument och utrustning av Topcon, där Frederick Somerville gav oss teknisk support gällande instrument- och viss datahantering. HTU i Trollhättan lånade också ut vissa instrument och utrustning där Eva Eriksson var oss behjälplig. Vår examinator Gunnar Starke har varit ett gott stöd under hela tiden.

Ett stort tack till Er alla!

Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS

Förord	5
1. Sammanfattning	11
2. Summary	12
3. Inledning	13
3.1 Bakgrund	13
3.2 Syfte och mål	13
4 Satellitpositioneringssystem	14
4.1 GPS	14
4.2 GLONASS	15
4.3 GALILEO	16
5 Mätmetoder	17
5.1 Att bestämma avstånd mellan satellit och mottagare	17
5.1.1 Kodmätning	17
5.1.2 Bärvägsmätning	17
5.2 Positionsbestämningsmetoder	18
5.2.1 Absolut mätning	18
5.2.2 Relativ mätning	18
6 Nätverks-RTK	19
6.1 SWEPOS®	19
6.2 Nätverks-RTK	19
6.2.1 Tekniken	20

7	Felkällor och andra faktorer som påverkar resultatet	21
7.1	Atmosfärspåverkan	21
7.1.1	Jonosfärsfel	21
7.1.2	Troposfärsfel	21
7.2	Klockfel	21
7.2.1	Klockfel i satelliten	22
7.2.2	Klockfel i mottagaren	22
7.3	Inexakta banddata	22
7.4	Flervägsfel	22
7.5	Satellitillgänglighet	23
7.6	Satellitkonfiguration och signalkvalitet	23
7.7	Sikthinder	24
8	Metod för och genomförande av testet	25
8.1	Lokalisering av testpunkter	25
8.1.1	Punktdiagram	26
8.2	Mätstrategi	27
8.3	Utrustning	27
8.3.1	Statiska mätningarna	27
8.3.2	Testmätningarna	27
8.4	Genomförande av statistiska mätningar och beräkningar	28
8.4.1	Kontroll och databehandling av resultatet	29
8.5	Genomförande av testmätningarna	29
8.5.1	Databehandling av resultatet	30
9	Resultat	31
9.1	Kvalitetstermer	31
9.1.1	Noggrannhet	31
9.1.2	Precision	31
9.1.3	Medelavvikelse	31
9.1.4	Sigmanivå	32
9.2	Resultat i position för alla mätningar	32
9.3	Resultat i plan med avseende på antal satelliter	34
9.4	Resultat i höjd med avseende på antal satelliter	35
9.5	Initialiseringstid i sekunder	35
9.6	Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter	36

10	Diskussion	37
10.1	Slutsats	39
	Referenser	40
	Bilagor	
A -	Resultat i plan för varje enskild punkt	41
B -	Resultat i höjd för varje enskild punkt	44
C -	Planavvikelse i förhållande till antal satelliter	47
D -	Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter	49
E -	Initialiseringstider för varje enskild punkt	51
F -	Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter	54
G -	Satellitprognoser för varje punkt	56
H -	Punktklusterdiagram	59
I -	SWEPOS beräkning av statistiska mätningar	61

Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS

1. Sammanfattning

GLONASS, det ryska satellitsystemet, dominerar inte marknaden som det amerikanska satellitsystemet GPS. Men önskemål har kommit från vissa användare av SWEPOS® Nätverks-RTK-tjänst om att få korrekationer för GLONASS-systemets satelliter. Av den orsaken gjordes detta examensarbete, som med nätverks-RTK-positionering jämfört GPS med GPS/GLONASS. De faktorer som jämförts är positionsnoggrannhet och initialiseringstid.

För att genomföra simultana mätningar krävdes tillgång till minst fem GPS-satelliter. Av de sex testpunkter som mätningarna utfördes på hade två inget sikthinder, de övriga fyra hade sikthinder i form av hus eller träd med olika elevationsvinkel framförallt i söder. Punkternas "sanna" position bestämdes genom statisk bärvågsmätning och beräknades genom efterberäkning mot ett nätverk av SWEPOS referensstationer i referenssystemet SWEREF 99.

Testmätningarna gjordes i sex mätserie à 10 mätningar på varje punkt. För att satellitkonstellationen skulle variera utfördes mätningarna på olika dagar och skilda tider.

Resultatet av alla testmätningar totalt, visade inga väsentliga skillnader i plannoggrannhet mellan GPS och GPS/GLONASS. De mycket små skillnaderna som syntes i höjdnoggrannhet var till fördel för GPS. Däremot fanns en viss skillnad i initialiseringstid, där GPS/GLONASS hade kortare tider än GPS i ca 11 % av mätningarna. Dessa initialiseringstider låg 4-80 sekunder lägre.

Resultaten för varje enskild punkt visade sig i vissa fall vara till fördel för GPS, och i andra fall för GPS/GLONASS.

Slutsatsen av denna jämförelse blev att de extra GLONASS-satelliterna generellt inte ökade positionsnoggrannheten, men däremot minskade tiden för initialisering. Med andra förutsättningar, där många GPS-satelliter slås ut p g a betydande sikthinder, skulle man tänka sig att GLONASS-satelliterna spelar en avgörande roll för att en mätning skall kunna genomföras. Vår jämförelse förutsatte att 5 GPS-satelliter alltid skulle finnas tillgängliga, vilket inte tillät de tuffare sikthinder som troligtvis skulle ha gjort att GLONASS hävdade sig bättre.

2. Summary

The Russian satellite system GLONASS does not dominate the market as the American satellite system GPS does. However, certain users of the SWEPOS® Network RTK service have requested corrections for the GLONASS satellite system. That is the reason behind this degree project, which with network RTK positioning compares GPS and GPS/GLONASS. The factors that have been evaluated are positioning accuracy and initialisation time.

For carrying out simultaneous measurements at least five GPS satellites were needed. Two of the six test points where measurements were being performed had no visibility obstructions. The remaining four had visibility obstructions in form of houses and trees with different elevation angles, particularly in the south. The “true” position of the points were determined by static carrier wave measurement and calculated by post-processing against a network of SWEPOS stations in the reference system SWEREF 99.

The test measurements were conducted in six series of ten measurements each, at every point. To make sure the satellite constellation varied the measurements were made on different days and on various times.

The total result of all measurements did not show any considerable differences in horizontal accuracy between GPS and GPS/GLONASS. The very small differences in vertical accuracy that occurred favoured GPS. On the other hand there was some difference in initialisation time, as the initialisation time of GPS/GLONASS was shorter for 11% of the measurements. These initialisation times were 4-80 seconds shorter.

The results of each individual point were sometimes in favour of GPS, and other times of GPS/GLONASS.

The conclusion of this comparison was that the added GLONASS satellites did not increase the positioning accuracy generally. On the other hand the initialisation times were shortened. Under other conditions where many GPS satellites may be out of visibility, due to considerable obstruction of vision, one could suppose that the GLONASS satellites would play an important role in carrying out measurements at such a place. Our comparison assumed that five GPS satellites were available at all times, which did not allow for more visibility obstructions that most likely would have let GLONASS claim its position.

3. Inledning

3.1 Bakgrund

SWEPOS levererar idag en nätverks-RTK-tjänst med korrektioner för GPS-systemets satelliter. Eftersom det från en del användare inkommit önskemål om att även få korrektioner för GLONASS-systemets satelliter, levererar SWEPOS under en testperiod (1 april - 30 juni, 2005) korrektioner även för GPS/GLONASS i nätverks-RTK-tjänsten. Detta test görs över ett begränsat område (se figur avsnitt 6.1), för att besvara frågan om SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst skall tillhandahålla korrektioner för GLONASS. Detta examensarbete är en del av testet och utförs på uppdrag av Lantmäteriet i Gävle.

3.2 Syfte och mål

Syftet är att jämföra GPS-positionering med GPS/GLONASS-positionering, och målet är att bidra till att besvara frågorna:

- ◆ Kan GLONASS, som det ser ut idag, förbättra nätverks-RTK-mätning när det gäller sikthinder, snabbare initialisering och högre positionsnoggrannhet?
- ◆ I så fall - hur mycket?

4 Satellitpositioneringssystem

Utvecklingen på satellitpositioneringens område har varit både snabb och betydande. För närvarande finns det två olika satellitpositioneringssystem - det amerikanska GPS som dominerar marknaden och det ryska GLONASS. Det europeiska systemet GALILEO är under utveckling.

I avsnitten nedan kommer dessa tre satellitsystem att beskrivas. Global Navigation Satellite Systems, GNSS, är ett samlingsnamn för samtliga satellitpositioneringssystem.

4.1 GPS

GPS-systemet är uppbyggt av och förvaltas av det amerikanska försvaret. Uppbyggnaden startade 1973 men först 1993 blev systemet operationellt för civilt bruk. Idag används GPS till största delen i civila tillämpningar och dessutom är användningen helt gratis.

Systemet består av 30 satelliter (feb-2005) som kretsar runt jorden i sex olika banplan. Satelliterna befinner sig 20200 km ovanför jordytan och har en omloppstid på 11h 57,97 min. Omloppstiden medför att satellitkonstellationen återupprepas cirka 4 minuter tidigare varje nytt dygn. Inklinationen för GPS, d v s den latitud vid vilken satelliterna vänder, är 55 grader. Latitud 55 grader motsvarar ungefär Bornholms sydspets. Referenssystem som används för GPS-mätningar är WGS84 (World Geodetic System 1984). GPS-satellitens livslängd är specificerad till 7,5-10 år, men den reella livslängden är avsevärt längre.

Kontroll och styrning av satelliterna sker genom fem monitorstationer, till största delen utplacerade längs ekvatorn, även kallat kontrollsegmentet. Monitorstationerna står i ständig kontakt med satelliterna och registrerar signaler från alla satelliter som befinner sig ovanför respektive stations horisont. Kontrollsegmentets uppgift är att övervaka satelliterna, bestämma satelliternas ban- och klockparametrar, ladda upp data till satelliterna samt flytta på satelliterna när så behövs. Alla data från monitorstationerna skickas vidare till driftledningscentralen i Colorado Springs, där beräkning av rådande och framtida ban- och klockparametrar görs. Dessa skickas sedan till satelliterna från någon av monitorstationerna.

GPS-systemet är globalt täckande, vilket i princip innebär att det från varje punkt på jordytan dygnet runt finns minst 4 satelliter tillgängliga och därmed möjlighet till positionsbestämning. Satellitsignalen som sänds ut på olika frekvenser innehåller också ett satellitmeddelande med information om bl a satellitens position och satellitklockans korrektion. På L1-frekvensen sänds både s k C/A-kod (Coarse/Acquisition) och P (Y)-kod (Precision), medan L2-frekvensen endast

innehåller P-kod. P-koden är krypterad till Y-kod och är disponibel endast för licensierade användare medan C/ A-koden är tillgänglig för civila användare. Tillverkare av civila mottagare har dock utvecklade metoder för att utföra bärvägsmätningar på L2-frekvensen utan tillgång till krypteringskoden. De satelliter som skjuts upp från och med hösten 2005 är försedda med civil kod på L2-signalen, benämnd L2C. Fördelarna med L2C jämfört med civila användares nuvarande tillgång till L2 är förbättrat signal-brus-förhållande, minskad risk för periodbortfall och förbättrad signalmottagning, särskilt vid svaga signaler. Detta innebär bättre prestanda för användaren i mätsituationer med sikthinder eller andra störningar. Ytterligare en civil signal, L5, kommer att introduceras på de satelliter som skjuts upp från och med 2007. L5 kommer att sändas på ett bredare frekvensband vilket innebär mindre känslighet för interferens vid mätning på flera frekvenser. En ökad tillförlitlighet kommer att erbjuda många tillämpningar inom "safety-of-life" (SoL). L2C och L5 bedöms vara tillämpade på huvuddelen av GPS-satelliterna kring 2015. [<http://swepos.lmv.lm.se/natverksrtek/swepref41021mi.pdf>]

L1	19 cm 1575,42 MHz	C/ A-kod 300 m	P(Y)-kod 30 m
L2	24 cm 1227,60 MHz		P(Y)-kod 30 m
L2C	24 cm 1227,60 MHz	C/ A-kod 300 m	
L5	25,5 cm 1176,45 MHz	kod	

Satellitmeddelande

Figur 4.1

4.2 GLONASS

GLONASS startade 1983. Det byggdes upp av det ryska försvaret, som också förvaltar systemet. GLONASS är tillgängligt både för civilt och militärt bruk.

Tanken var att systemet skulle bestå av 24 satelliter, men så har endast varit fallet under en kortare tid år 1996. Den ryska regeringen har antagit en moderniseringsplan för att påskynda GLONASS utveckling. Målsättningen är att öka satelliternas prestanda och livslängd men också att öka dess antal till 18 stycken år 2008, och till 24 stycken år 2010-2011. För närvarande består GLONASS av 10-12 satelliter (feb-2005), som kretsar runt jorden i tre olika banplan. Satelliterna befinner sig 19100 km ovanför jordytan och har en om-

loppstid av 11h 15,73 min. Omloppstiden medför att satellitkonstellationen återupprepas ca 1,5 timme tidigare varje nytt dygn. Medellivslängden för en GLONASS-satellit är 4,5 år. Inga användaravgifter tas ut.

Inklinationen för GLONASS är 64,8 grader, vilket innebär att satellitens bana når sin nordligaste punkt i höjd med Skellefteå. Ett fullt utbyggt och fungerande GLONASS-system medför alltså en bättre täckning vid höga latituder än GPS, där inklinationen är 55 grader. Referenssystem som används är PZ-90, som motsvarar WGS84. Vid användning av mottagare som tar emot både GPS- och GLONASS-signaler fås positionen i WGS84 och GPS-tid. Mottagarens programvara korrigerar för skillnad i tid och referenssystem mellan GPS och GLONASS.

GLONASS styrs av monitorstationer som finns inom det forna Sovjetunionens territorium. Ett problem detta medför är att det kan dröja flera timmar innan felaktiga satelliter kan upptäckas och åtgärdas.

Signalen för GLONASS liknar, med vissa skillnader den för GPS. De koder som sänds är C/A- och P-kod (okrypterad), där båda koderna finns på L1-frekvensen. På L2-frekvensen finns endast P-koden, medan C/A-koden sänds från en nyare generation satelliter, GLONASS-M (den första uppskjuten 2004). I början hade alla satelliter samma identitet (koder), men unika frekvenser. Men idag delar en satellit frekvens med den satellit som befinner sig på motsatt sida om jorden. Liksom för GPS ingår också ett satellitmeddelande i satellit-signalen. [http://www.glonass-center.ru/csic_e.html], [Engfeldt A, Jivall L, 2003]

L1 1602+n*0,5625 MHz	C/A - kod	P - kod
L2 1246+n*0,4375 MHz	C/A - kod på GLONASS-M	P - kod

n = frekvensens kanalnummer (n = 0,1,2,...)

Satellitmeddelande

Figur 4.2

4.3 GALILEO

GALILEO är ett europeiskt satellitsystem under uppbyggnad som beräknas tas i drift år 2010. Systemet skall vara för civilt bruk och helt kompatibelt med satellitsystemen GPS och GLONASS. Ägare till systemet är EU (Europeiska Unionen) och ESA (European Space Agency). Syftet med GALILEO är att av strategiska och ekonomiska skäl minska EU:s beroende av GPS-systemet.

5 Mätmetoder

Positionsbestämning med hjälp av satelliter kan göras enligt flera olika metoder. Val av metod styrs av faktorer som rådande mätförhållanden och önskad mätnoggrannhet. En position kan bestämmas antingen i realtid eller genom beräkning i efterhand.

Alla mätmetoder bygger på antingen absolut eller relativ bestämning, men sedan finns det två olika tekniker för avståndsbestämningen mellan satellit och mottagare, kod- respektive bärvågsmätning. Nedan följer en kortfattad beskrivning av dessa olika metoder.

5.1 Att bestämma avstånd mellan satellit och mottagare

5.1.1 Kodmätning

Kodmätning är det enklaste och snabbaste sättet att bestämma avstånd mellan satellit och mottagare. Mätning sker på satellitsignalens C/A- eller P-kod. Principen för kodmätning är att mottagaren skapar en kopia av den signal som skickats ut från satelliten. Koden från satelliten jämförs med den som bildats i mottagaren och fördröjningen mellan koderna mäts upp med hjälp av tidsmarkeringar. Fördröjningen motsvarar den tid det tar för signalen att gå från satellit till mottagare - gångtid. Genom vetskap om gångtiden och hastigheten på signalen kan avståndet beräknas, det s k pseudoavståndet. Pseudoavståndet är det "inte sanna" avståndet eftersom det innehåller fel som beror på att mottagarklockan inte är helt synkroniserad med satellitklockan.

Förhållandevis enkla och billiga mottagare kan användas. Upplösningen i kodmätning varierar från någon decimeter till några meter, beroende av om C/A- eller P-kod används.

5.1.2 Bärvågsmätning

Vid bärvågsmätning kan en högre noggrannhet uppnås, men den ställer högre krav på mottagare och utförandet av mätningarna, men även på mätmiljön eftersom den är känslig för signalavbrott. Principen vid denna mätmetod är att i mottagaren skapas en bärvåg som har samma frekvens som satellitsignalens bärvåg, L1 eller L2 (eller båda). Den mottagna signalen, som är fasförskjuten, kombineras med den i mottagaren genererade frekvensen. När mottagaren fixerat antalet hela våglängder, d v s löst periodobekanta, bestäms även del av våglängd genom fasmätning. Vid realtidsmätning kallas denna process för initialisering. Mottagaren har efter detta en s k fixlösning, vilken kräver bibehållen låsning av satellitsignalen till mottagaren.

För att uppnå högsta noggrannhet i positionen bör en tvåfrekvensmottagare, d v s en mottagare som tar emot signaler på både L1 och L2, användas, på grund av att man då bl a har möjlighet att korrigera för jonosfärsfördröjningen. Upplösningen i fasmätningen kan uppskattas till några millimeter.

5.2 Positionsbestämningmetoder

5.2.1 Absolut mätning

Absolut mätning är den enklaste formen av mätning då endast en mottagare behövs. Mottagarpositionen bestäms direkt i förhållande till satelliterna genom en inbindning i rymden. Satellitmottagaren letar satellitsignaler och låser på signalen. Genom att veta var satelliten befinner sig, avstånd och hastighet på signalen kan en position bestämmas. För att få en tredimensionell position (longitud, latitud, höjd) behövs signaler från minst 4 satelliter. Den fjärde satelliten behövs för att lösa ut klockfelet.

Den horisontella positionsnoggrannheten för GPS och GLONASS ligger på 5-20 meter. För absolutbestämning används uteslutande kodmätning där kraven på noggrannhet inte är så höga.

5.2.2 Relativ mätning

Vid relativ mätning används minst två mottagare, där den okända positionen bestäms relativt mottagare som står på en känd position. För att bestämma en lösning krävs det kontakt med minst 4-5 satelliter som är gemensamma för de mottagare som används. Genom att flera mottagare samtidigt mäter mot samma satelliter kan mätdata jämföras och därigenom de flesta felkällor reduceras.

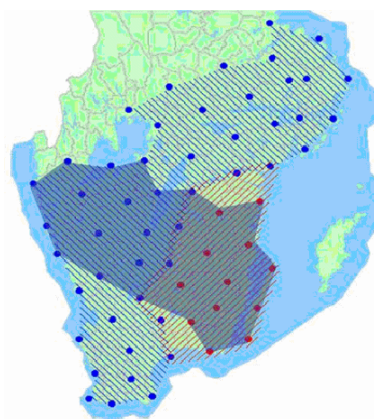
Relativ mätning kan utföras genom både kod- och bärvågsmätning och ger en betydligt högre noggrannhet än vid absolut mätning. Det finns flera former av relativ mätning men de vanligaste är DGPS (Differentiell GPS), en form av kodmätning, samt RTK (Real Time Kinematic) och statisk mätning som görs på bärvågen.

6 Nätverks-RTK

6.1 SWEPOS®

SWEPOS är ett nationellt nät av fasta referensstationer främst för GPS-mätning. Av de referensstationer som finns är 21 fullständiga och 53 förenklade. SWEPOS uppgift är att tillhandahålla satellitdata för navigering, positionsbestämning och vetenskapliga ändamål. För positionering i realtid finns SWEPOS-korrektioner tillgängliga via GSM, FM-radionätet och satellitutsändning. Positionsberäkning kan även göras i efterhand, antingen av användaren själv med efterberäkningsdata från SWEPOS Internetserver eller av SWEPOS webb-baserade beräkningstjänst. Tjänsten bestämmer koordinater för en nypunkt med hjälp av data från omkringliggande SWEPOS-stationer och utnyttjar Internet för kommunikation med användaren.

Idag finns även GPS/GLONASS-mottagare på vissa SWEPOS-stationer. Lantmäteriet har i ett tio mil brett område som sträcker sig från Smögen i väster till Oskarshamn i öster, etablerat ett testnät för nätverks-RTK-tjänsten, där SWEPOS-stationerna utrustats med mottagare som mäter mot både GPS och GPS/GLONASS.



Figur 6.1 Det mörka streckade området på bilden visar var SWEPOS GPS/GLONASS-mottagare är lokaliserade.

6.2 Nätverks-RTK

Nätverks-RTK innebär att man använder sig av flera referensstationer istället för som vid vanlig RTK-mätning en enda. Genom att utnyttja ett nät av fasta referensstationer (t ex SWEPOS) kan man beräkna en modell av felkällornas inverkan, främst troposfärs- och jonosfärskorrektioner samt banddata i det område som stationerna täcker. Den största fördelen med detta är att man kan mäta på ett betydligt längre avstånd från närmaste referensstation eftersom felet modelleras. Andra fördelar är att data är kvalitetskontrollerade, att kostnader och stöldrisk minskar eftersom bara en mottagare behövs, och att man dessutom spar tid då man inte behöver etablera nya referensstationer vid varje mättillfälle.

Utförda tester visar att man bibehåller samma noggrannhet vid nätverks-RTK som vid traditionell RTK-mätning, trots ett ganska glest nät av referensstationer. Kvaliteten blir alltså densamma för traditionell RTK-mätning med ett avstånd till referensstationen på 20 km som för nätverks-RTK och ett avstånd på upp till 70 km mellan referensstationerna.

6.2.1 Tekniken

Nätverks-RTK är en vidareutveckling av RTK-tekniken, d v s bärvågsmätning i realtid, men man använder ett nätverk av fasta referensstationer istället för en egen referensstation.

