

Test av GNSS- mottagare från DataGrid



Examensarbete av Jonas Lord

Gävle 2010

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2010-08-16

Författare Jonas Lord

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 58

LMV-Rapport 2010:7 – ISSN 280-5731

Test av GNSS- mottagare från DataGrid



Examensarbete av Jonas Lord

Gävle 2010

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Examensarbetet ni håller framför er är ett resultat av min sista studieinsats på Högskolan Västs lantmäteringengörsutbildning. Här vill jag rikta ett stort tack till dem som hjälpt mig genom slutspurten.

Dan Norin på Lantmäteriet har som personlig handledare varit till ovärderlig hjälp med sin tillgänglighet och breda kunskap. Med ytterligare stöd från Bo Jonsson och Stefan Öberg har examensarbetet tagit form.

Tack också till Caliterra AB, och främst Lars Gustafson, för engagemang och lån av utrustning. Utan GNSS-mottagare hade vi inte kommit någon vart över huvud taget!

Slutligen vill jag ge en eloge till Gunnar Starke, min handledare på Högskolan Väst, och Eva Sandström; två lärare som vet var skåpet ska stå (på millimeternivå).

Göteborg, augusti 2010

Jonas Lord

Sammanfattning

Idag används nätverks-RTK i stor omfattning vid detaljinmätning, maskinguidning m.m. runt om i Sverige. Tekniken lanserades i början av 2000-talet i regi av SWEPOS. Tjänsten som än idag byggs ut för ständigt bättre täckning kallas SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.

Som brukare av tjänsten behövs geodetisk GNSS-utrustning och möjlighet att koppla upp sig mot nätverks-RTK-tjänsten. Idag finns sådan utrustning av flera olika fabrikat på marknaden, där Trimble, Leica och Topcon dominerar. Ett fabrikat som i Sverige hittills inte fått särskilt mycket uppmärksamhet är DataGrid.

Syftet med detta examensarbete har varit att testa DataGrids utrustning tillsammans med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst för att kunna framställa mått på osäkerheten i dess mätningar. Utrustningen skulle även testas för statistisk mätning med efterberäkning i SWEPOS beräkningstjänst.

Testmätningar har genomförts på fyra punkter som inledningsvis mättes in statistiskt. Avvikelse och statistiska mått på testmätningarna har sedan framställts i kalkylprogram. Resultatet av beräkningarna har analyserats.

Analysen visar att utrustningen presterar jämligt med vad tidigare studier av nätverks-RTK-mätning fastställt som ungefärligt a priori-medelfel. Osäkerheten i testmätningarna är alltså av den storlek som man skulle kunna förvänta sig av denna typ av utrustning.

Ingen större vikt läggs vid den statistiska testmätningen, utan det har bara konstaterats att den enstaka mätning som genomfördes gick att räkna i SWEPOS Beräkningstjänst.

Abstract

Today, network RTK is used in large scale for detail surveying around Sweden. The technology was launched in Sweden in the beginning of the 2000's, directed by SWEPOS. The service, that is still expanding for ever-better land coverage is called SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (SWEPOS Network RTK service).

To use the service geodetic GNSS equipment is required, together with communication abilities such as GSM or GPRS. Today, such equipment is available from various brands in the market, where Trimble, Leica and Topcon are the dominating ones. A brand which in Sweden so far has not received much attention is DataGrid.

The purpose of this thesis was to test DataGrid's GNSS equipment with SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst in order to produce measures of uncertainty in its measurements. A test of the ability to perform static measurements with the calculation of the estimate SWEPOS service has also been implemented.

Test measurements have been carried out on four points that as a start were determined with static measurements. Discrepancies and statistical measures of test measurements have then been produced in a spreadsheet. The result obtained has been analyzed.

The analysis shows that the equipment performs equally with what previous studies of network RTK measurements have determined as rough a priori errors. The uncertainty of the test measurements are therefore of the size which you would expect from this type of equipment.

Not much attention is paid to the static test measurement, it has only been established that it was possible to calculate the single measurement that was conducted in SWEPOS Processing Service.