Tekniken i går korthet ut på att den rörliga GPS-mottagaren (rover) sänder ett meddelande innehållande dess position. Meddelandet sänds via GSM-länk till en nätverks-RTK-server och vid kontakt med servern tilldelas användaren en s k RTK-generator. Denna RTK-generator väljer det område användaren befinner sig i samt närmaste referensstation. Därefter kan nätverksservern, med hjälp av de sex närmaste referensstationerna och den position som skickats in, beräkna en korrektionsmodell (för avståndsberoende fel) över aktuellt område, och skapa en "virtuell" referensstation. Den "virtuella" referensstationen har fått samma position som mottagaren skickat in till nätverks-RTK-servern, och rovern uppfattar att den får korrektioner från en referensstation i dess närhet. Genom den virtuella referensstationen försöker man alltså efterlikna förhållandena som råder vid platsen och på så vis reducera de systematiska felen. Servern skickar sedan ut atmosfärskorrigerade data till rovern som därigenom får en aktuell position.

7 Felkällor och andra faktorer som påverkar resultatet

7.1 Atmosfärspåverkan

På sin väg från satellit till mottagare passerar satellitsignalen atmosfären. Atmosfären påverkar satellitsignalen så att koden fördröjs och bärvågen påskyndas. Påverkan är maximal från en satellit nära horisonten, och som minst från en satellit nära zenit. Signalens reslängd i atmosfären är alltså en viktig faktor. Atmosfärsfelen delas upp i jonosfärsfel och troposfärsfel.

7.1.1 Jonosfärsfel

Jonosfären är det första atmosfärslagret signalen passerar. Den sträcker sig från cirka 50 km till 1000 km över jordytan, och innehåller elektriskt laddade partiklar vilka påverkar signalen. TEC (Total Electron Content) anger tätheten av dessa partiklar. TEC varierar beroende på solens vinkel och aktivitet. Påverkan kan vara fem gånger större på dagen än på natten. Påverkan på signalen är frekvensberoende och kan modelleras genom mätning med tvåfrekvensmottagare som mäter på både L1- och L2-frekvensen. Jonosfären kompenseras upp till 75 % med globala jonosfärsmodeller och huvuddelen av den resterande delen kompenseras genom L1/L2-mätning.

7.1.2 Troposfärsfel

Troposfären är den del av atmosfären som befinner sig närmast jorden. För att vara exakt sträcker den sig cirka 9 km upp över polerna och 16 km upp över ekvatorn. Här finns inga elektriskt laddade partiklar som i jonosfären, men torra gaser (kvävgas, syrgas) och vattenånga orsakar ändå en förvanskning av signalen. Den torra komponenten kan lättare beräknas än den våta, och står för den största påverkan. Troposfärsfel är inte frekvensberoende och därför bryts både L1- och L2-signalerna likadant. Att göra en modell över troposfären är en använd teknik för att minska felen, och kan bli effektiv upp till 95 %. [Van Sickle 1996].

7.2 Klockfel

Två klockor är inbegripna när avståndet mellan satellit och mottagare beräknas – satellitklockan och mottagarklockan. Klockfel uppstår på grund av att klockorna i satellit och mottagare inte är synkroniserade.

7.2.1 Klockfel i satelliten

Fel i satellitklockan kan bero på att satellitklockan skiljer sig både mot officiell GPS-tid och mot övriga satelliters klockor. Satellitklockan kontrolleras och korrigeras av GPS marksegment så att den inte avviker mer än 30 nanosekunder från världstidsstandarden UTC. Felet elimineras till största delen vid differentiell mätning.

7.2.2 Klockfel i mottagaren

Mottagarens klocka har förstås sämre precision än satellitens atomur. Mottagarens klockfel beror på instabilitet i klockan (oscillatorn). Det är oscillatorn som genererar den interna signalen och ligger till grund för bärvågsmätning.

7.3 Inexakta bandata

För att kunna beräkna en GPS-mottagares position, måste de använda satelliternas position i ett visst ögonblick vara kända. Satelliterna övervakas och kontrolleras av spårstationer placerade längs ekvatorn. Dessa registrerar kontinuerligt signalerna från satelliterna, beräknar aktuella bandata och predikterar framtida bandata. Dessa banpredikteringar kan vara inexakta på grund av tekniska problem vid driften, inhomogenitet i jordens gravitationsfält, soltryck samt dragningskraft från sol och måne. Vid riktigt noggrann mätning används efterberäknade bandata.

7.4 Flervägsfel

Flervägsfel inträffar när en del av signalen först reflekterats mot släta ytor, byggnader, bilar eller vattenytor innan den når mottagaren, och därigenom får en längre gångtid än de signaler som gått "direkt" från satelliterna till mottagarantennen. Resultatet blir naturligtvis en felaktig avståndsmätning. För att minska risken för flervägsfel kan man använda antenn med jordplan (reflexplan i antennen), multipath-filter, höja elevationsmasken till mer än 15° eller undvika att placera mottagaren där reflektion kan uppstå.

7.5 Satellittillgänglighet

Vid nätverks-RTK-mätning krävs tillgång till minst 5 satelliter för initialiseringen. Därefter räcker det med 4 satelliter. Genom ett satellitprognosprogram kan man för aktuell punkt beräkna satellittillgängligheten under en tidsperiod, och därigenom se till att tillräckligt antal satelliter finns tillgängliga under mätningen. Topcons Occupation Planning är ett sådant satellitprognosprogram som beräknar tillgängliga GPS- och GLONASS-satelliter. För GPS-satelliterna går det även att göra prognoser online, t ex på <http://www.swepos.com/>.

7.6 Satellitkonfiguration och signalkvalitet

För att få en så bra position som möjligt är det viktigt med en väl utbredd satellitkonfiguration. Bästa geometri och därmed bästa resultat uppnås då satelliterna är väl spridda över himlavalvet. Vid mätning intill ett högt sikthinder, t ex ett hus, blir geometrin sämre eftersom endast satellitsignaler från ett håll kan tas emot. DOP (Dilution Of Precision) är ett mått på hur bra eller dålig satellitgeometrin är. Ju lägre DOP-värdet är, desto bättre är geometrin.

De olika DOP-värden som förekommer är:

GDOP	Geometric DOP. Innefattar de tre dimensionerna + klockfelet. Är störst av DOP-värdena.
PDOP	Position DOP. Innefattar de tre dimensionerna. Det DOP-värde som vid mätning används för att sätta en lämplig gräns för satellitgeometrin.
HDOP	Horizontal DOP
VDOP	Vertical DOP
TDOP	Time DOP eller Temporal DOP

Även signalkvaliteten har stor betydelse för hur väl positionen kan bestämmas. Ju längre väg signalen färdas genom atmosfären desto större risk för fel i beräkningen av avståndet mellan satellit och mottagare. Därför brukar man undvika att använda satelliter som går lågt över horisonten. Vanligt är att man sätter en elevationsmask på 10° vilket innebär att satelliter som står lägre än så filtreras bort.

7.7 Sikthinder

Grundläggande för satellitpositionering är fri sikt mellan satellit och mottagare vilket i praktiken kan vara svårt att helt uppnå. Sikthinder i form av skog och hus finns ju ofta i vår omgivning. Detta påverkar framförallt satellitgeometrin då satelliter i ett visst väderstreck helt kan försvinna. För GPS-satelliterna, med inklinationen 55 grader, innebär mätning i Sverige att ett sikthinder i söder kan dämpa eller helt hindra signalen att få kontakt med mottagaren. För GLONASS, med sin mer nordliga bana med inklination 64,8 grader, kan däremot satellitkontakten upprätthållas bättre trots högre sikthinder.

Signalkvaliteten påverkas olika beroende på vilken typ av sikthinder som påverkar mätningen. Lövskog med täckande kronor, hindrar signalens framkomlighet helt. Finns det dock tillgång till tillräckligt många satelliter med signaler som når fram blir positionen oftast bra. Däremot tränger signalen oftast igenom barrskog, men dämpas, vilket kan medföra ett dåligt mätresultat. Val av positionsbestämningssmetod har också betydelse eftersom bärvågsmätning är betydligt mer känslig för sikthinder i form av träd än vad kodmätning är. Sikthinder i form av hus kan minska tillgången på satelliter betydligt eftersom signalen stoppas helt vid denna typ av hinder.

8 Metod för och genomförande av testet

I examensarbetet har en jämförelse mellan satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS gjorts med nätverks-RTK, där korrektioner erhållits från närbelägna SWEPOS-stationer. Studien går ut på att jämföra positionsnoggrannhet och initialiseringstid mellan GPS och GPS/GLONASS.

Testmätningarna utfördes på punkter med koordinater som anses som sanna värden. Detta "sanna" värde har bestämts genom statistisk GPS-mätning, som pågått under minst 6 timmar per punkt. Därefter har differenser i plan och höjd mellan "sant" värde och erhållna positioner beräknats. Även kvalitetsvärden som noggrannhet, precision och medelavvikelse beräknades. För att få ett statistiskt tillförlitligt underlag har ett tillräckligt stort antal mätningar utförts på respektive punkt. Testerna avsåg också att ge information om initialiseringstid, varför detta har klockats och noterats.

Testpunkter med varierande sikthinder valdes. Variationen i sikthinder gör det möjligt att undersöka hur positionsnoggrannheten i plan och höjd påverkas av antalet satelliter och främst vad tillgången på GLONASS-satelliter tillför mätningarna. GLONASS-satelliterna med sin mer nordliga bana, står högre på himlavalvet och därmed bör kontakten med dessa satelliter upprätthållas bättre trots "höga" sikthinder. Sikthindren har legat på max 65 grader och bestått av barr- och lövträd samt huskroppar.

För att jämföra och analysera satellitpositionering mellan GPS och GPS/GLONASS användes två olika mottagare med en gemensam antenn. Kommunikationen mellan mottagarna och driftledningscentralen i Gävle skedde med GSM-länk där två olika telefonnummer användes, ett för nätverks-RTK GPS och ett för nätverks-RTK GPS/GLONASS.

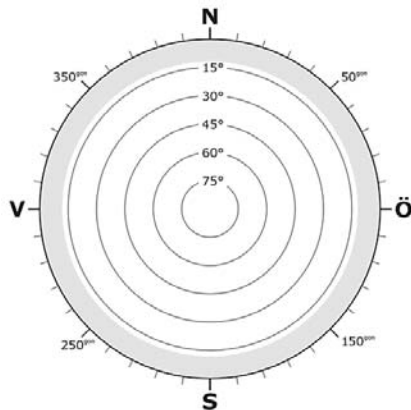
8.1 Lokalisering av testpunkter

Vid valet av de punkter som användes under testet skulle två sakna sikthinder och alltså ha optimala förhållanden för satellitmätning. Två andra punkter skulle läggas med hushinder i söder och ges olika elevationsmask från husen. Dessa hinder blev 20° och 30°, vilket i satellitprognosprogrammet bedömdes påverka GPS-satelliterna tillräckligt. Tanken var att minst fem GPS-satelliter skulle vara tillgängliga för att få fixlösning vid GPS-mätningen. Fasadbeklädnaden på husen beaktades för att minska risken för flervägsfel; både fasad och tak var av tegel. De två sista punkterna placerades med skogsskärm

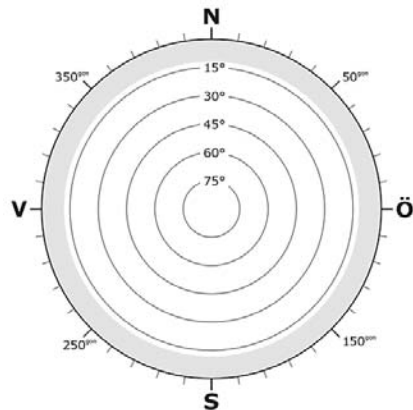
med olika elevationsvinkel i söder. Den ena skärmen dominerades av lövskog (före lövsprickning) och den andra av barrskog.

Punkterna låg väster och norr om Trollhättan, med ett inbördes avstånd på cirka en km. På punktdiagrammen som följer vill vi beskriva sikthindren för respektive punkt. Den yttre grå zonen i varje diagram representerar den elevationsmask på 12° som Topcon använder som standard vid RTK-mätning.

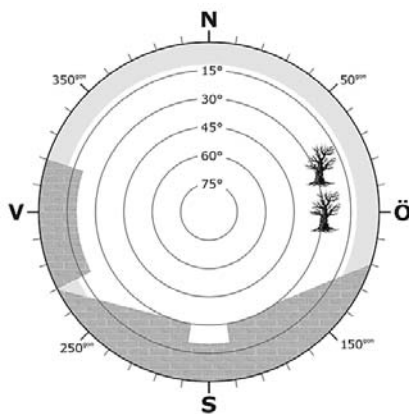
8.1.1 Punktdiagram



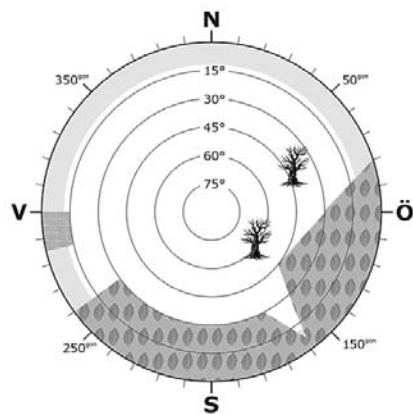
Figur 8.1.1.1 Punkt 1



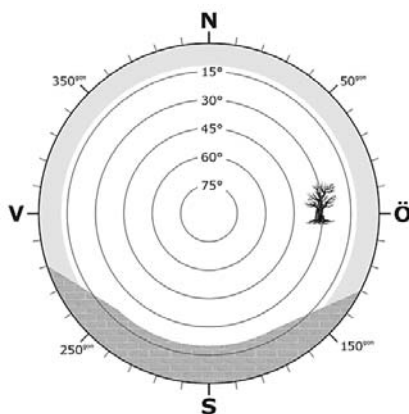
Figur 8.1.1.2 Punkt 2



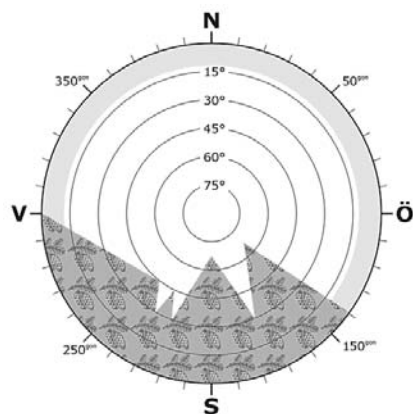
Figur 8.1.1.3 Punkt 3



Figur 8.1.1.4 Punkt 4



Figur 8.1.1.5 Punkt 5



Figur 8.1.1.6 Punkt 6

8.2 Mätstrategi

Innan testmätningarna påbörjades fastställdes testpunkternas "sanna" position genom statisk bärvågsmätning, vilka beräknades i efterhand av SWEPOS beräkningstjänst. För att bestämma en position med cm-noggrannhet krävs en loggtid på 2-3 timmar. För att få en så bra position som möjligt har de statiska mätningarna pågått minst 6 timmar per punkt.

En grundläggande förutsättning för att positionsbestämningen vid testmätningarna skall bli så jämförbar som möjligt, är att mätningarna med GPS- respektive GPS/GLONASS-mottagarna utförs samtidigt vid varje punkt.

För att undvika att införa systematiska fel i mätningarna har målet varit att besöka varje punkt på olika dagar och vid skilda tider. Dessutom var det viktigt att uppnå olika satellitkonstellation vid varje mättillfälle. GPS satellitkonstellation upprepas 4 minuter tidigare varje nytt dygn och GLONASS satellitkonstellation 1,5 timme tidigare varje nytt dygn.

8.3 Utrustning

8.3.1 Statiska mätningarna

- ◆ GPS-mottagare Leica 530
- ◆ Dorne Margoline chokeringantenn av modell Ashtech (ASH 701946.3)

En GPS-mottagare av typen Leica 530 användes för de statiska mätningarna. Mottagaren anslöts till en chokeringantenn av modell Ash- tech. De statiska mätningarna har på vissa omständigheter utförts två gånger (se 6.4). Första gången gjordes de med utrustning från Topcon (HIPer_GD med antennen TPSHIPER_GD och HIPer + med antennen TPSHIPER_PLUS), och andra gången med utrustningen ovan.

8.3.2 Testmätningarna

- ◆ GPS-mottagare: Topcon HIPer_GD
- ◆ GPS/GLONASS-mottagare: Topcon HIPer +
- ◆ Antenn: Topcon Legant 2
- ◆ GSM-modem (Wavecom)
- ◆ Sim-kort för GSM
- ◆ 2 handdatorer: Recon samt FC-100

Två mottagare från Topcon har använts under testmätningarna. HIPer_GD, för GPS satellitsignaler och HIPer + för GPS/GLONASS signaler. De båda mottagarna kopplades, med en antensplitter, till en gemensam Topcon Legant 2 antenn. Antenn och trefot monterades på ett stativ för att få en noggrann centrerings över punkten. Två handdatorer har använts och anslutits till var sin mottagare. Recon har anslutits till HIPer_GD och FC-100 har anslutits till HIPer +. Båda mottagarna har utrustats med GSM sim-kort, ett för nätverks-RTK-tjänsten som levererar GPS-korrekationer och ett för GPS/GLONASS-korrekationer. Mottagarna har integrerat GSM-modem (Wavecom).

8.4 Genomförande av statistiska mätningar och beräkningar

Varje statistisk mätning har följt en mätprocedur som visas nedan:

- ◆ Stativ med mottagare har noggrant centrerats över respektive punkt
- ◆ Mottagaren var inställd på loggning var 15:e sekund
- ◆ Statisk mätning pågick under minst 6 timmar

Eftersom analysen av nätverks-RTK-data senare visade att alla höjdvikelsor var positiva i förhållande till "facit", och att felen för GPS- och GPS/GLONASS-mätningarna följdes åt inbördes för varje punkt men skiljde sig åt mellan punkterna, analyserades de statistiska mätningarna på nytt.

Då upptäcktes att differensen i höjd mellan beräkningstjänstens slutliga lösning (15 graders elevationsmask) och en testlösning med 25 graders elevationsmask var oroande stor. Detta indikerar att antennmodellen som användes inte speglade de verkliga förhållandena. Vid användning av jonosfärsfri lösning och bestämning av troposfärskorrekationer (vilket beräkningstjänsten gör) blir detta extra tydligt och därmed blir eventuella fel större.

En undersökning av den antennmodell från NGS (National Geodetic Survey, USA) som används i beräkningstjänsten, visade att de tre antennexemplar som kalibrerats för att skapa den numeriska modellen, skilde sig åt mer än önskat. Därför drogs slutsatsen att den antenn som användes också skilde sig från den numeriska modellen och att en ommätning med en välkänd och kontrollerad antenn krävdes, en som med säkerhet uppfyllde våra krav. Den tidigare antennen byttes nu ut mot en Dorne Margoline chokeringantenn av modell Ashtech (ASH 701946.3).

Ommätningen uppvisade ett bättre resultat mellan den slutliga lösningen och nämnda testlösning. Dessutom minskade höjdvikelsorna för RTK-mätningarna.

8.4.1 Kontroll och databehandling av resultatet

Insamlade data från de statistiska mätningarna har överförts till geodesiprogrammet Sbg Geo. Därifrån har det sedan översatts till ett s k RINEX-format, som är ett mottagaroberoende standardformat. RINEX-filen skickades därefter till SWEPOS efterberäkningstjänst som levererade en position i referenssystemet SWEREF 99 (ett globalt referenssystem för GPS-mätningar).

Resultatet från SWEPOS efterberäkningstjänst har kvalitetskontrollerats, där kvalitetstal som medelvärde av andelen lösta periodobekanta per baslinje (>30 %), RMS i slutlig fixlösning (<3 mm) samt grundmedelfel i Helmertinpassningen mot SWEREF 99 (<10 mm) var normen. En position som bedömdes godkänd som "sann" överfördes sedan till kalkylprogrammet Excel, för att utgöra det värde som sedan testmätningarna jämfördes mot.

8.5 Genomförande av testmätningarna

För att kunna göra en grundlig analys har testmätningarna genomförts i sex mätserier för varje punkt. Varje serie består av tio upprepade mätningar. Mätningarna utfördes på olika dagar och vid skilda tider på dygnet. Två mottagare, en GPS- och en GPS/GLONASS-mottagare, har använts simultant.

Varje mätserie följde mätproceduren nedan:

1. Stativ med antenn centrerades noggrant över respektive mätpunkt
2. Två mottagare användes, en för GPS- och en annan för GPS/GLONASS-signalerna. Mottagarna anslöts till samma antenn via en antenssplitter
3. För att få GPS- respektive GPS/GLONASS-korrekationer kopplades båda mottagarna till nätverks-RTK-tjänsten via var sin GSM-länk
4. Både GPS- och GPS/GLONASS-mottagaren ominitialiserades genom att fixlösningen avbröts. GSM-länken bibehölls under hela mätningen
5. Tid till fixlösning inväntades och noterades
6. Mätning utfördes (medeltal av 50 mätningar)
7. PDOP och antal satelliter registrerades automatiskt av fältdatorn
8. Ålder på korrektionsdata noterades
9. Eventuella anmärkningar antecknades
10. Punkt 4-9 upprepades 10 gånger

För att säkerställa ett bra resultat utfördes mätningarna med följande inställningar och mål

- ◆ Varje enskild mätning i en serie var ett medeltal av 50 mätningar gjorda under 10 sekunder
- ◆ Mätdata skulle sparas direkt efter varje mätning
- ◆ Elevationsmasken sattes till 12 grader
- ◆ Målsättningen var att minst två extra GLONASS-satelliter skulle användas vid mätningarna. Detta eftersom en GLONASS-satellit används för att reducera tidsskillnaden mellan GPS- och GLONASS-systemen.
- ◆ Maximal initialiseringstid sattes till fem minuter, varefter initialiseringen betraktades som avbruten och en ominitialisering utfördes

8.5.1 Databehandling av resultatet

I handdatorerna har programvaran Sbg Geo Pad CE (version 2.4) använts vid testmätningarna. Ett förinställt script har skickats vid uppkoppling till nätverks-RTK-tjänsten. Data från testmätningarna har därefter överförts till programvaran Sbg Geo där resultatet visas som latitud, longitud, höjd och PDOP-tal. Dessa värden har sedan förts vidare till programmet Excel för att jämföras mot den "sanna" positionen. Värden som redovisats i Excel är avvikelse i latitud, longitud och höjd, radiellt fel, PDOP, standardavvikelse, antal satelliter samt tid till fixlösning.

9 Resultat

9.1 Kvalitetstermer

9.1.1 Noggrannhet

Noggrannheten beskriver de mätta värdenas spridning kring ett sant värde. Om feLEN (fel = mätt värde - sant värde) är normalfördelade bör cirka 68 procent av mätningarna ha ett fel som är mindre än noggrannheten. En hög noggrannhet innebär att mätningarna är väl samlade och centrerade kring det sanna värdet. En hög noggrannhet implicerar hög precision. Noggrannheten beräknas enligt formeln:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 / n}$$

där ε är skillnaden mellan det mätta och det sanna värdet. I vår beräkning använde vi det radiella felet för att få noggrannhet i plan.

9.1.2 Precision

Precisionen beskriver spridningen kring ett skattat värde (mätseriens medelvärde). Om feLEN (fel = mätt värde - skattat värde) är normalfördelade bör cirka 68 procent av mätningarna ha ett fel som är mindre än precisionen. Precisionen visar hur väl samlad mätserien är kring medelvärdet. Mätningarna kan ha hög precision och en låg noggrannhet, men inte tvärtom. Om mätningarna har ett konstant fel, kan de ha en liten spridning men ändå vara långt från det sanna värdet. Hög precision och låg noggrannhet tyder på ett systematiskt fel. Precisionen är beräknad enligt formeln:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n-1)}$$

där v är skillnaden mellan det mätta och det skattade värdet. I vår beräkning separerade vi först felet i latitud och longitud för att sedan kombinera dem (kvadrera, summera, dra roten ur), detta för att få precisionen i plan.

9.1.3 Medelavvikelse

Medelavvikelsen är medeltalet av alla avvikelser (avvikelse = mätt värde - sant värde). I vårt fall beräknades en medelavvikelse i latitud, longitud och höjd där hänsyn till tecknet (+/-) togs. Teoretiskt skall medelavvikelsen vara lika med noll om tillräckligt många mätningar utförts. Om den avviker från noll innebär det att mätningarna är behäftade med ett systematiskt fel.

9.1.4 Sigmanivå

Avvikelserna mellan mätt position och sant värde beräknades i referenssystemet SWEREF 99. Avvikelserna sorterades från minsta till största, och redovisas även på sigmanivåerna 68 procent och 95 procent.

9.2 Resultat i position för alla mätningar

Mätvärden som ansetts som grova fel har borttagits ur alla sammanhang från resultatet. Dessa värden (i mm) är från punkt 3:

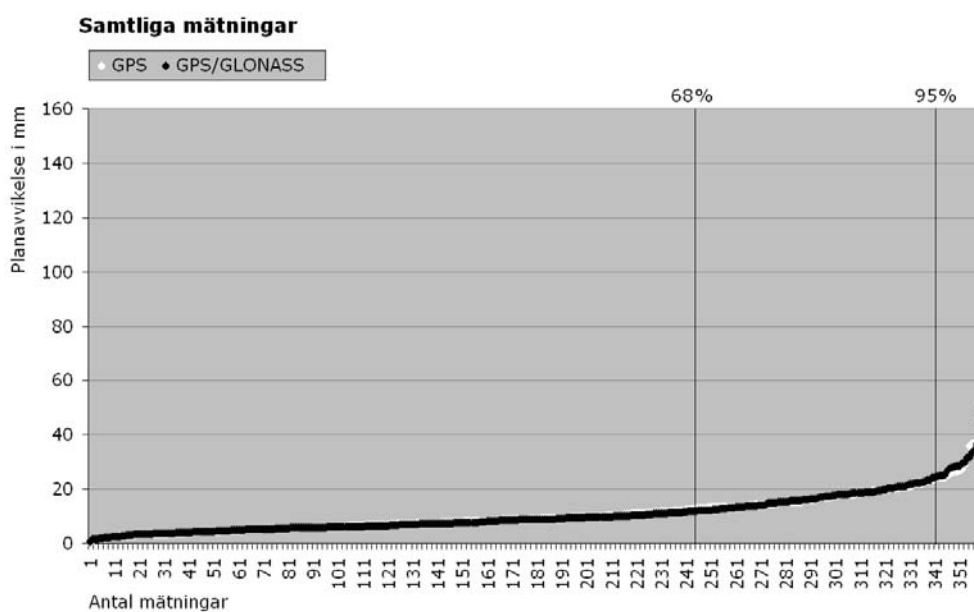
	GPS	GPS/GLONASS
Höjd	-199	296
Latitud		-19
Longitud		423
Radiellt fel		424

Kvalitetstermer	System	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6	Samtliga
68 %	GPS	8	10	13	15	15	16	12
	GPS/GLONASS	8	9	14	18	12	10	12
95 %	GPS	14	20	21	36	22	26	24
	GPS/GLONASS	13	16	21	28	28	25	24
Precision	GPS	8	8	13	13	12	15	13
	GPS/GLONASS	8	8	12	11	13	13	12
Noggrannhet	GPS	8	10	14	16	13	15	13
	GPS/GLONASS	8	9	13	17	14	13	13
Medelavvikelse	GPS	1	6	4	11	6	3	1
	GPS/GLONASS	3	5	5	13	6	2	4
Genomsnitt antal satelliter	GPS	8	7	7	7	8	7	7
	GPS/GLONASS	11	10	10	10	11	10	10

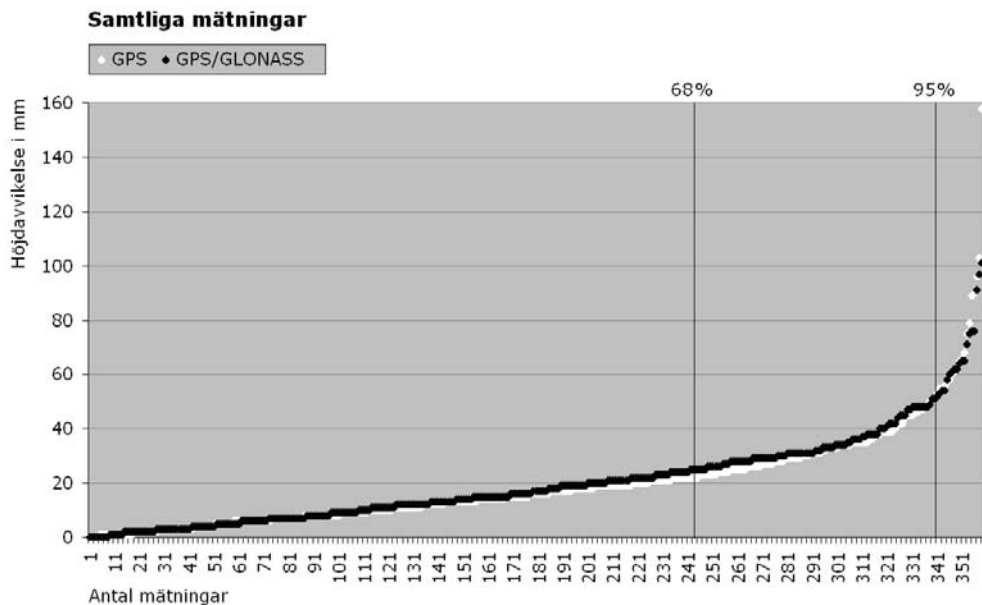
Tabell 9.2.1 Kvalitetsvärden (mm) i plan för de olika punkterna. I kolumnen "Samtliga" har resultaten beräknats utifrån alla mätningar totalt.

Kvalitetstermer	System	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6	Samtliga
68 %	GPS	17	12	31	46	12	28	22
	GPS/GLONASS	16	19	31	47	11	26	25
95 %	GPS	22	25	56	79	23	39	53
	GPS/GLONASS	28	38	58	76	36	34	52
Precision	GPS	15	17	23	24	11	15	23
	GPS/GLONASS	15	18	17	22	19	12	22
Noggrannhet	GPS	15	18	38	42	12	24	27
	GPS/GLONASS	15	19	32	42	19	23	27
Medelavvikelse	GPS	-3	7	30	34	-4	19	14
	GPS/GLONASS	-1	7	27	37	-2	19	15
Genomsnitt antal satelliter	GPS	8	7	7	7	8	7	7
	GPS/GLONASS	11	10	10	10	11	10	10

Tabell 9.2.2 Kvalitetsvärden (mm) i höjd för de olika punkterna. I kolumnen "Samtliga" har resultaten beräknats utifrån alla mätningar totalt.

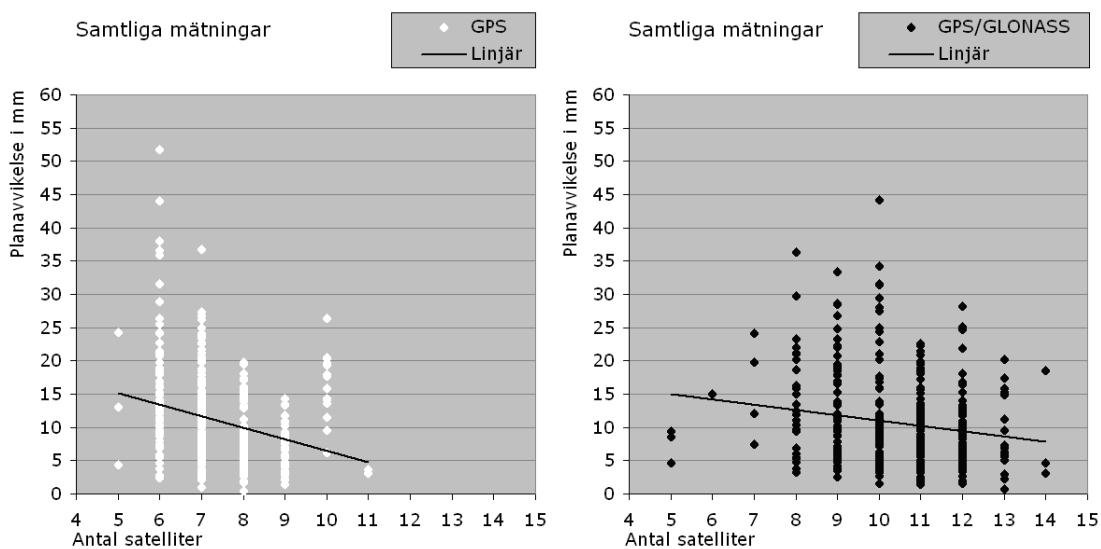


Figur 9.2.1 Samtliga mätningar – Planavvikelser sorterade från minsta till största värde.



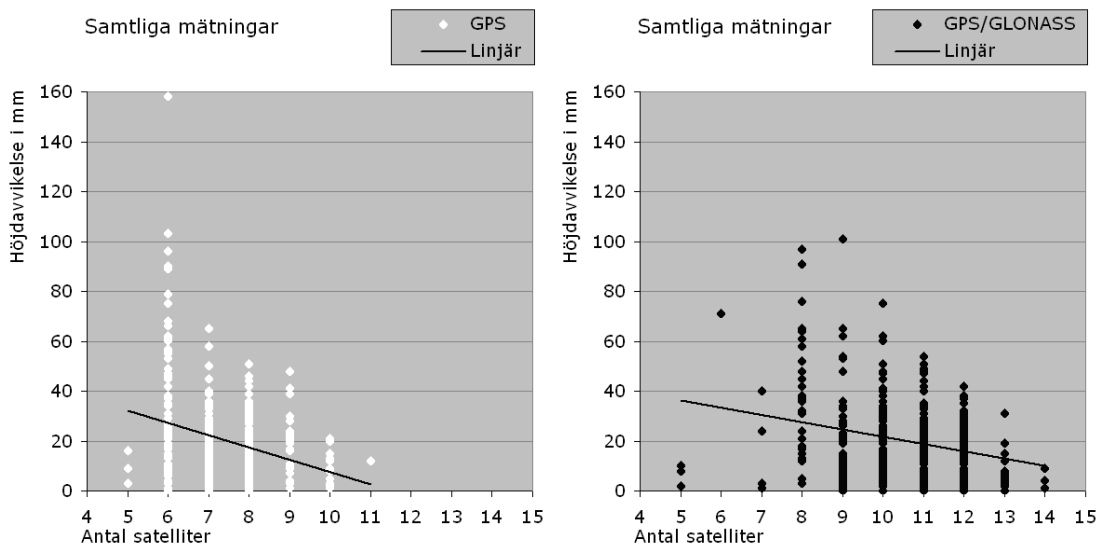
Figur 9.2.2 Samtliga mätningar – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värde.

9.3 Resultat i plan med avseende på antal satelliter



Figur 9.3.1 Samtliga mätningar – Planavvikelser i förhållande till antal satelliter.

9.4 Resultat i höjd med avseende på antal satelliter

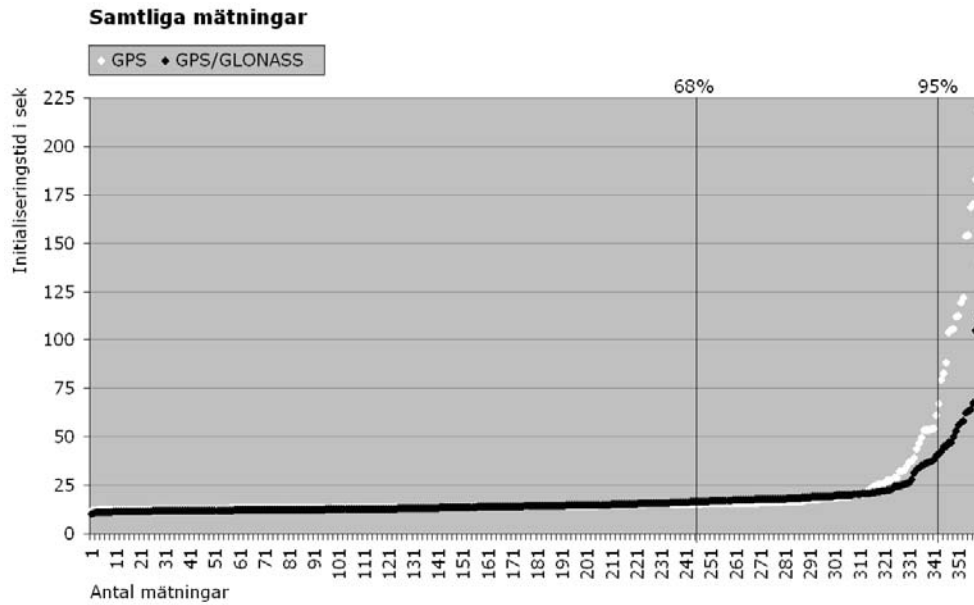


Figur 9.4.1 Samtliga mätningar – Höjdavvikelser i förhållande till antal satelliter.

9.5 Initialiseringstid i sekunder

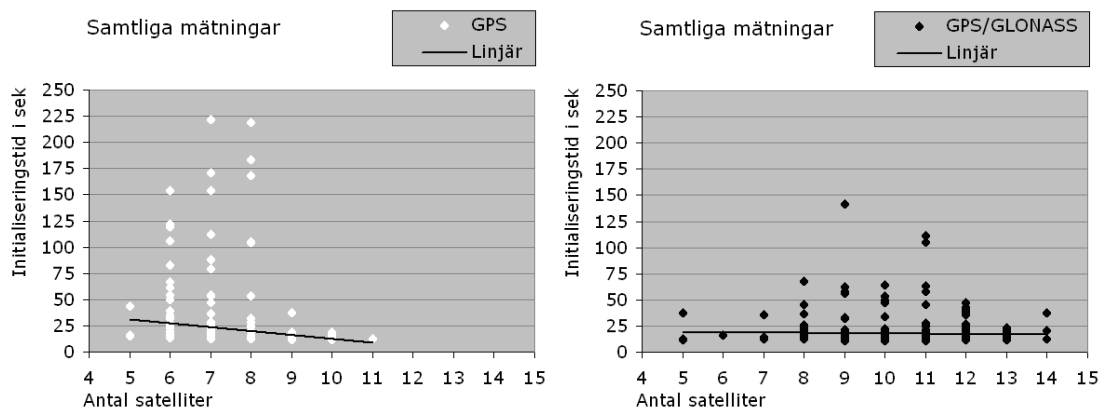
Kvalitetstermer	System	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6	Samtliga
68 %	GPS	14	15	18	16	15	19	15
	GPS/GLONASS	15	15	16	19	15	17	17
95 %	GPS	15	26	89	112	18	154	61
	GPS/GLONASS	20	20	40	37	38	58	40
Längsta initialiseringstid	GPS	25	219	122	170	20	222	222
	GPS/GLONASS	64	43	111	105	58	141	141
Genomsnitt antal satelliter	GPS	8	7	7	7	8	7	7
	GPS/GLONASS	11	10	10	10	11	10	10

Tabell 9.5.1 Initialiseringstid (sek) för de olika punkterna. I kolumnen "Samtliga" har resultaten beräknats utifrån alla mätningar sammantagna.



Figur 9.5.1 Samtliga mätningar – Initialiseringstider sorterade från största till minsta värde.

9.6 Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter



Tabell 9.6.1 Samtliga mätningar – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.

10 Diskussion

Syftet med detta examensarbete var att jämföra satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS, och därigenom kunna dra slutsatser om nuvarande GLONASS-konstellation med sin mer nordliga bana kan förbättra nätverks-RTK-mätning med högre noggrannhet i plan och höjd eller med snabbare initialiseringstid. Punkternas olika sikt-hinder och tidpunkterna för mätning, utvaldes för att i möjligaste mån efterlikna produktionssituationen.

I analysen har kvalitetsvärdena, precision, noggrannhet och medelavvikelse samt avvikelse på 68- (1-sigmanivå) och 95-procentsnivå (2-sigmanivå), studerats. Dessutom har numeriska värden jämförts mellan GPS och GPS/GLONASS i fråga om planavvikelser, höjdvavikelser och initialiseringstider. Även trendlinjer har studerats för plan- och höjdvavikelse och tid till fixlösning, samtliga i förhållande till antal satelliter. En trendlinje används för att visa en prognos eller tendens och kan ha olika lutning, antingen positiv eller negativ. Det önskvärda var att ju fler satelliter som utnyttjas under en mätning, desto mindre avvikelser och kortare initialiseringstider, alltså att trendlinjen har så stor negativ lutning som möjligt.

Resultatet från **alla testmätningar totalt** visar att alla kvalitetsvärden i plan och höjd samt initialiseringstider är väldigt lika för GPS respektive GPS/GLONASS. I kapitel 7, tabell 7.2.1, ser man vid en jämförelse att precisionen och noggrannheten har likartade värden både för GPS och för GPS/GLONASS, vilket tyder på att de systematiska felen är små i plan. Detta gäller även medelavvikelsen som visar värden nära noll och därmed också indikerar små systematiska fel. Däremot kan man i tabell 7.2.2, se en tendens till systematiska fel i höjd både för GPS och för GPS/GLONASS. Värdena för noggrannheten är något större än precisionen samtidigt som också medelavvikelsen pekar på högre värden. Noggrannheten i höjd blir generellt 1,5 gånger sämre än i plan och orsaker till detta kan vara troposfärens inverkan samt att satellitgeometrin alltid blir sämre i förhållande till höjd än till plan. I fråga om initialiseringstid är även här skillnaderna emellan systemen mycket små. I figur 7.5.1 ser man att i ca 89 % av mätningarna är initialiseringstiderna jämna, och därefter stiger kurvan något för GPS som i resterande ca 11 % av mätningarna har tider som är 4-80 sekunder längre än GPS/GLONASS.

Under testmätningarna har tillgången på GPS-satelliter varit mellan 5 och 11 stycken och för GPS/GLONASS har motsvarande siffra varit mellan 5 och 14 stycken. Målet var att vid varje mätning ha tillgång till minst två GLONASS-satelliter förutom GPS-satelliterna, vilket har uppnåtts i ca 90 % av mätningarna. Som mest hade vi 5 extra GLONASS-satelliter. Analys av avvikelser i plan och höjd samt initialiseringstider i förhållande till antal satelliter visar att trots till-

gången av dessa hjälptes inte resultatet upp någonting. Tvärtom visade fem av sex trendlinjer för GPS/GLONASS, vid jämförelse av initialiseringstid i förhållande till antal satelliter, en positiv lutning. En teori till detta kan vara att den kanal man blir tilldelad i GSM-nätet har en begränsad kapacitet, vilket gör att korrektionsdata vid en viss mängd stoppar upp flödet, så att initialiseringstiderna förlängs.

Vid punkt 1 och 2, som var utan sikthinder, är kvaliteten på mätningarna i stort sett lika för både GPS och GPS/GLONASS. Samtidigt är medelavvikelserna låga i både plan och höjd. I bilaga A och B ser man att när plan- eller höjdavvikelserna i ett avseende var högre för GPS än för GPS/GLONASS på den ena punkten, var den det omvända på den andra punkten. I bilaga E kan man utläsa små skillnader i initialiseringstiderna, men att GPS/GLONASS-mätningarna hade något längre tider än GPS. När det gäller plan- och höjdavvikelser samt initialiseringstid i förhållande till antal satelliter kan man i bilaga C, D och F se att även här är skillnaderna små. Däremot visade trendlinjen för avvikelser i höjd i förhållande till antal satelliter för punkt 1 en svagt positiv lutning för GPS och en svagt negativ lutning för GPS/GLONASS; alltså tillförde GLONASS-satelliterna något här.

Beträffande **punkt 3 och 5, med hus som sikthinder**, är kvalitetsvärdena (se kapitel 7, tabell 7.2.1 och 7.2.2) i plan likartade medan höjdvärdena visar något sämre resultat för GPS än för GPS/GLONASS på punkt 3, men sedan något bättre på punkt 5. Punkt 3 visar också relativt höga värden på medelavvikelsen i höjd, både för GPS och för GPS/GLONASS, vilket indikerar att mätningarna är behäftade med systematiska fel. Detta bekräftas också av att noggrannheten är betydligt sämre än precisionen. I bilaga A kan man se att avvikelserna i plan är generellt antingen likadana eller högre för GPS/GLONASS. När det gäller höjdavvikelserna i bilaga B är de något högre för GPS på punkt 3, medan de på punkt 5 i stort sett är lika för båda systemen. Om man tittar på initialiseringstiderna har GPS kortare tider på punkt 5 medan GPS/GLONASS har kortare tider på punkt 3. Vid en jämförelse av trendlinjer, gällande plan- och höjdavvikelse samt initialiseringstid i förhållande till antal satelliter, visar GPS bättre tendens än GPS/GLONASS i fem av sex fall (se bilaga C, D och F).