Test av GNSS-mottagare från DataGrid

	Förord	5
	Sammanfattning	7
	Abstract	8
1	Inledning	13
1.1	Bakgrund	13
1.2	Syfte	13
2	GNSS-utrustning från DataGrid	14
2.1	MK3 Chameleon	14
2.1.1	Användargränssnitt	15
2.1.2	Dataöverföring	16
2.1.3	Anslutningar	16
2.2	Carlson Surveyor +	17
2.2.1	Användargränssnitt	18
2.2.2	Funktioner	18
2.2.3	Dataöverföring	19
2.2.4	Anslutningar	20
2.3	Antenn	20
2.4	Tillbehör	21
3	GNSS	23
3.1	GPS	23
3.1.1	Rymdsegmentet	23
3.1.2	Kontrollsegmentet	24
3.1.3	Användarsegmentet	24
3.2	GLONASS	24
3.3	Källor till osäkerhet i mätningar	25
3.3.1	Satellitkonfiguration och DOP-tal	25
3.3.2	Satellitklockans osäkerhet	26

3.3.3	Mottagarklockans osäkerhet	26
3.3.4	Jonosfärspåverkan	27
3.3.5	Troposfärspåverkan	27
3.3.6	Bandatafel	27
3.3.7	Flervägsfel	27
3.3.8	Sikthinder	27
3.4	Signalsystem	28
3.4.1	Kodmätning	28
3.4.2	Bärvågsmätning	29
3.5	Mätningmetoder	29
3.5.1	Absolut mätning	29
3.5.2	Relativ mätning	30
3.5.2.1	Nätverks-RTK	30
4	SWEPOS	31
4.1	SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst	32
4.2	SWEPOS beräkningstjänst	32
5	Kvalitetstermer	33
5.1	GUM	33
5.2	Feltyper	33
5.3	Riktighet	34
5.4	Precision	34
5.5	Noggrannhet	34
5.6	Sambandet mellan riktighet, precision och noggrannhet	35
5.7	Sigmanivå	35
6	Metod och genomförande	36
6.1	Förberedande arbete	36
6.2	Fältmätningsområde och mätpunkter	36
6.3	Utrustning och konfiguration	38
6.4	Mätstrategi	39
6.4.1	Mätschema	40
6.5	Efterbehandling och analys av mätdata	40
6.6	Statisk testmätning	41
7	Resultat	42
7.1	Plan	43
7.2	Höjd	44
7.3	Initialiseringstid	44
7.4	Antal satelliter	44
7.5	PDOP	45

7.6	Statisk testmätning	45
8	Diskussion	46
8.1	Mätresultat	46
8.2	Statisk testmätning	47
8.3	Utrustning	48
9	Slutsatser	49
	Källförteckning	50
	Bilaga A – Resultat för respektive punkter	52
	Punkt A	52
	Punkt B	53
	Punkt C	54
	Punkt D	55
	Bilaga B – Resultat för samtliga punkter	56

Test av GNSS-mottagare från DataGrid

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Satellitbaserad positionsbestämning och navigering sker i dag i bred omfattning. Huvudsakligen används det amerikanska satellit-systemet Global Positioning System (GPS), men även det ryska GLONASS används. Ett gemensamt namn för samtliga system är Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Real Time Kinematic (RTK) kallas den mätteknik där centimeternoggrannhet kan erhållas i realtid. Användaren är då utrustad med en GNSS-mottagare med tillhörande kommunikationsutrustning.

På marknaden finns ett antal leverantörer av GNSS-utrustning, där Leica, Topcon och Trimble är de dominerande fabrikaten. Dessa fabrikat har testats i stor utsträckning för både statisk mätning och för RTK-mätning, även i kombination med den tjänst för s.k. nätverks-RTK som SWEPOS[®] erbjuder. SWEPOS[®] är ett nationellt nät av fasta referensstationer för GNSS som drivs av Lantmäteriet. Det finns dock flera andra GNSS-fabrikat, där ett är DataGrid.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att framställa en rapport som redovisar osäkerheten i positioner framställda med DataGrids GNSS-mottagare. Statistiska mått på osäkerheten i positionerna kommer att redovisas tillsammans med en analys. I rapporten kommer även en allmän beskrivning och utvärdering av GNSS-mottagaren att inkluderas. Den färdiga rapporten kommer att tryckas i ett antal exemplar av Lantmäteriet.