På **punkt 4 och 6, som hade sikthinder i form av lövskog (före lövsprickning) respektive barrskog**, sticker kvalitetsvärdena för punkt 4 ut något i plan men framför allt i höjd. Detta gäller inte bara jämfört med punkt 6 utan med alla testpunkter. Man kan se att höjdvärdena för punkt 4 är behäftade med systematiska fel då noggrannheten är sämre än precisionen. Detta bekräftas också av att medelavvikelsen har höga värden. Planavvikelserna i bilaga A visar att på punkt 4 var de lägre för GPS men på punkt 6 var de lägre för GPS/GLONASS. I höjd var avvikelserna på båda punkterna likartade för båda systemen. I bilaga E kan man vid en jämförelse av initialise-

ringstiderna mellan GPS och GPS/GLONASS se att de på båda punkterna i stort är lika, men i ca 20 % av de sammantagna mätningarna (120 st) har GPS betydligt längre initialiseringstider än GPS/GLONASS. Inget direkt mönster kan urskiljas, då flertalet av dessa längre initialiseringstider för GPS inte har uppträtt under en och samma mätning utan mer slumpmässigt fördelat över samtliga mätningar. Vid jämförelse av trendlinjerna för planavvikelse, var de betydligt positivare för GPS. Prognoserna för höjdavvikelse och initialiseringstider var mer positiva för GPS på punkt 4, medan de på punkt 6 var mer positiva för GPS/GLONASS (se bilaga C, D och F).

10.1 Slutsats

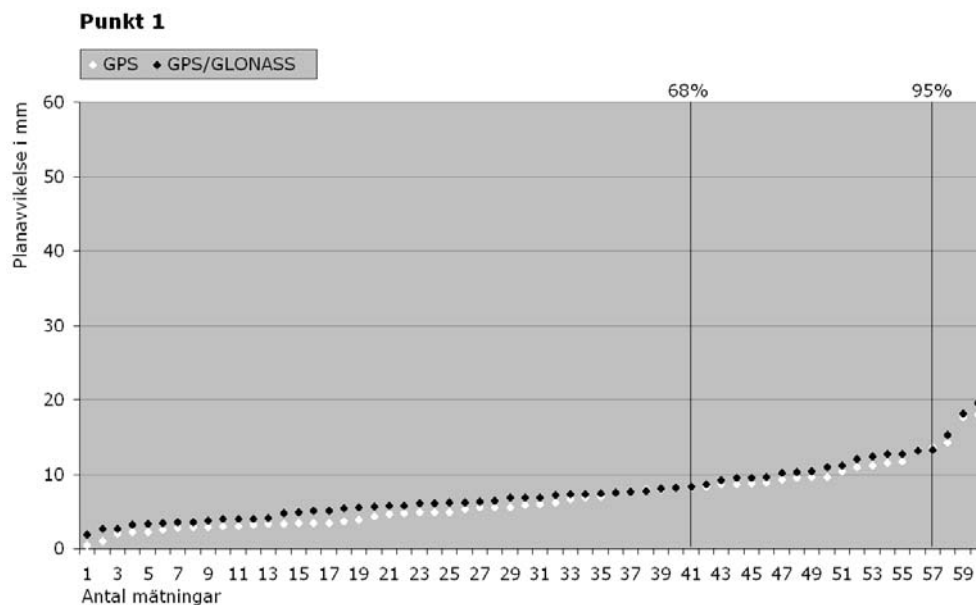
Slutsatsen av denna jämförelse, med dess förutsättningar, blir att de extra GLONASS-satelliterna generellt inte tillförde något av egentlig betydelse för att förbättra nätverks-RTK-mätningens positionsnoggrannhet, förutom vid vissa enstaka serier. Däremot bidrog GLONASS till kortare initialiseringstider. Med andra förutsättningar, där många GPS-satelliter slås ut på grund av betydande sikthinder, skulle man tänka sig att GLONASS-satelliterna spelar en avgörande roll för att en mätning skall kunna genomföras. Vår jämförelse förutsatte att 5 GPS-satelliter alltid skulle finnas tillgängliga, vilket inte tillät de tuffare sikthinder som troligtvis skulle ha gjort att GLONASS hävdade sig bättre.

Referenser

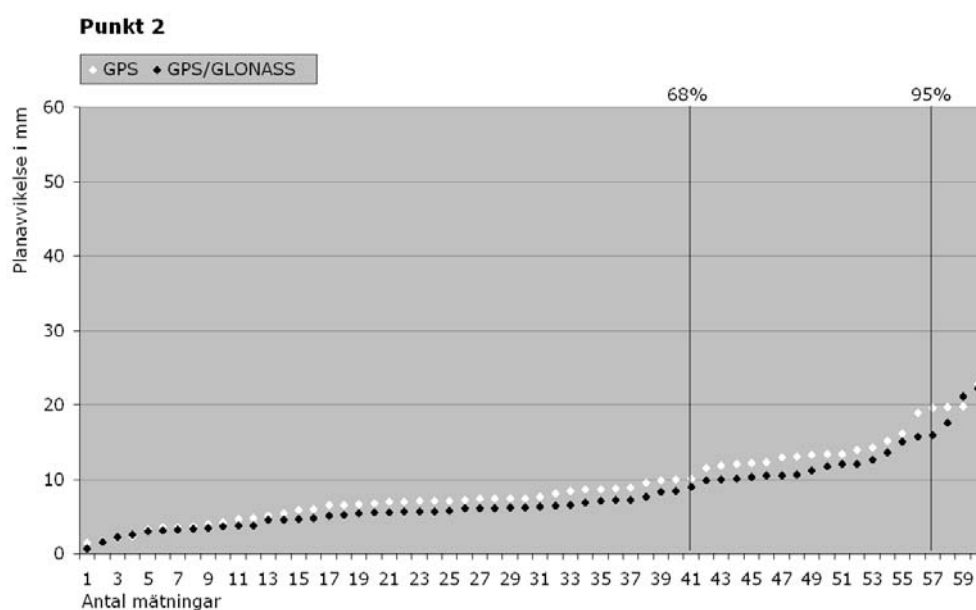
1. Van Sickle, Jan (2001). *GPS for Land Surveyors*. New York/
London: Taylor & Francis
2. Jonsson, Albert & Norling, Anders (2003). *Jämförelse av
enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät*. LMV-
rapport 2003:12
3. Engfeldt, Andreas & Jivall, Lotti (2003). *Så fungerar GNSS*, LMV-
rapport 2003:10. Gävle: Lantmäteriet: Geodetiska enheten
4. Statens Lantmäteriverk, *Handbok Geodesi, GPS (1996)*, Handbok till
mätningkungörelsen, andra utgåvan, Gävle: Lantmäteriet
5. Jernberg Åsa, *Introduktion till GPS (2005)*. Gävle: Lantmäteriet:
Geodetiska enheten. Presentation vid GPS/GNSS-seminarium
Gävle, 2005-03-15
6. Gävle: Lantmäteriet: Geodetiska enheten.
Tillgänglig: <http://swepos.lm.se/gps.htm> [2005-06-02]
7. Gävle: Lantmäteriet: Geodetiska enheten.
Tillgänglig: <http://swepos.lmv.lm.se/natverksrtk/swepref41021mi.pdf>
[2005-10-02]
8. Russian Federation Ministry of Defence: Coordinational Scientific
Information Center.
Tillgänglig: <http://www.glonass-center.ru/> [2005-06-02]

A – Resultat i plan för varje enskild punkt

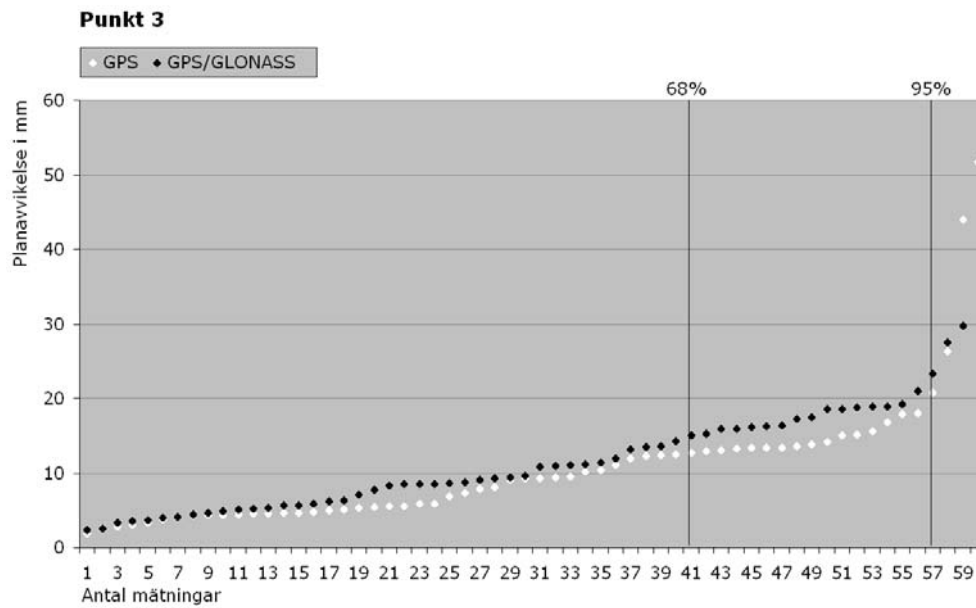
Eftersom sikthindren varierat för de olika punkterna redovisas här planavvikelsen separat för respektive punkt.



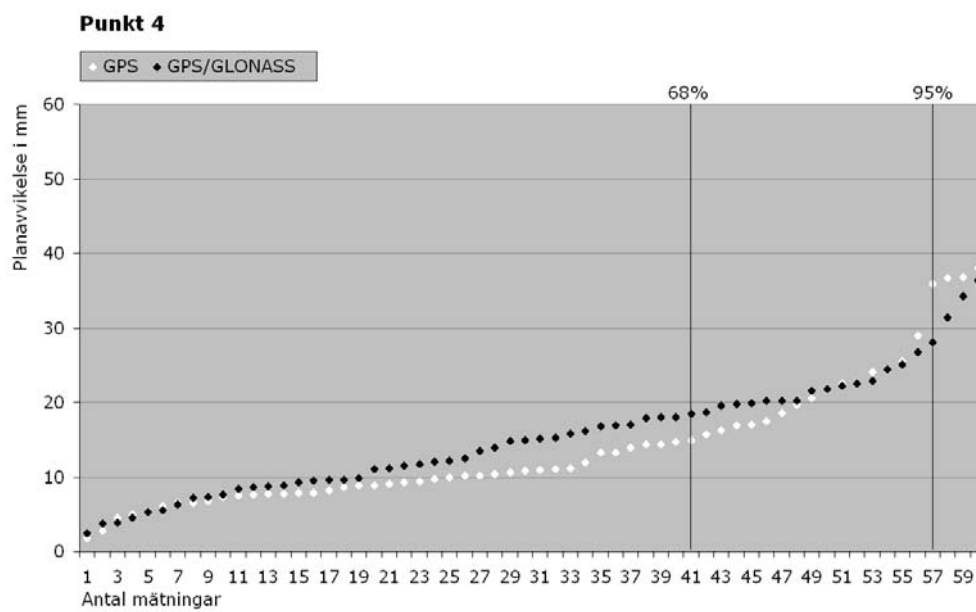
Figur A.1 Punkt 1 – Planavvikelser sorterade från minsta till största värdet.



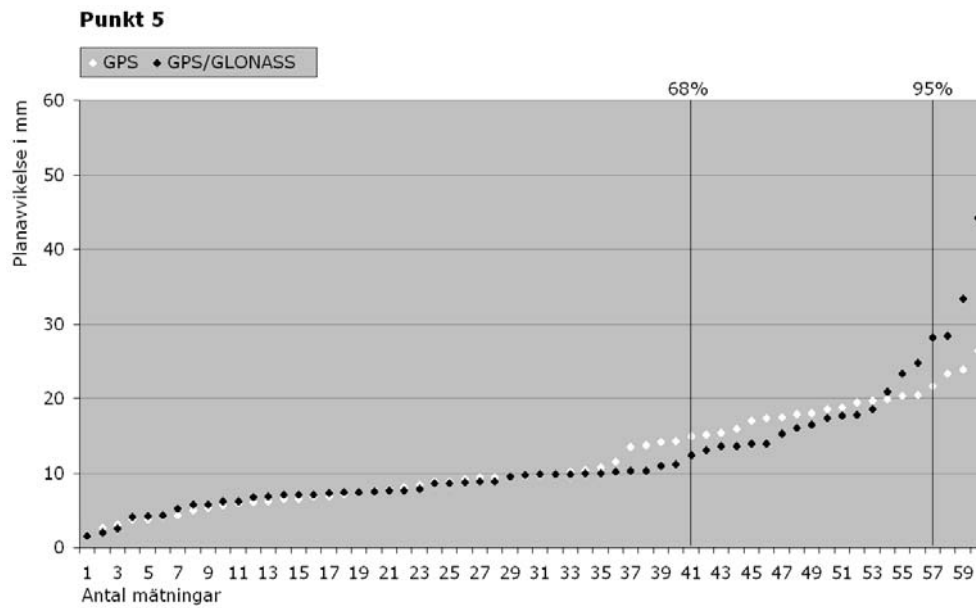
Figur A.2 Punkt 2 – Planavvikelser sorterade från minsta till största värdet.



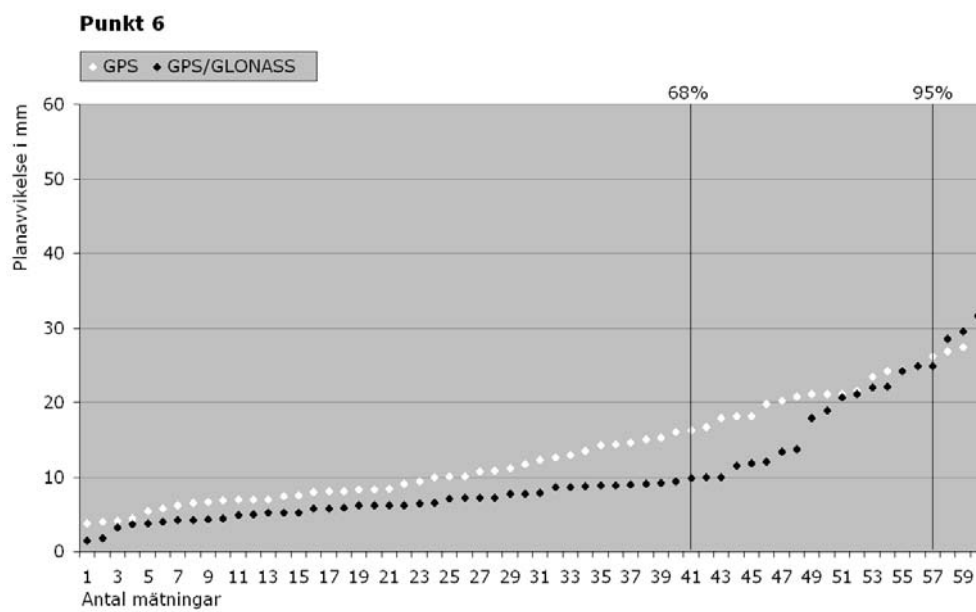
Figur A.3 Punkt 3 – Planavvikelser sorterade från minsta till största värdet.



Figur A.4 Punkt 4 – Planavvikelser sorterade från minsta till största värdet.

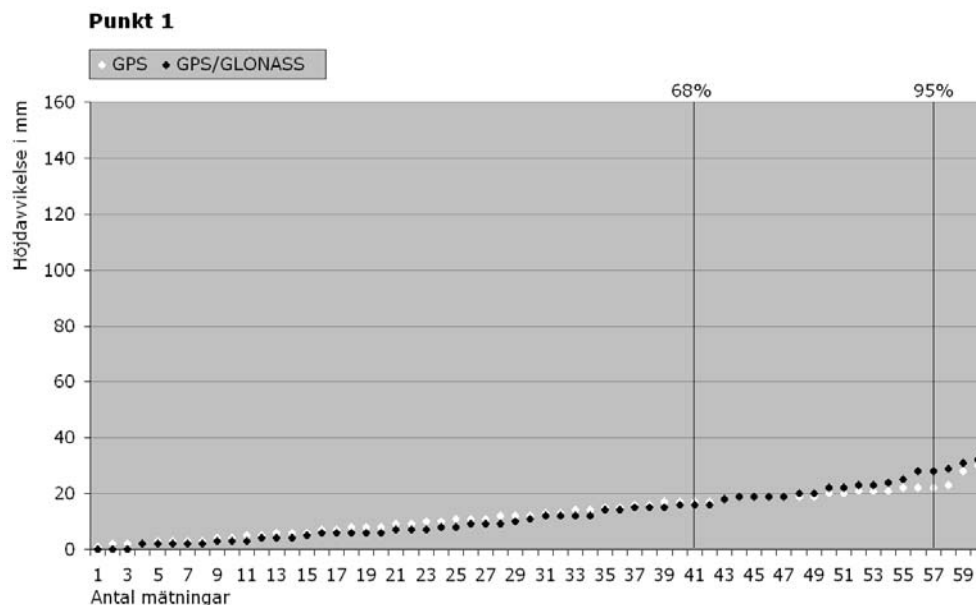


Figur A.5 Punkt 5 – Planavvikelser sorterade från minsta till största värdet.

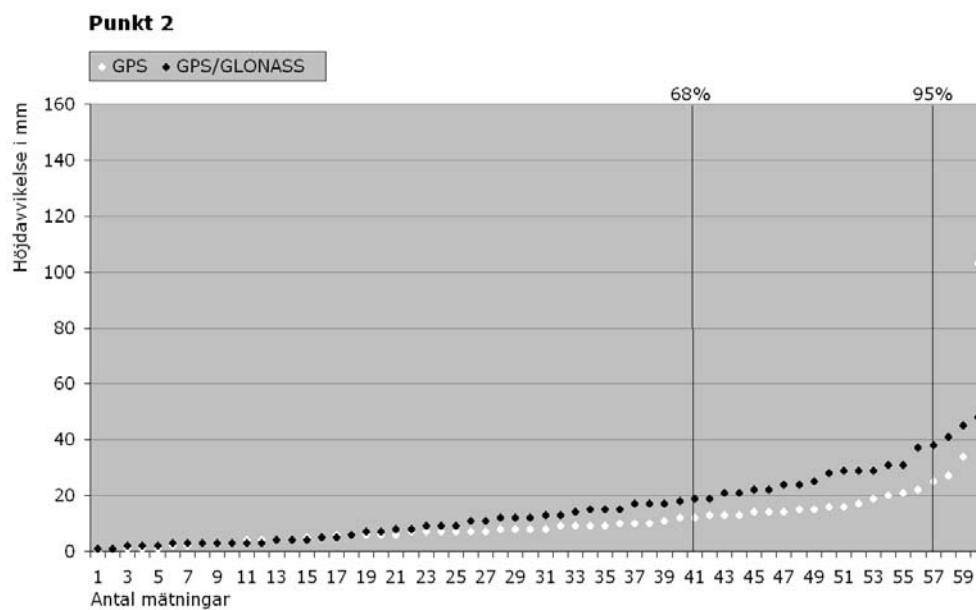


Figur A.6 Punkt 6 – Planavvikelser sorterade från minsta till största värdet.

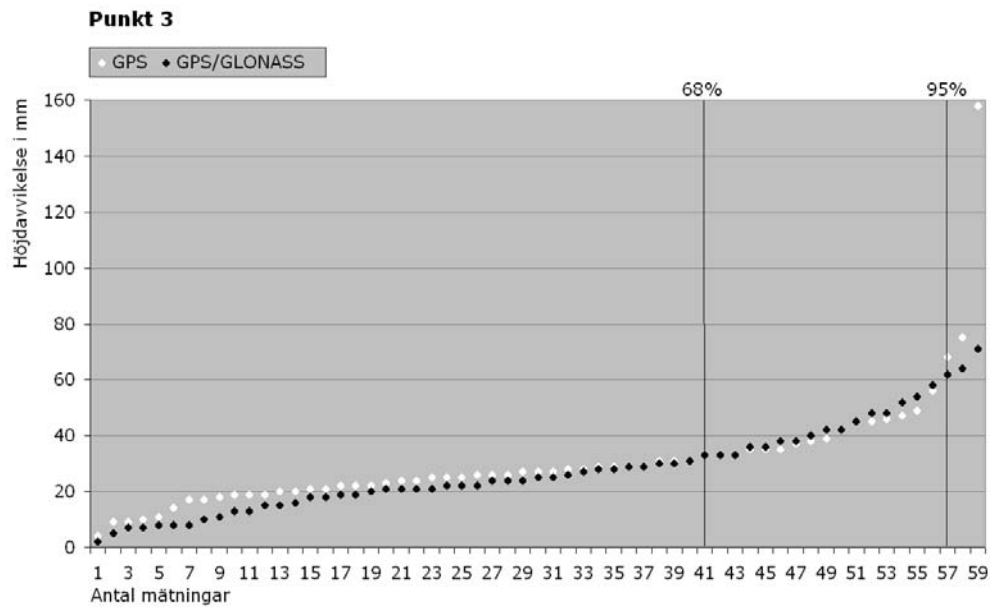
B – Resultat i höjd för varje enskild punkt



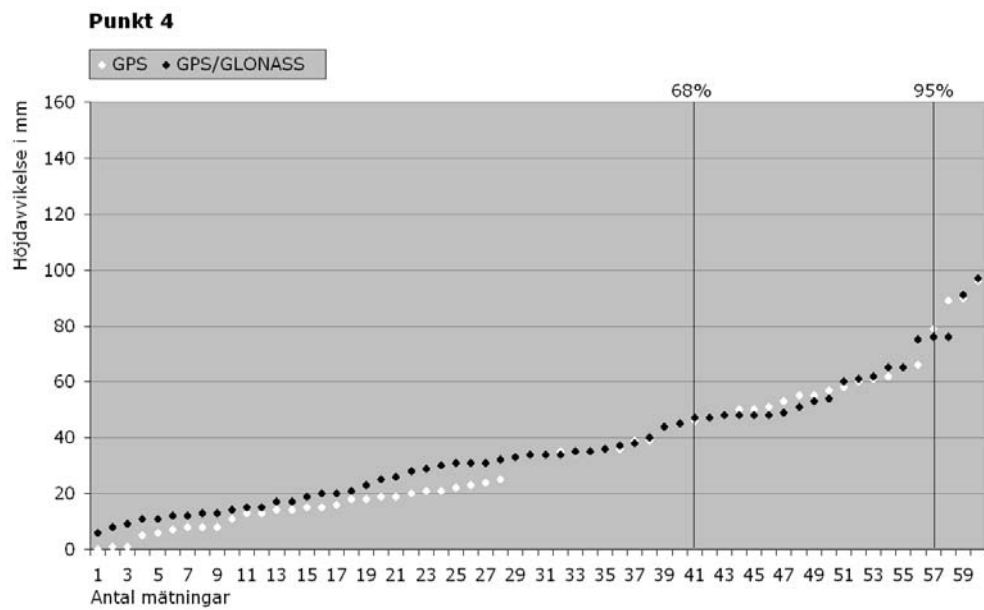
Figur B.1 Punkt 1 – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värdet.



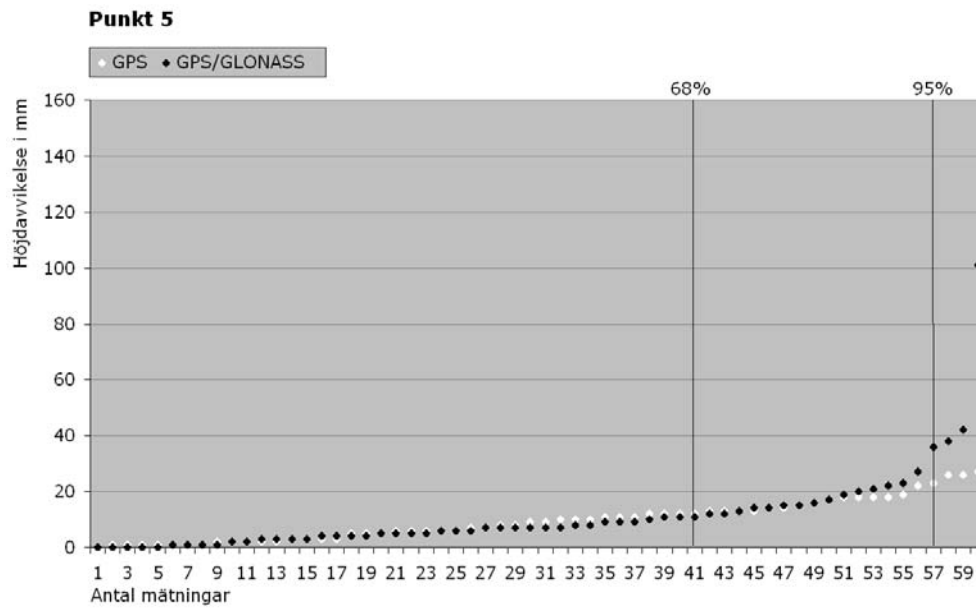
Figur B.2 Punkt 2 – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värdet.



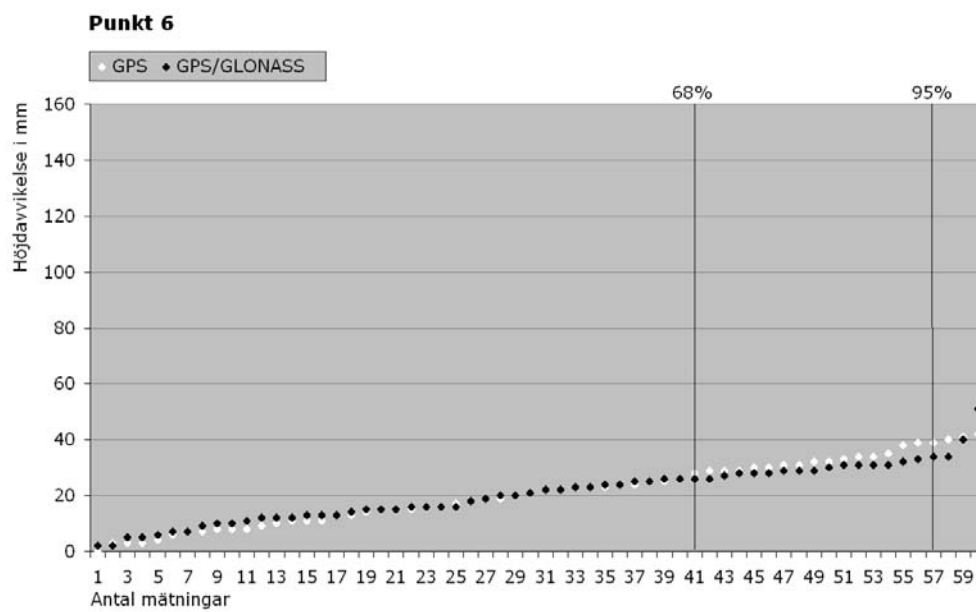
Figur B.3 Punkt 3 – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värdet.



Figur B.4 Punkt 4 – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värdet.

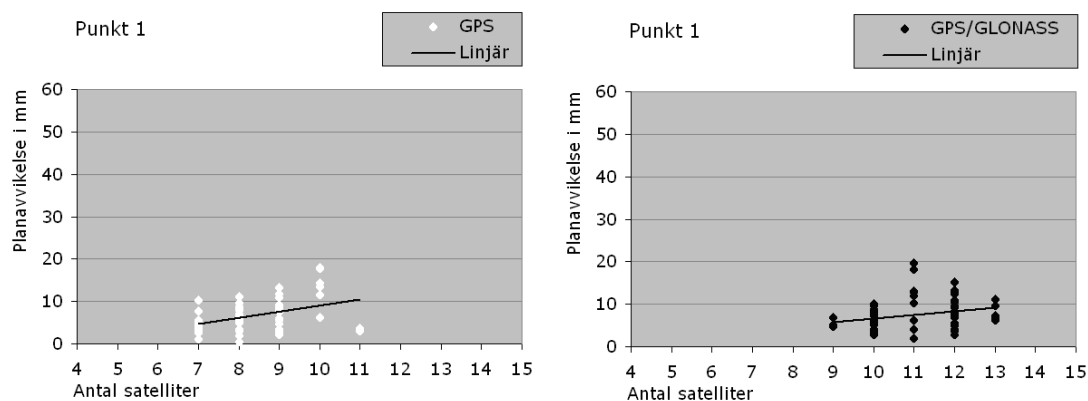


Figur B.5 Punkt 5 – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värdet.

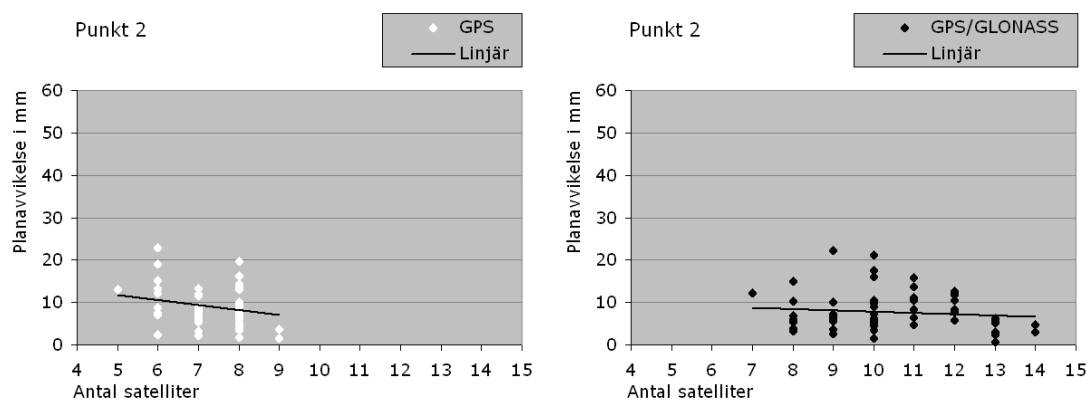


Figur B.6 Punkt 6 – Höjdavvikelser sorterade från minsta till största värdet.

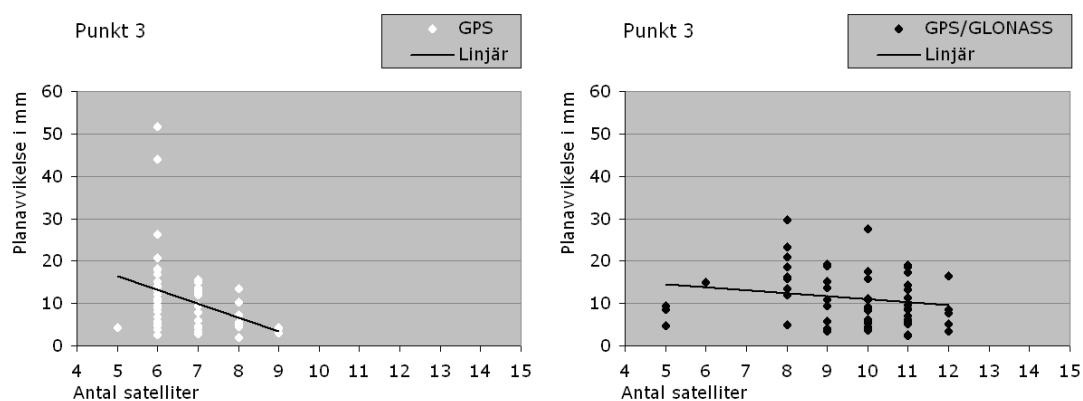
C - Planavvikelse i förhållande till antal satelliter



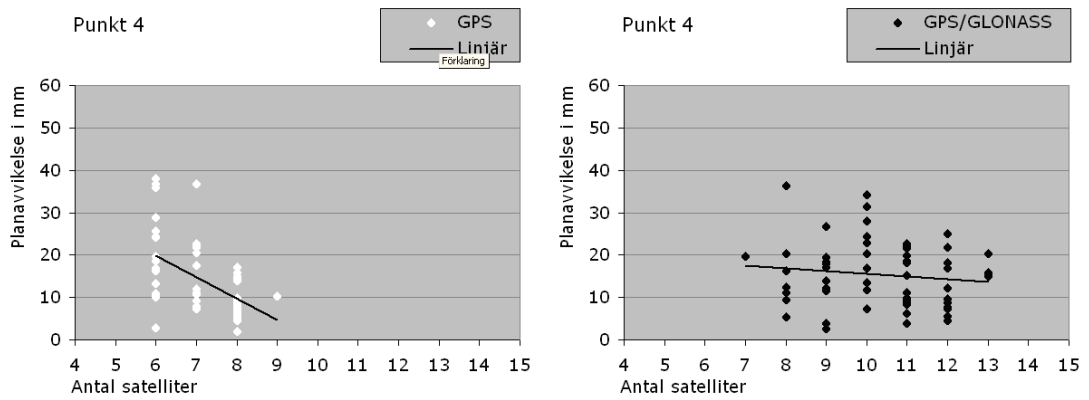
Figur C.1 Punkt 1 – Planavvikelse i förhållande till antal satelliter.



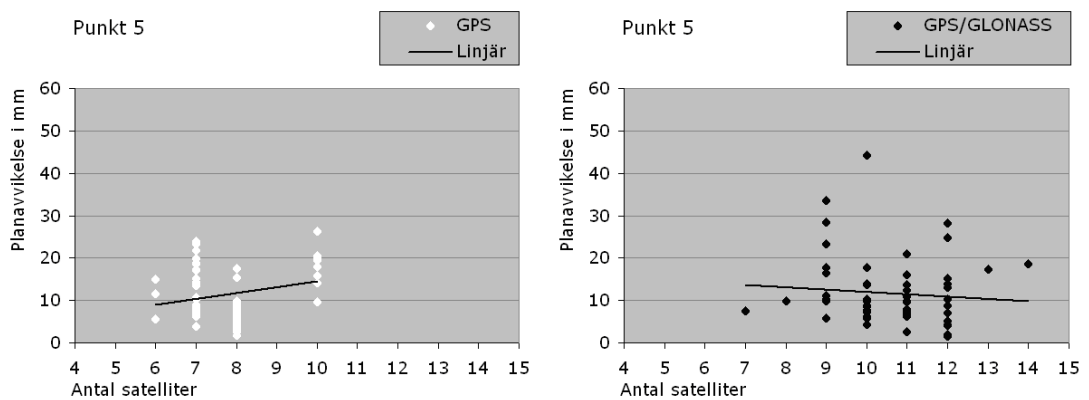
Figur C.2 Punkt 2 – Planavvikelse i förhållande till antal satelliter.



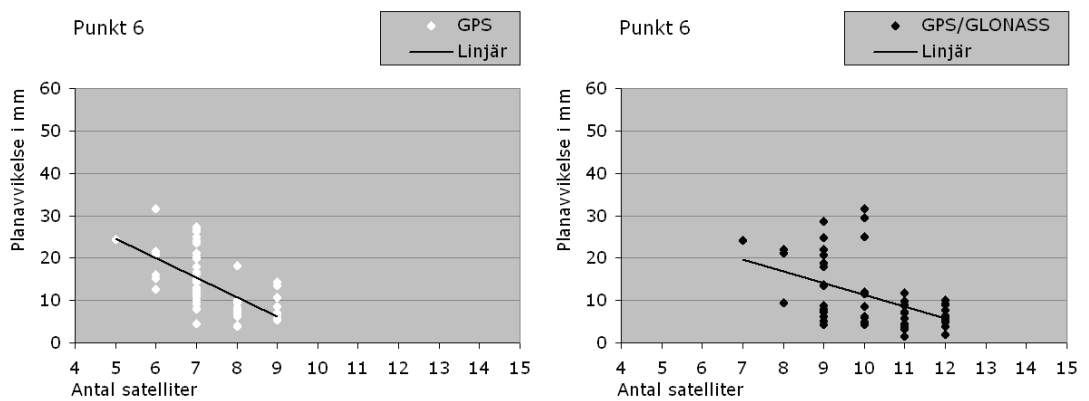
Figur C.3 Punkt 3 – Planavvikelse i förhållande till antal satelliter.



Figur C.4 Punkt 4 – Planavvikelse i förhållande till antal satelliter.

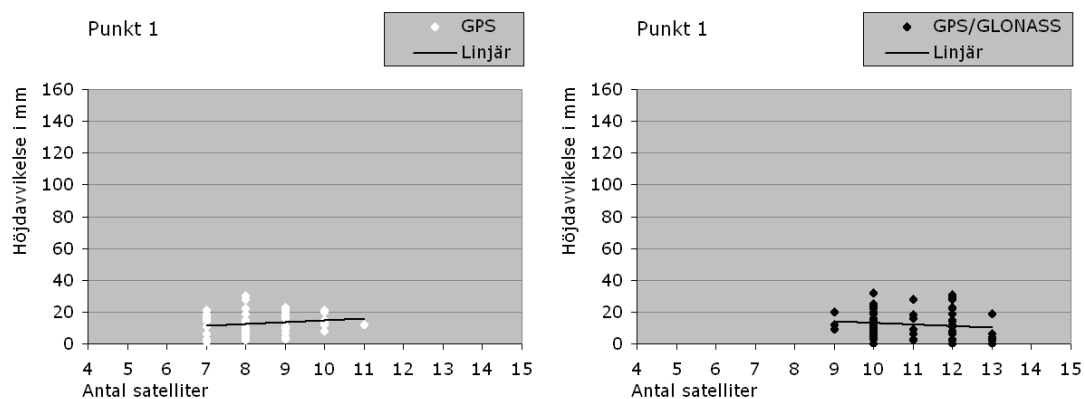


Figur C.5 Punkt 5 – Planavvikelse i förhållande till antal satelliter.

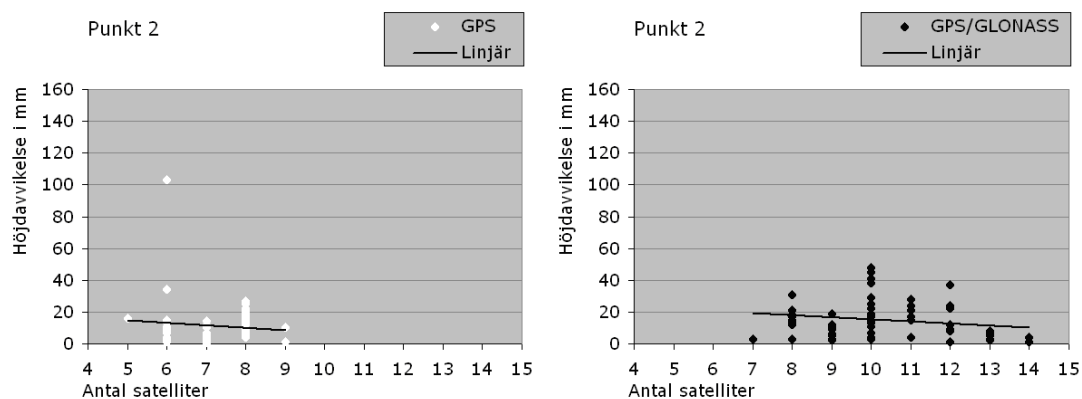


Figur C.6 Punkt 6 – Planavvikelse i förhållande till antal satelliter.

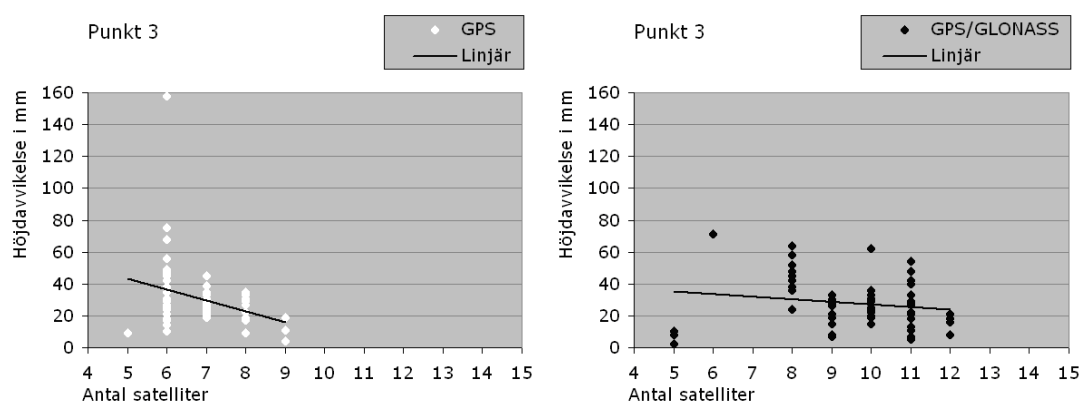
D – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter



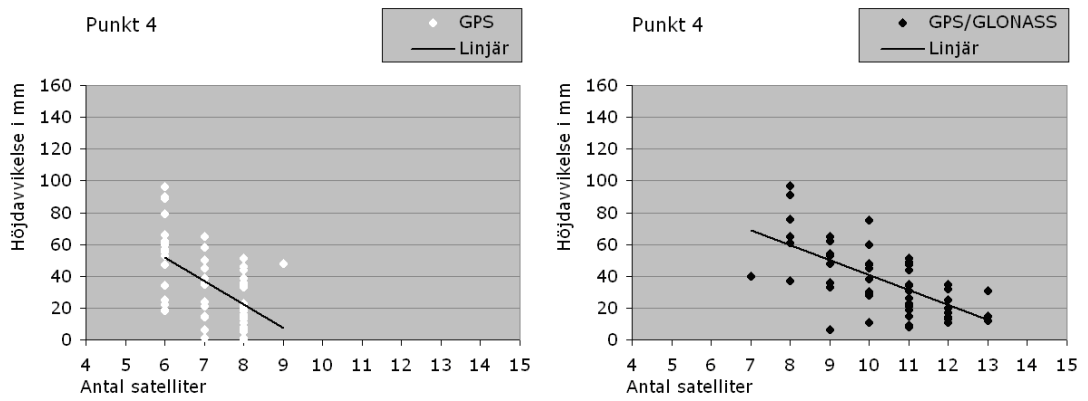
Figur D.1 Punkt 1 – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter.



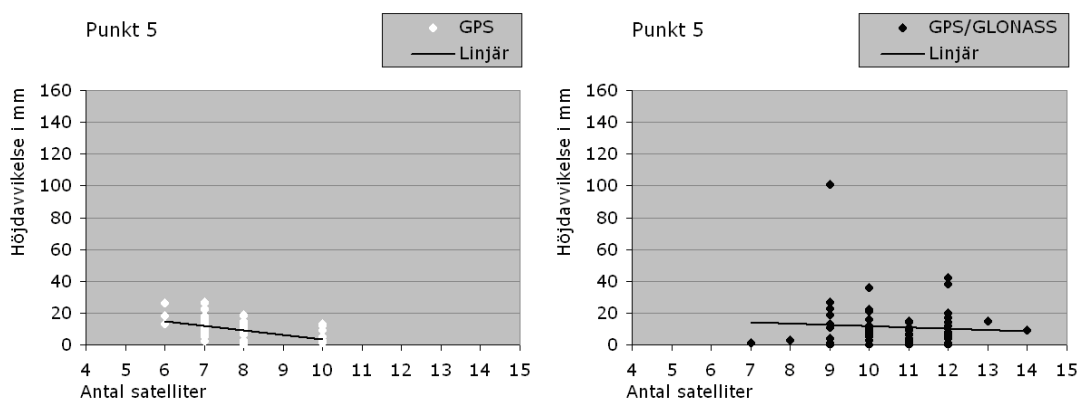
Figur D.2 Punkt 2 – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter.



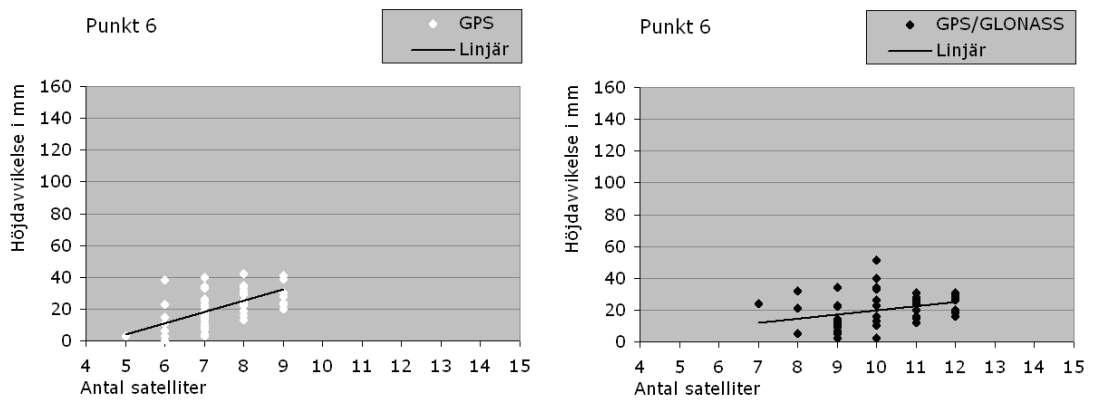
Figur D.3 Punkt 3 – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter.



Figur D.4 Punkt 4 – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter.

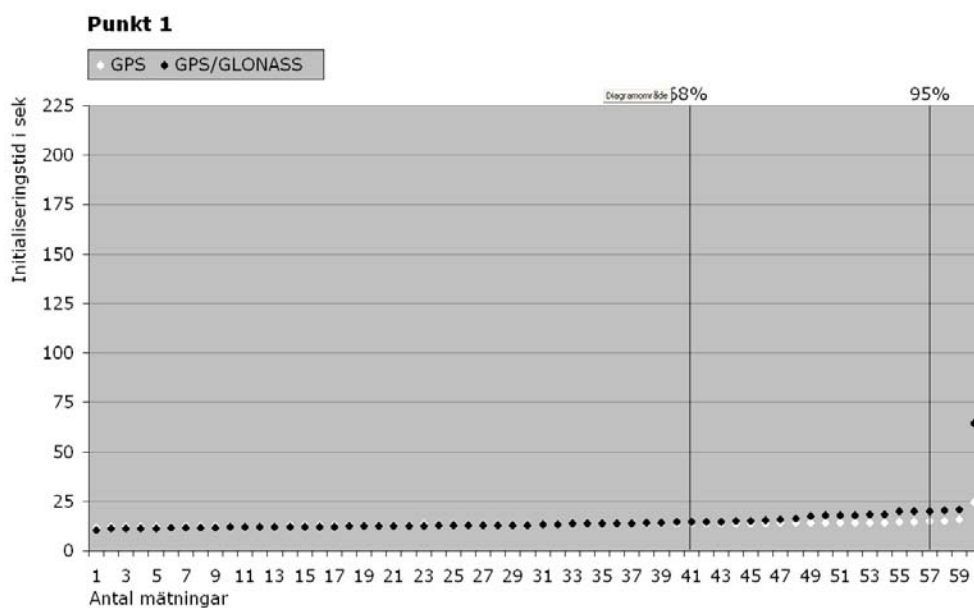


Figur D.5 Punkt 5 – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter.

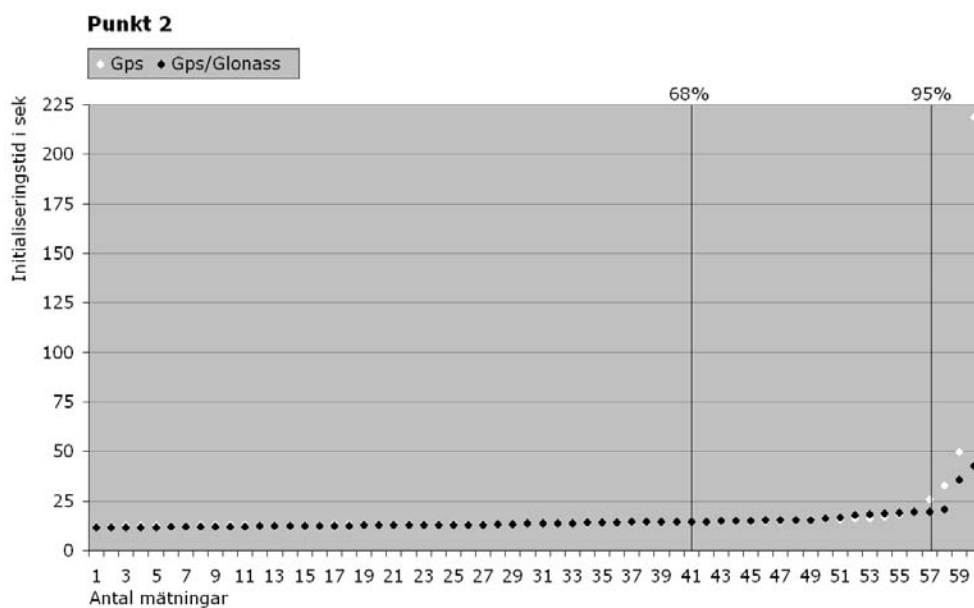


Figur D.6 Punkt 6 – Höjdavvikelse i förhållande till antal satelliter.

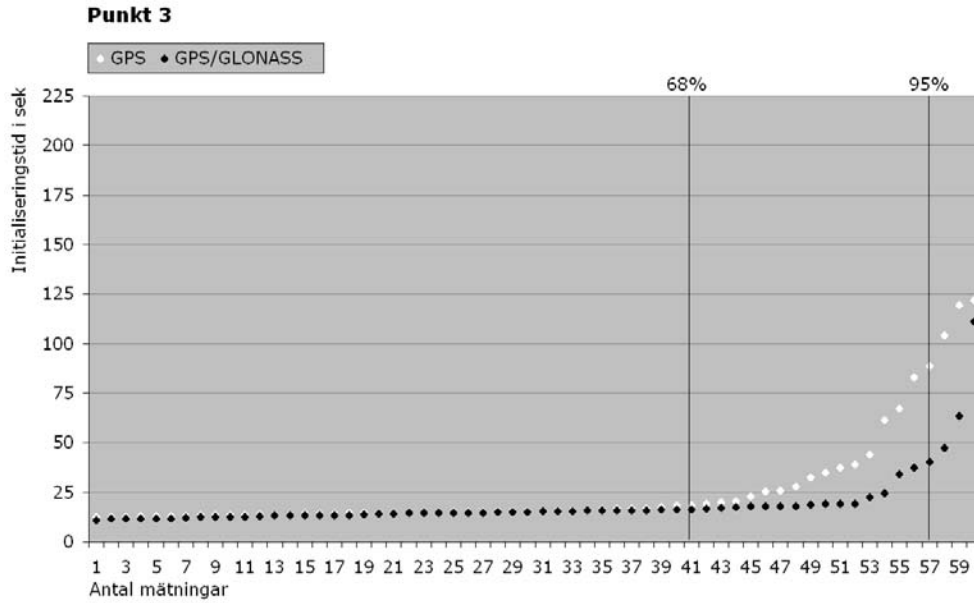
E – Initialiseringstider för varje enskild punkt



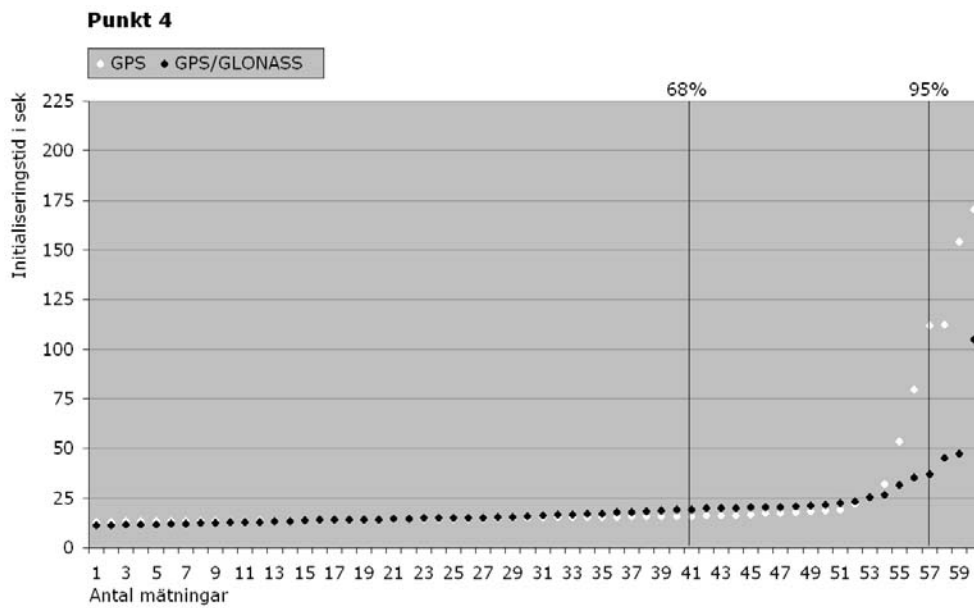
Figur E.1 Punkt 1 – Initialiseringstider sorterade från minsta till största värde.



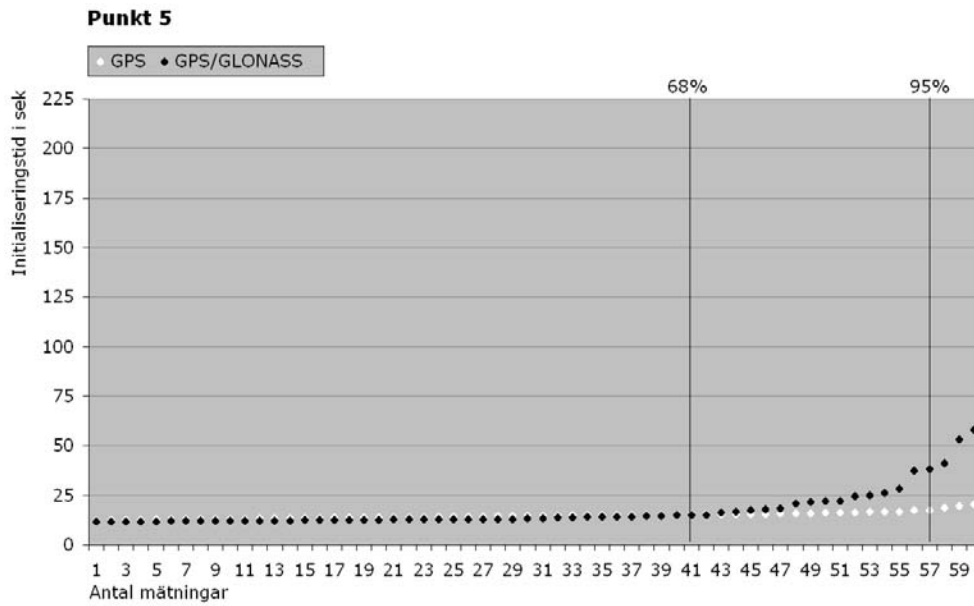
Figur E.2 Punkt 2 – Initialiseringstider sorterade från minsta till största värde.



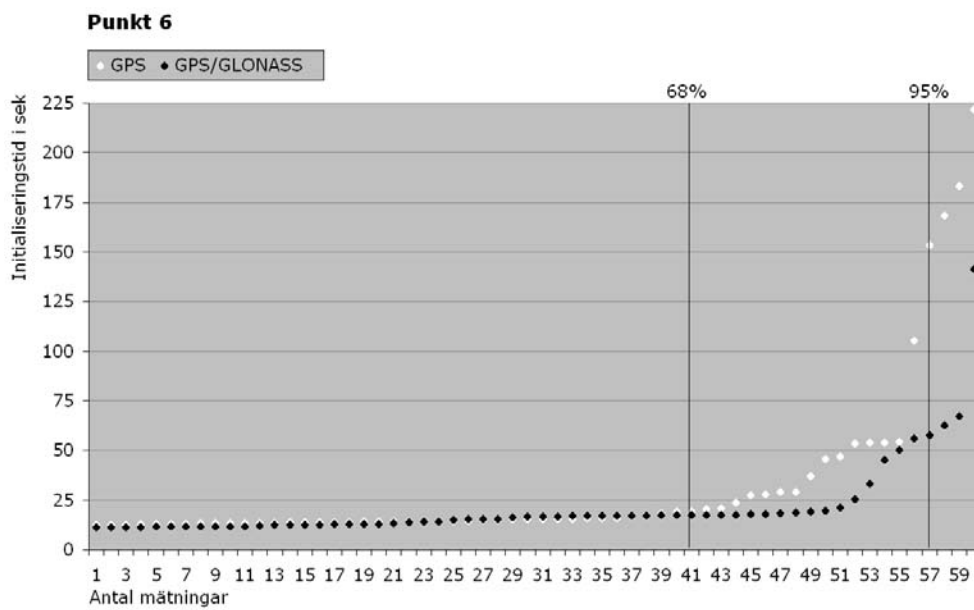
Figur E.3 Punkt 3 – Initialiseringstider sorterade från minsta till största värde.



Figur E.4 Punkt 4 – Initialiseringstider sorterade från minsta till största värde.

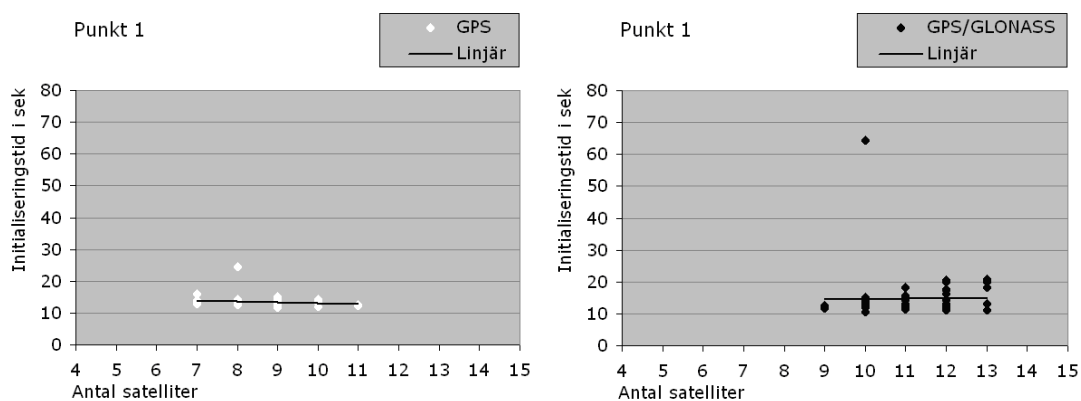


Figur E.5 Punkt 5 – Initialiseringstider sorterade från minsta till största värde.

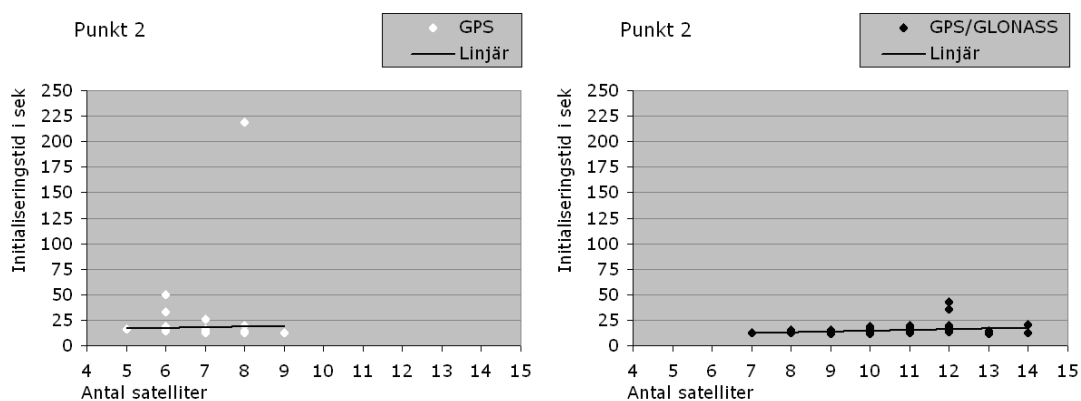


Figur E.6 Punkt 6 – Initialiseringstider sorterade från minsta till största värde.

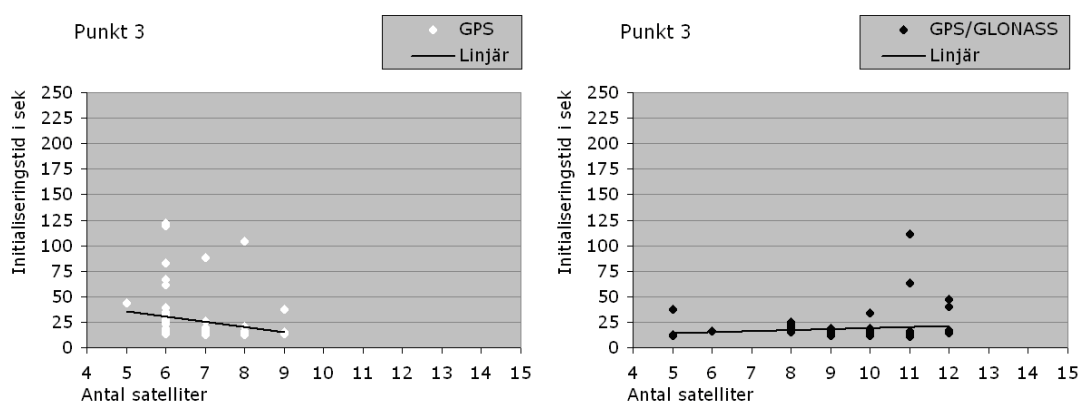
F – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter



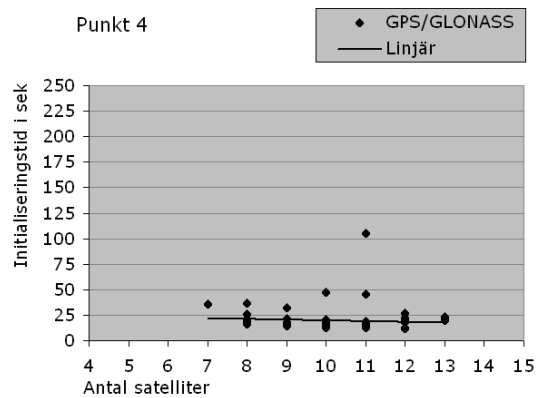
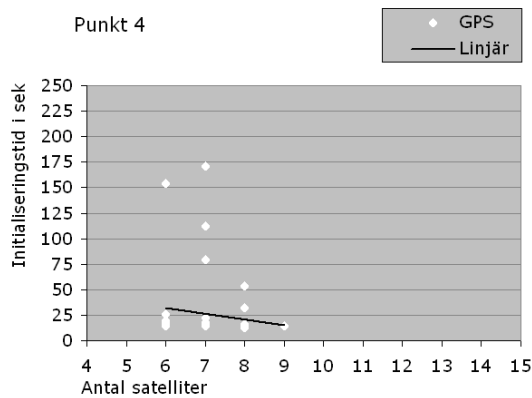
Figur F.1 Punkt 1 – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.



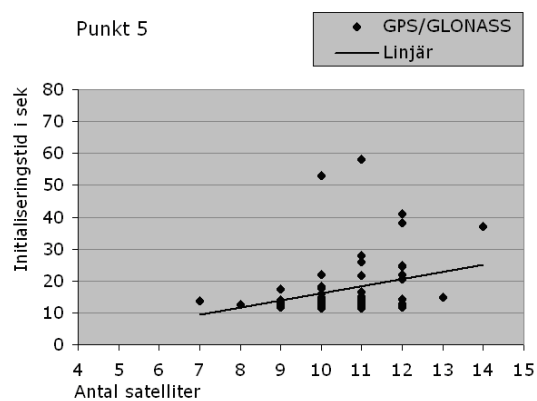
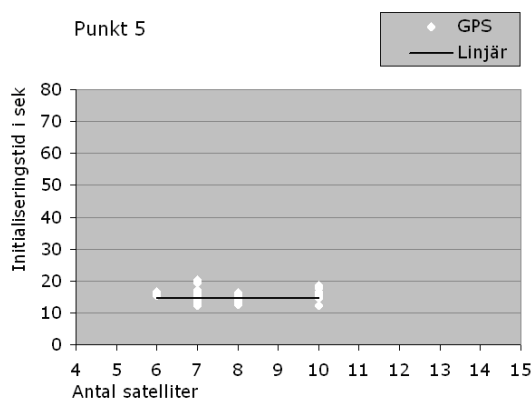
Figur F.2 Punkt 2 – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.



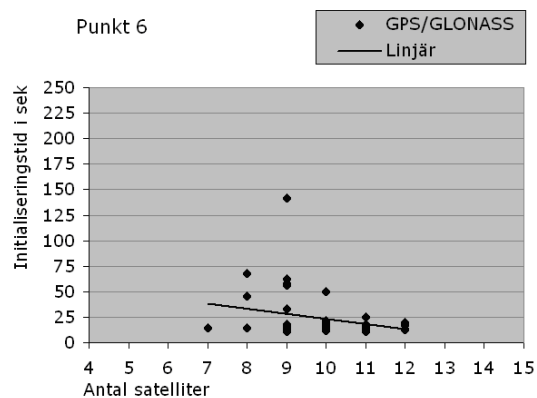
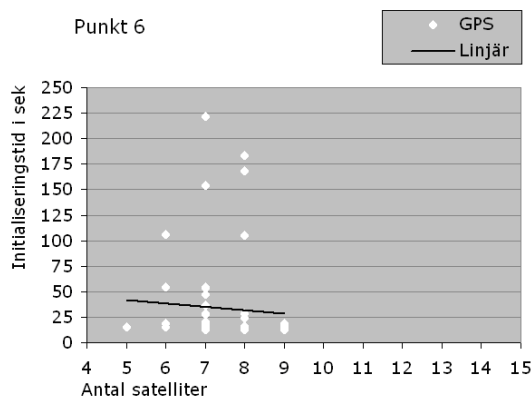
Figur F.3 Punkt 3 – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.



Figur F.4 Punkt 4 – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.

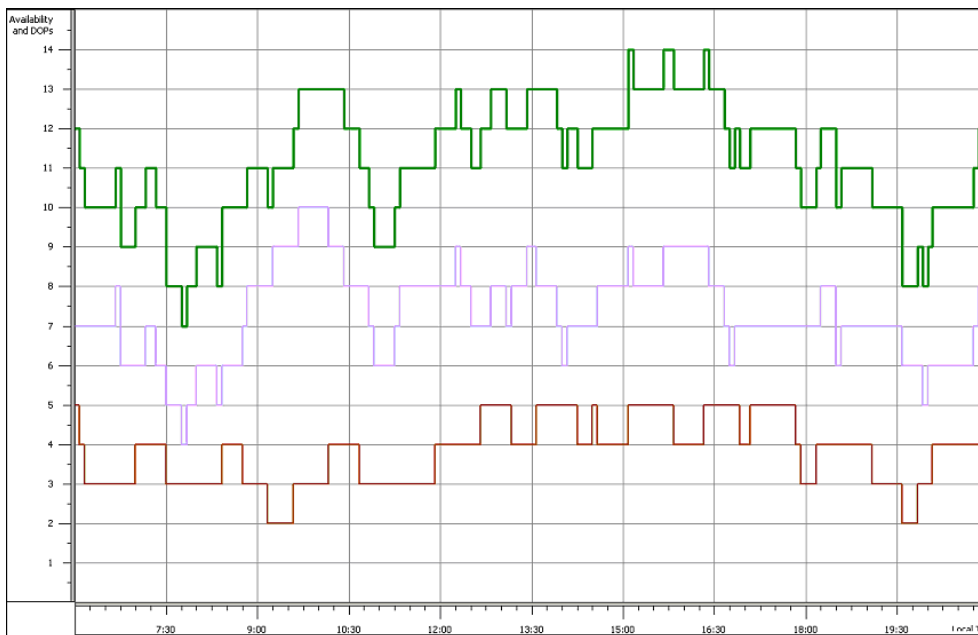


Figur F.5 Punkt 5 – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.

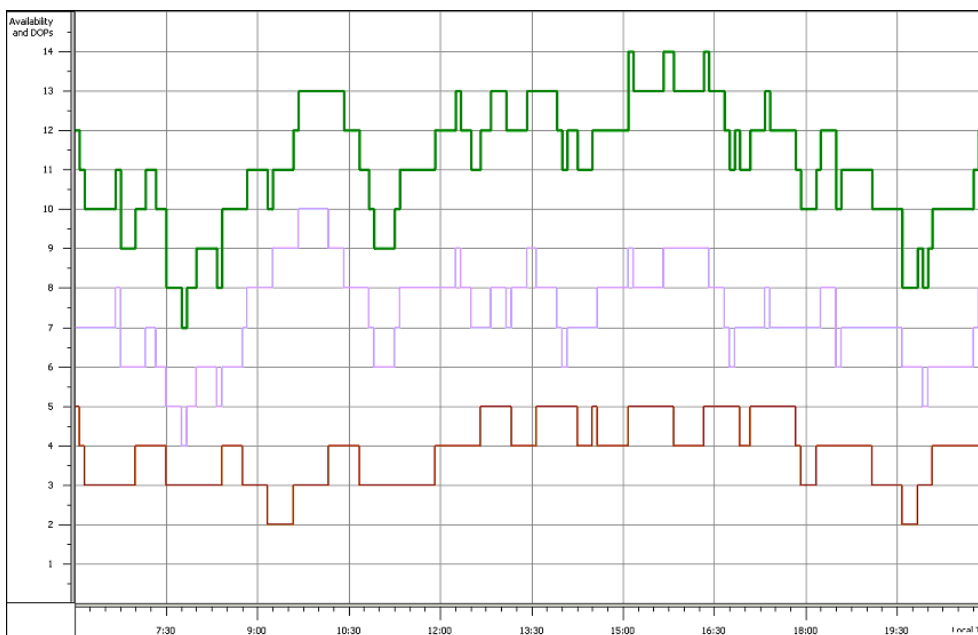


Figur F.6 Punkt 6 – Initialiseringstid i förhållande till antal satelliter.

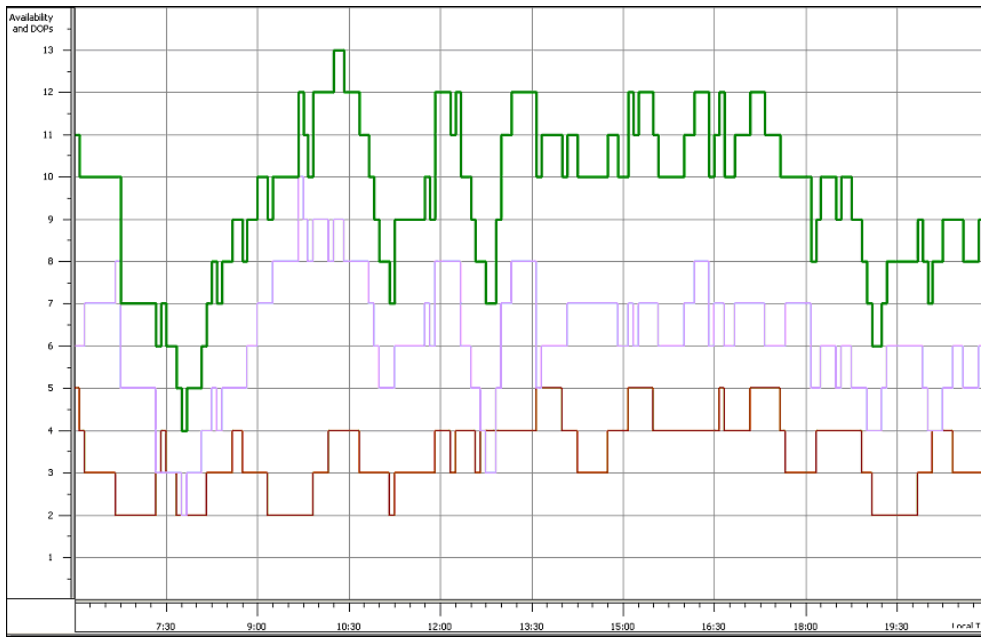
G - Satellitprognoser för varje punkt



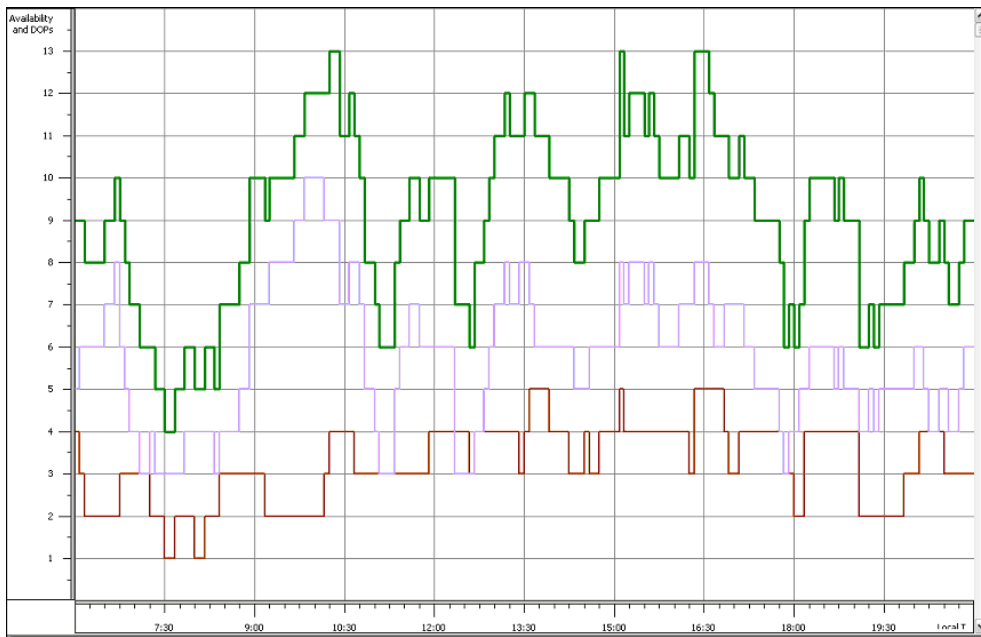
Figur G.1 Punkt 1



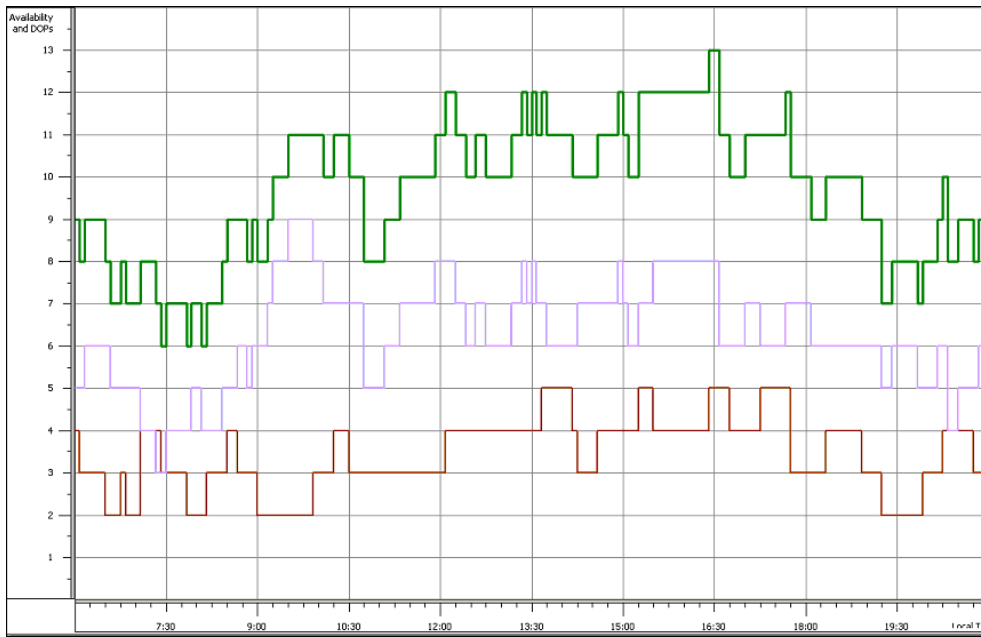
Figur G.2 Punkt 2



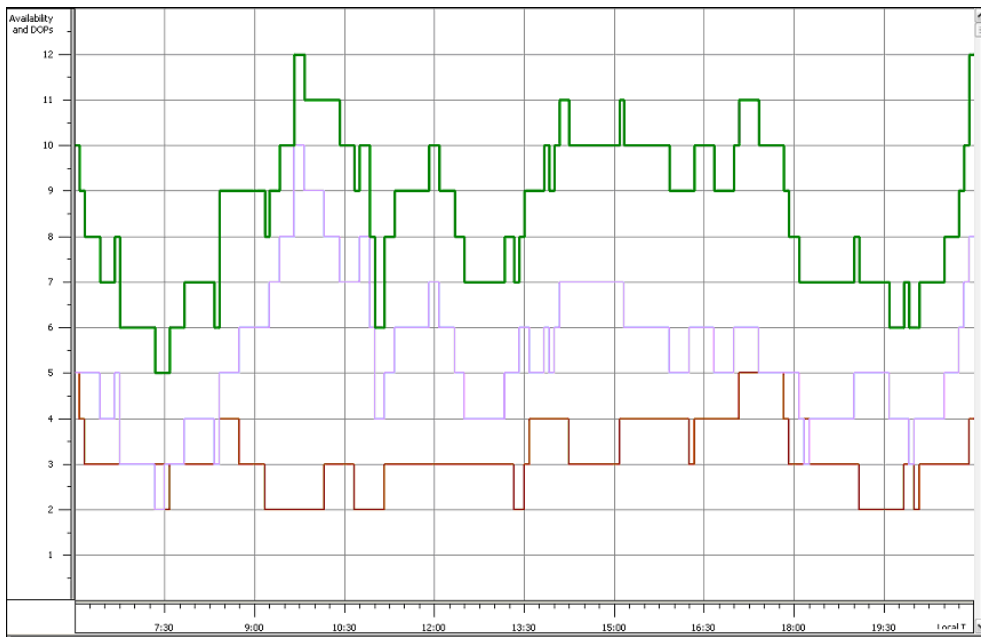
Figur G.3 Punkt 3



Figur G.4 Punkt 4

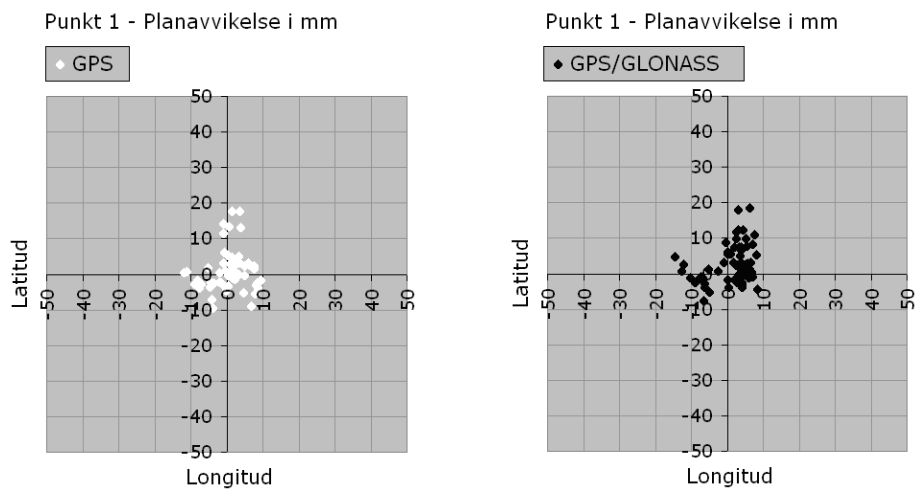


Figur G.5 Punkt 5

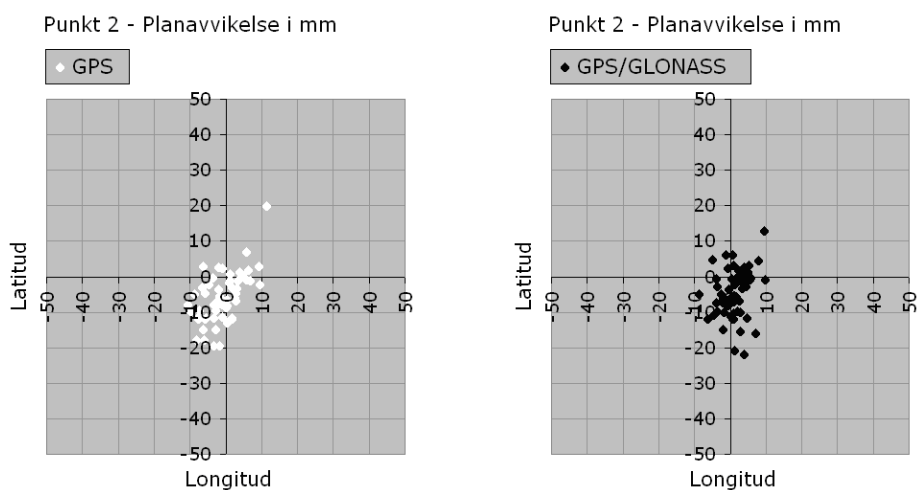


Figur G.6 Punkt 6

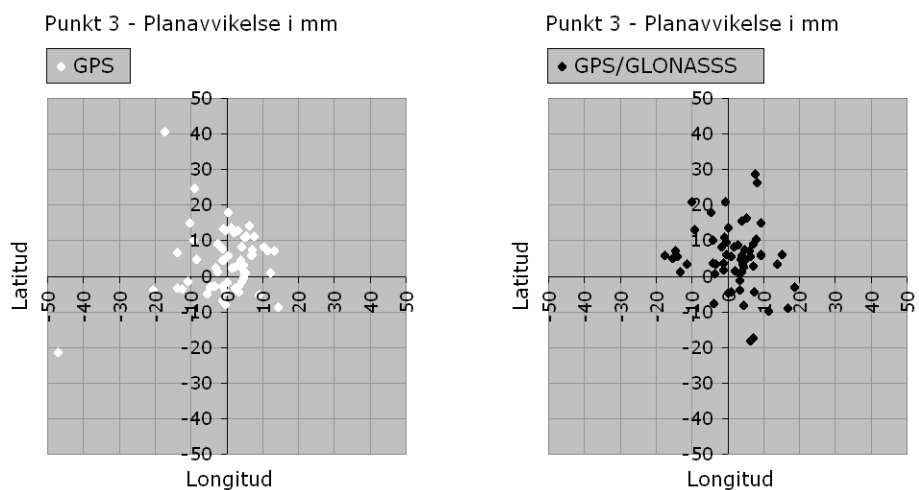
H - Punktklusterdiagram



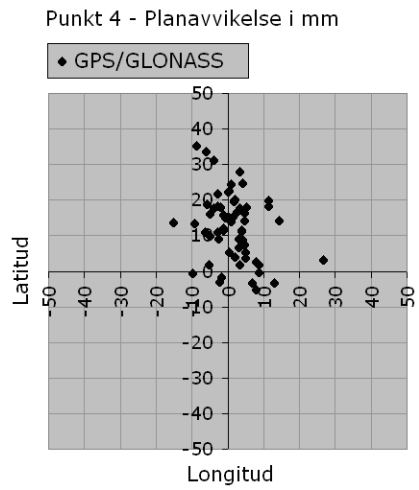
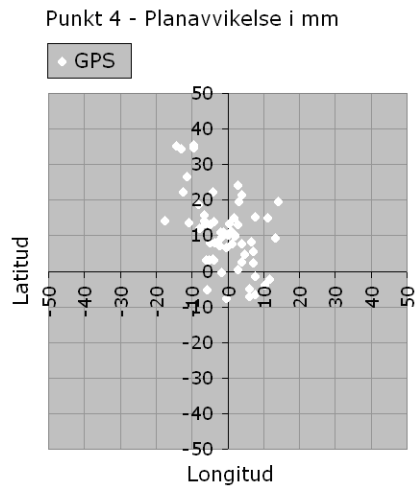
Figur H.1 Punkt 1 - Planavvikelse



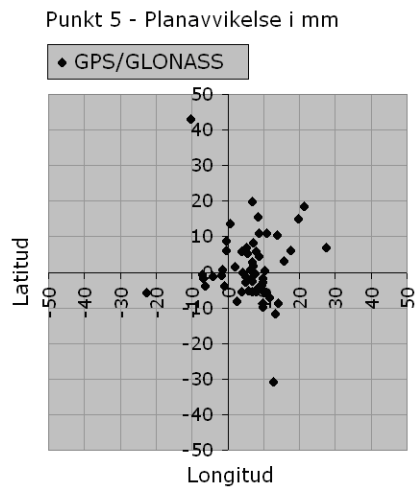
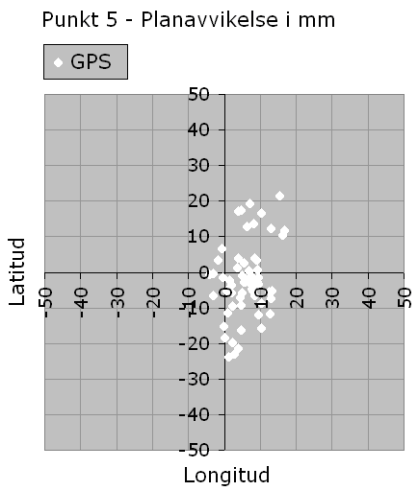
Figur H.2 Punkt 2 - Planavvikelse



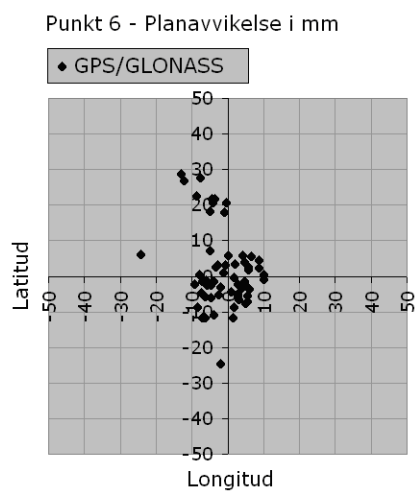
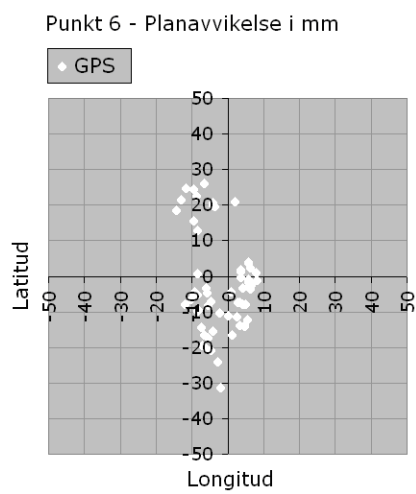
Figur H.3 Punkt 3 - Planavvikelse



Figur H.4 Punkt 4 – Planavvikelse



Figur H.5 Punkt 5 – Planavvikelse



Figur H.6 Punkt 6 – Planavvikelse

I - SWEPOS beräkning av statistiska mätningar

Resultat SWEPOS beräkningstjänst

=====
Jobb-ID: 05061802
Färdigräknat: 2005-06-18 11:44

Beställare: Dan Norin
t020082@student.htu.se

Indatafil: 10sy1670.05o
Punktnamn: **Punkt 1**

Mättid UTC: 2005-06-16 07:23
2005-06-16 13:27

Antenntyp: ASH701946.3
Antennhöjd: 1.048

Använda SWEPOS-stationer Vanersborg
Boras
Onsala
Jonkoping
Karlstad

För kontroll dessutom VaneAsaka
Smogen
Roro

Beräkningen har använt banddatafilen: igr05167.sp3

Kontroll av indata:

Antal epoker: 1456 av möjliga 1456 (100%)
Antal observationer: 10421 av möjliga 10867 (96%)

Koordinater för nypunkt:

SWEREF 99

X Y Z
SYLT 3287415.2831 715257.5091 5400615.3205

Latitud Longitud Höjd
SYLT 58 15 5.45261 12 16 29.25206 99.732

Norr(N) Öst(E) Projektion
SYLT 6459947.823 340073.091 SWEREF 99 TM

RT 90 2.5 gon V 0:-15

Norr(x) Öst(y)
SYLT 6464100.305 1292760.736 se Anm. 1
SYLT 6464100.274 1292760.744 se Anm. 2

Höjder

Höjd System
SYLT 64.862 RH 70 se Anm. 3

Kvalitetstal:

Baslinje
***** RMS Amb Res
(mm) (%)

SYLT-ASAK 1670 2.3 83.3
SYLT-BORA 1670 2.3 77.8
SYLT-JONK 1670 2.5 83.3
SYLT-KARL 1670 2.1 83.3
SYLT-ONSA 1670 2.2 90.0
SYLT-RORO 1670 2.1 83.3
SYLT-SMOG 1670 2.3 84.2
SYLT-VANE 1670 2.1 83.3

Medelvärde 2.2 83.7

RMS i slutlig fixlösning: 2.5 mm

Helmertransformering till SWEREF 99

Norr Öst Upp
(mm) (mm) (mm)

BORA.0 -1.1 2.1 4.1
JONK.0 0.1 -3.0 -3.5
ONSA.0 -1.2 -0.6 1.1
VANE.0 1.2 3.0 -4.3
KARL.0 1.1 -1.5 2.7
ASAK.0 (kontroll) 0.4 2.9 -13.5
SMOG.0 (kontroll) 12.1 -0.3 -5.4
RORO.0 (kontroll) 4.6 -2.3 -17.3

RMS/komponent 1.1 2.5 3.7

Grundmedelfel: 3.3 mm

Anm. 1

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med 7-parameterstransformation enligt LMV-rapport 2001:7 och med restfelskorrektion (filen Sweref99_trans-rt90_2001_09.tr1). Ger bästa möjliga RT 90-koordinater. Observera att om SWEREF 99-koordinaterna för nypunkten används för en tillfällig referensstation för GPS och transformation till RT 90 utan restfelskorrektion används för det som mäts in från referensstationen, så kommer avvikelser (restfel) att uppstå. Vill du veta mer om hur stort restfelet är i din region, titta gärna i bilaga 4 i LMV-rapport 2001:7 (http://www.lm.se/geodesi/litteratur/lmv-rapport_sw99.pdf)

Anm. 2

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med direktprojektion och utan restfelskorrektion. RT 90-koordinaterna blir sämre, men bör ändå användas för mätningar i RT 90 som ska checkas in i GDB-Alfa utan transformation. Detta för att undvika fel i SWEREF 99 när GDB-Alfa byter referenssystem.

Anm. 3

Transformation från SWEREF 99 till RH 70 har skett med geoidmodellen SWEN 01L och restfelskorrektion (filen Sweref99-rh70-diff_2002_05.tr1)

Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Telefon 026-63 37 53
Fax 026-65 42 75
E-post: swepos@lm.se

Resultat S7WEPOS beräkningstjänst

```

=====
Jobb-ID:                05062107
Färdigräknet:          2005-06-21 16:49

Beställare:            Dan Norin
                        swepos@lm.se

Indatafil:              2kull1710.05o
Punktnamn:              Punkt 2

Mättid UTC:            2005-06-20 07:12
                        2005-06-20 13:17

Antenntyp:              ASH701946.3
Antennhöjd:            1.062

Använda SWEPOS-stationer   Vanersborg
                        Boras
                        Onsala
                        Jonköping
                        Karlstad

För kontroll dessutom      VaneAsaka
                        Smogen
                        Kallandsö

Beräkningen har använt banddatafilen: cod05171.ep2
Rapid efter 16 h
  
```

Kontroll av indata:

Antal epoker: 1463 av möjliga 1463 (100%)
 Antal observationer: 10946 av möjliga 10947 (100%)

Koordinater för nypunkt:

SWEREF 99

```

*****
      X           Y           Z
Kull  3284342.4916  715819.6774  5402380.0562

      Latitud      Longitud      Höjd
Kull  58 16 54.69763  12 17 43.04558  84.388

      Norr(N)      Öst(E)      Projektion
Kull  6463276.288  341411.295  SWEREF 99 TM
  
```

RT 90 2.5 gon V 0:-15

```

*****
      Norr(x)      Öst(y)
Kull  6467414.550  1294139.563  se Anm. 1
Kull  6467414.518  1294139.573  se Anm. 2
  
```

Höjder

```

*****
      Höjd      System
Kull  49.593    RH 70      se Anm. 3
  
```

Kvalitetstal:

```

Baslinje
*****
                        RMS      Amb Res
                        (mm)     (%)
                        *****

SYLT-ASAK 1710      2.0      94.1
SYLT-BORA 1710      2.0      89.5
SYLT-JONK 1710      1.9      94.1
SYLT-KALL 1710      1.9      94.1
SYLT-KARL 1710      1.9      83.3
SYLT-ONSA 1710      2.0      78.9
SYLT-SMOG 1710      1.9      100.0
SYLT-VANE 1710      2.1      88.9
  
```

Medelvärde 2.0 90.1

RMS i slutlig fixlösning: 2.0 mm

Helmertransformering till SWEREF 99

```

*****
                        Norr      Öst      Upp
                        (mm)     (mm)     (mm)
                        *****

BORA.0      -0.2      1.6     -15.2
JONK.0      -0.4     -3.3      7.7
ONSA.0      -0.8      0.7      5.0
VANE.0       0.1      1.0      3.9
KARL.0       1.4      0.0     -1.4
ASAK.0 (kontroll) -0.6      1.5     -2.7
SMOG.0 (kontroll) 13.2      2.8      0.3
KALL.0 (kontroll)  3.8     -2.6      2.8
  
```

RMS/komponent 0.9 1.9 9.1

Grundmedelfel: 6.6 mm

Anm. 1

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med 7-parameterstransformation enligt LMV-rapport 2001:7 och med restfelskorrektion (filen Sweref99_trans-rt90_2001_09.tr1). Ger bästa möjliga RT 90-koordinater. Observera att om SWEREF 99-koordinaterna för nypunkten används för en tillfällig referensstation för GPS och transformation till RT 90 utan restfelskorrektion används för det som mäts in från referensstationen, så kommer avvikelser (restfel) att uppstå. Vill du veta mer om hur stort restfelet är i din region, titta gärna i bilaga 4 i LMV-rapport 2001:7 (http://www.lm.se/geodesi/litteratur/lmv-rapport_sw99.pdf)

Anm. 2

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med direktprojektion och utan restfelskorrektion. RT 90-koordinaterna blir sämre, men bör ändå användas för mätningar i RT 90 som ska checkas in i GDB-Alfa utan transformation. Detta för att undvika fel i SWEREF 99 när GDB-Alfa byter referenssystem.

Anm. 3

Transformation från SWEREF 99 till RH 70 har skett med geoidmodellen SWEN 01L och restfelskorrektion (filen Sweref99-rh70-diff_2002_05.tr1)

Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Telefon 026-63 37 53
 Fax 026-65 42 75
 E-post: swepos@lm.se

Resultat SWEPOS beräkningstjänst

=====
 Jobb-ID: 05061803
 Färdigräknat: 2005-06-18 12:05
 Beställare: Dan Norin
 t020082@student.htu.se
 Indatafil: 30von1660.05o
 Punktnamn: **Punkt 3**
 Mättid UTC: 2005-06-15 04:58
 2005-06-15 11:00
 Antenntyp: ASH701946.3
 Antennhöjd: 1.085

Använda SWEPOS-stationer Vanersborg
 Boras
 Onsala
 Jonköping
 Karlstad

För kontroll dessutom VaneAsaka
 Smogen
 Roro

Beräkningen har använt banddatafilen: igr05166.sp3

=====
 Kontroll av indata:

Antal epoker: 1453 av möjliga 1453 (100%)
 Antal observationer: 9252 av möjliga 10551 (88%)

=====
 Koordinater för nypunkt:

SWEREF 99

	X	Y	Z
Von	3284544.2974	713817.6311	5402540.4641
	Latitud	Longitud	Höjd
Von	58 17 3.70730	12 15 40.36851	100.678
	Norr(N)	Öst(E)	Projektion
Von	6463635.563	339425.227	SWEREF 99 TM

RT 90 2.5 gon V 0:-15

	Norr(x)	Öst(y)	
Von	6467797.827	1292156.716	se Anm. 1
Von	6467797.798	1292156.726	se Anm. 2

Höjder

	Höjd	System	
Von	65.839	RH 70	se Anm. 3

=====
 Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Kvalitetstal:

Baslinje

	RMS (mm)	Amb Res (%)
VON_-ASAK 1660	2.7	71.4
VON_-BORA 1660	2.7	66.7
VON_-JONK 1660	2.6	68.2
VON_-KARL 1660	2.6	71.4
VON_-ONSA 1660	2.6	75.0
VON_-RORO 1660	2.6	66.7
VON_-SMOG 1660	2.6	60.9
VON_-VANE 1660	2.6	68.2

 Medelvärde 2.6 68.4

RMS i slutlig fixlösning: 2.0 mm

Helmertransformering till SWEREF 99

	Norr (mm)	Öst (mm)	Upp (mm)
BORA.0	1.2	3.4	-20.4
JONK.0	-0.7	-3.4	8.5
ONSA.0	-0.8	-0.9	9.8
VANE.0	-1.4	0.9	1.1
KARL.0	1.8	0.1	1.0
ASAK.0 (kontroll)	0.6	-0.9	-0.3
SMOG.0 (kontroll)	17.8	6.8	2.9
RORO.0 (kontroll)	9.3	-0.1	6.1

 RMS/komponent 1.4 2.5 12.1

Grundmedelfel: 8.8 mm

=====
 Anm. 1

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med 7-parameterstransformation enligt LMV-rapport 2001:7 och med restfelskorrektion (filen Sweref99_trans-rt90_2001_09.tr1). Ger bästa möjliga RT 90-koordinater. Observera att om SWEREF 99-koordinaterna för nypunkten används för en tillfällig referensstation för GPS och transformation till RT 90 utan restfelskorrektion används för det som mäts in från referensstationen, så kommer avvikelser (restfel) att uppstå. Vill du veta mer om hur stort restfelet är i din region, titta gärna i bilaga 4 i LMV-rapport 2001:7 (http://www.lm.se/geodesi/litteratur/lmv-rapport_sw99.pdf)

Anm. 2

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med direktprojektion och utan restfelskorrektion. RT 90-koordinaterna blir sämre, men bör ändå användas för mätningar i RT 90 som ska checkas in i GDB-Alfa utan transformation. Detta för att undvika fel i SWEREF 99 när GDB-Alfa byter referenssystem.

Anm. 3

Transformation från SWEREF 99 till RH 70 har skett med geoidmodellen SWEN 01L och restfelskorrektion (filen Sweref99-rh70-diff_2002_05.tr1)

Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Telefon 026-63 37 53
 Fax 026-65 42 75
 E-post: swepos@lm.se

Resultat SWEPOS beräkningstjänst

```

=====
Jobb-ID:                05061801
Färdigräknet:          2005-06-18 11:24

Beställare:            Dan Norin
                       t020082@student.htu.se

Indatafil:              40ki1680.05o
Punktnamn:              Punkt 4

Mättid UTC:             2005-06-17 05:04
                       2005-06-17 11:06

Antenntyp:              ASH701946.3
Antennhöjd:             1.095

Använda SWEPOS-stationer  Vanersborg
                           Boras
                           Onsala
                           Jonkoping
                           Karlstad

För kontroll dessutom   VaneAsaka
                           Smogen
                           Kallandsö
  
```

Beräkningen har använt banddatafilen: cod05168.ep2
 Rapid efter 16 h

Kontroll av indata:

Antal epoker: 1449 av möjliga 1449 (100%)
 Antal observationer: 9437 av möjliga 10616 (89%)

Koordinater för nypunkt:

SWEREF 99

```

*****
      X           Y           Z
KIRT 3284111.0300 714092.5359 5402773.3676

      Latitud      Longitud      Höjd
KIRT 58 17 17.69941 12 16 2.50241 106.943

      Norr(N)      Öst(E)      Projektion
KIRT 6464053.433 339803.140 SWEREF 99 TM
  
```

RT 90 2.5 gon V 0:-15

```

*****
      Norr(x)      Öst(y)
KIRT 6468211.396 1292539.846 se Anm. 1
KIRT 6468211.366 1292539.856 se Anm. 2
  
```

Höjder

```

*****
      Höjd      System
KIRT 72.119    RH 70    se Anm. 3
  
```

Kvalitetstal:

```

Baslinje
*****
                        RMS      Amb Res
                        (mm)      (%)
                        *****
KIRT-ASAK 1680         2.8      53.6
KIRT-BORA 1680         2.8      46.2
KIRT-JONK 1680         2.7      50.0
KIRT-KALL 1680         2.7      48.1
KIRT-KARL 1680         2.8      46.2
KIRT-ONSA 1680         2.8      54.2
KIRT-SMOG 1680         2.9      53.8
KIRT-VANE 1680         2.8      50.0
  
```

Medelvärde 2.8 50.2

RMS i slutlig fixlösning: 2.0 mm

Helmertransformering till SWEREF 99

```

*****
                        Norr      Öst      Upp
                        (mm)      (mm)      (mm)
                        *****
BORA.0                 2.1      1.0      0.3
JONK.0                 1.1      -2.0     2.1
ONSA.0                -2.7     -1.7     -3.7
VANE.0                -1.9      2.8      4.8
KARL.0                 1.5      0.1     -3.5
ASAK.0 (kontroll)     0.8     -1.3     5.6
SMOG.0 (kontroll)    16.7      5.4    -13.7
KALL.0 (kontroll)     5.1      0.8    -14.3
  
```

RMS/komponent 2.2 2.0 3.7

Grundmedelfel: 3.3 mm

Anm. 1

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med 7-parameterstransformation enligt LMV-rapport 2001:7 och med restfelskorrektion (filen Sweref99_trans-rt90_2001_09.tr1). Ger bästa möjliga RT 90-koordinater. Observera att om SWEREF 99-koordinaterna för nypunkten används för en tillfällig referensstation för GPS och transformation till RT 90 utan restfelskorrektion används för det som mäts in från referensstationen, så kommer avvikelser (restfel) att uppstå. Vill du veta mer om hur stort restfelet är i din region, titta gärna i bilaga 4 i LMV-rapport 2001:7 (http://www.lm.se/geodesi/litteratur/lmv-rapport_sw99.pdf)

Anm. 2

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med direktprojektion och utan restfelskorrektion. RT 90-koordinaterna blir sämre, men bör ändå användas för mätningar i RT 90 som ska checkas in i GDB-Alfa utan transformation. Detta för att undvika fel i SWEREF 99 när GDB-Alfa byter referenssystem.

Anm. 3

Transformation från SWEREF 99 till RH 70 har skett med geoidmodellen SWEN 01L och restfelskorrektion (filen Sweref99-rh70-diff_2002_05.tr1)

Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Telefon 026-63 37 53
 Fax 026-65 42 75
 E-post: swepos@lm.se

Resultat SWEPOS beräkningstjänst

=====
 Jobb-ID: 05061409
 Färdigräknat: 2005-06-14 18:36
 Beställare: Dan Norin
 t020082@student.htu.se
 Indatafil: 50__1640.05o
 Punktnamn: **Punkt 5**
 Mättid UTC: 2005-06-13 04:13
 2005-06-13 10:17
 Antenntyp: ASH701946.3
 Antennhöjd: 1.042

Använda SWEPOS-stationer Vanersborg
 Boras
 Onsala
 Jonköping
 Karlstad

För kontroll dessutom VaneAsaka
 Smogen
 Kallandsö

Beräkningen har använt banddatafilen: cod05164.ep2
 Rapid efter 16 h

Kontroll av indata:

Antal epoker: 1456 av möjliga 1456 (100%)
 Antal observationer: 9918 av möjliga 10413 (95%)

Koordinater för nypunkt:

SWEREF 99

	X	Y	Z
KAL	3283401.7557	714794.0560	5403081.8383
	Latitud	Longitud	Höjd
KAL	58 17 37.89528	12 16 53.83092	83.481
	Norr(N)	Öst(E)	Projektion
KAL	6464643.883	340663.925	SWEREF 99 TM

RT 90 2.5 gon V 0:-15

	Norr(x)	Öst(y)	
KAL	6468791.850	1293408.179	se Anm. 1
KAL	6468791.819	1293408.190	se Anm. 2

Höjder

	Höjd	System	
KAL	48.685	RH 70	se Anm. 3

Kvalitetstal:

Baslinje

	RMS (mm)	Amb Res (%)
KAL_-ASAK 1640	2.4	71.4
KAL_-BORA 1640	2.5	71.4
KAL_-JONK 1640	2.4	71.4
KAL_-KALL 1640	2.4	71.4
KAL_-KARL 1640	2.4	71.4
KAL_-ONSA 1640	2.5	72.7
KAL_-SMOG 1640	2.4	71.4
KAL_-VANE 1640	2.4	76.2

 Medelvärde 2.4 72.2

RMS i slutlig fixlösning: 2.0 mm

Helmerttransformation till SWEREF 99

	Norr (mm)	Öst (mm)	Upp (mm)
BORA.0	1.0	0.7	-2.3
JONK.0	0.9	-1.8	3.8
ONSA.0	-2.6	-1.0	-3.6
VANE.0	0.2	2.8	6.5
KARL.0	0.6	-0.6	-4.4
ASAK.0 (kontroll)	3.0	-1.2	7.3
SMOG.0 (kontroll)	18.1	3.4	9.0
KALL.0 (kontroll)	5.9	2.2	0.3

 RMS/komponent 1.5 1.8 4.9

Grundmedelfel: 3.8 mm

Anm. 1

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med 7-parameterstransformation enligt LMV-rapport 2001:7 och med restfelskorrektion (filen Sweref99_trans-rt90_2001_09.tr1). Ger bästa möjliga RT 90-koordinater. Observera att om SWEREF 99-koordinaterna för nypunkten används för en tillfällig referensstation för GPS och transformation till RT 90 utan restfelskorrektion används för det som mäts in från referensstationen, så kommer avvikelser (restfel) att uppstå. Vill du veta mer om hur stort restfelet är i din region, titta gärna i bilaga 4 i LMV-rapport 2001:7 (http://www.lm.se/geodesi/litteratur/lmv-rapport_sw99.pdf)

Anm. 2

Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med direktprojektion och utan restfelskorrektion. RT 90-koordinaterna blir sämre, men bör ändå användas för mätningar i RT 90 som ska checkas in i GDB-Alfa utan transformation. Detta för att undvika fel i SWEREF 99 när GDB-Alfa byter referenssystem.

Anm. 3

Transformation från SWEREF 99 till RH 70 har skett med geoidmodellen SWEN 01L och restfelskorrektion (filen Sweref99-rh70-diff_2002_05.tr1)

=====
 Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Telefon 026-63 37 53
 Fax 026-65 42 75
 E-post: swepos@lm.se

Resultat SWEPOS beräkningstjänst

=====

Jobb-ID: 05062108
 Färdigräknat: 2005-06-21 17:06

Beställare: Dan Norin
 swepos@lm.se

Indatafil: 6nal1720.05o
 Punktnamn: **Punkt 6**

Mättid UTC: 2005-06-21 04:15
 2005-06-21 10:16

Antenntyp: ASH701946.3
 Antennhöjd: 1.033

Använda SWEPOS-stationer Vanersborg
 Boras
 Onsala
 Jonkoping
 Karlstad

För kontroll dessutom VaneAsaka
 Smogen
 Kallandsö

Beräkningen har använt banddatafilen: igu05172.sp3
 IGS UltraRapid Orbit

=====

Kontroll av indata:

Antal epoker: 1445 av möjliga 1445 (100%)
 Antal observationer: 10122 av möjliga 10515 (96%)

=====

Koordinater för nypunkt:

SWEREF 99

 X Y Z
 Nal 3281482.7987 713378.1151 5404479.2497

Latitud Longitud Höjd
 Nal 58 19 1.46733 12 15 53.92303 129.186

Norr(N) Öst(E) Projektion
 Nal 6467266.735 339793.855 SWEREF 99 TM

RT 90 2.5 gon V 0:-15

 Norr(x) Öst(y)
 Nal 6471426.565 1292569.080 se Anm. 1
 Nal 6471426.536 1292569.094 se Anm. 2

Höjder

 Höjd System
 Nal 94.401 RH 70 se Anm. 3

=====

Kvalitetstal:

Baslinje	RMS (mm)	Amb Res (%)
*****	*****	*****
NAL_-ASAK 1720	2.5	81.8
NAL_-BORA 1720	2.5	68.2
NAL_-JONK 1720	2.4	76.2
NAL_-KALL 1720	2.6	77.3
NAL_-KARL 1720	2.8	76.2
NAL_-ONSA 1720	2.6	63.6
NAL_-SMOG 1720	2.8	66.7
NAL_-VANE 1720	2.5	71.4

 Medelvärde 2.6 72.7

RMS i slutlig fixlösning: 2.4 mm

Helmertransformering till SWEREF 99

	Norr (mm)	Öst (mm)	Upp (mm)
*****	*****	*****	*****
BORA.0	-1.4	-0.4	-1.6
JONK.0	2.6	-2.2	-0.7
ONSA.0	-1.5	-0.8	3.0
VANE.0	-1.6	3.5	-2.9
KARL.0	2.0	0.1	2.2
ASAK.0 (kontroll)	3.2	-2.1	8.2
SMOG.0 (kontroll)	15.1	4.9	10.7
KALL.0 (kontroll)	8.3	-3.3	0.1

 RMS/komponent 2.1 2.1 2.5

Grundmedelfel: 2.7 mm

=====

Anm. 1
 Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med 7-parameterstransformation enligt LMV-rapport 2001:7 och med restfelskorrektion (filen Sweref99_trans-rt90_2001_09.tr1). Ger bästa möjliga RT 90-koordinater. Observera att om SWEREF 99-koordinaterna för nypunkten används för en tillfällig referensstation för GPS och transformation till RT 90 utan restfelskorrektion används för det som mäts in från referensstationen, så kommer avvikelser (restfel) att uppstå. Vill du veta mer om hur stort restfelet är i din region, titta gärna i bilaga 4 i LMV-rapport 2001:7 (http://www.lm.se/geodesi/litteratur/lmv-rapport_sw99.pdf)

Anm. 2
 Transformation från SWEREF 99 till RT 90 har skett med direktprojektion och utan restfelskorrektion. RT 90-koordinaterna blir sämre, men bör ändå användas för mätningar i RT 90 som ska checkas in i GDB-Alfa utan transformation. Detta för att undvika fel i SWEREF 99 när GDB-Alfa byter referenssystem.

Anm. 3
 Transformation från SWEREF 99 till RH 70 har skett med geoidmodellen SWEN 01L och restfelskorrektion (filen Sweref99-rh70-diff_2002_05.tr1)

=====

Vid frågor kontakta SWEPOS-driften:

Telefon 026-63 37 53
 Fax 026-65 42 75
 E-post: swepos@lm.se

Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriverket

- 2002:7 Persson Jan & Brynte Stefan: Kompatibilitet för nätverks-RTK-programvaran Trimble GPS-Net med olika typer av rörliga mottagare.
- 2003:4 Engfeldt Andreas, Norin Dan, Nielsen Jan, Holm Warming Louise, Grinde Gro, Johansson Daniel, Lilje Christina, Nilsson Andreas, Wiklund Peter, Kempe Tina, Frisk Anders: The 2002 NKG GNSMART/GPSNet test campaign.
- 2003:8 Vejdeland Sofia & Dahlberg Liselotte: Tolkarhet av GGD-objekt i bilder registrerade av olika sensorer.
- 2003:10 Engfeldt Andreas & Jivall Lotti: Så fungerar GNSS.
- 2003:11 Alm Malin & Munsin Anna-Stina: Traditionell RTK kontra nätverks-RTK - en noggrannhetsjämförelse.
- 2003:12 Jonsson Albert & Nordling Anders: Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät.
- 2004:1 Peterzon Martin: Distribution of GPS-data via Internet.
- 2004:4 Andersson Maria: Deformationer av fasta geometrier - en metodstudie.
- 2004:7 Valdimarsson Runar Gisli: Interpolationsmetoder för restfelshantering i höjddled vid höjdmätning med GPS.
- 2004:11 Kempe Christina: Väst-RTK - nätverks-RTK i produktions-test 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 L, Lidberg M, Nørbech N, Weber M: Processing of the NKG 2003 GPS Campaign.

L A N T M Ä T E R I E T



Vaktmästeriet 801 82 GÄVLE Tfn 026 - 65 29 15 Fax 026 - 68 75 94
Internet: www.lantmateriet.se