2 GNSS-utrustning från DataGrid

Utrustningen från DataGrid består av GNSS-mottagaren MK3 Chameleon, en GNSS-antenn, fältdatorn Carlson Surveyour + och tillhörande kablage och fästen.

2.1 MK3 Chameleon

Mottagaren kan tillsammans med antennen ensam ta emot och lagra GNSS-data. Vid t.ex. statisk mätning räcker det med att slå på enheten och data börjar lagras automatiskt. Rådata lagras kontinuerligt i en mk3-fil vilken sorts mätning det än handlar om. Funktionen att lagra rådata kan stängas av. Vid detaljmätning används mottagaren tillsammans med en fältdator.

Mottagaren kan konfigureras på en mängd olika vis. Exempel på inställningsmöjligheter är GLONASS av/på, exkludering av specifika satelliter, val av elevationsgräns, konfigurering av Kalmanfilter, uppdateringsfrekvens, antennhöjd etc.

Det inbyggda batteriet, som är av typen Lithium-ion polymer, ska vid full laddning räcka för drygt nio timmars kontinuerligt användande.

Mottagaren kan fästas vid stång eller stativ med en speciell anordning och väger 0,8 kg.



Figur 1: MK3 Chameleon betraktad framifrån och från sidan.

2.1.1 Användargränssnitt

Nedan följer en beskrivning av mottagarens användargränssnitt vid användning utan fältdator (se figur 2).

Med hjälp av piltangenterna kan användaren välja vilken information som ska visas i displayen. Fem lägen finns att välja på (uppe t.h.); Battery gauge, SVs tracked, SVs in solution, Transceiver och Mark & Set. Tangenten med en prick används som "enter".



Figur 2: Mottagarens användargränssnitt.

- Battery gauge – Visar hur många procent av det interna batteriets kraft som kvarstår.
- SVs tracked – Visar antalet synliga satelliter.
- SVs in solution – Visar antalet satelliter som används för att åstadkomma fixlösning.
- Transceiver – Om radiokommunikation används så går det att i detta läge att ändra frekvens.
- Mark & Set – Läget kan användas för att lagra punkter utan behov av fältdator. I displayen kan val av eventuell punktkod göras. 99 koder finns att välja på.

De fyra lamporna strax under displayen indikerar följande.

- Fix – Lyser när fixlösning uppnåtts.
- Float – Lyser när periodobekanta ej ännu är fullt lösta, även kallat flytlösning.
- DGPS – Endast DGPS används.
- Rx/Tx – Lampan blinkar eller lyser med stadigt sken när mottagaren skickar eller tar emot korrektionsdata vis GSM, GPRS eller radiolänk.

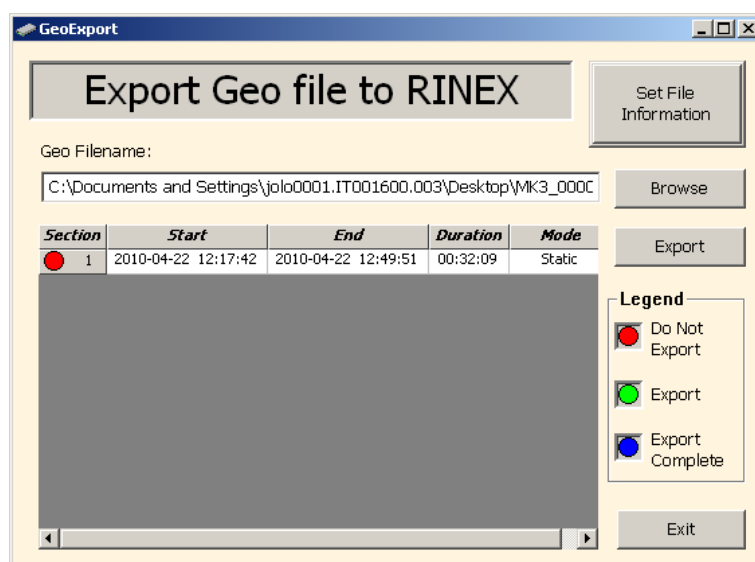
Tangenten med ett streck i slår på eller stänger av mottagaren. On/Off-lampan indikerar att mottagaren är på och Charge lyser när laddning av batteriet pågår.

2.1.2 Dataöverföring

I detta examensarbete har endast ett sätt att överföra data till PC testats, vilket beskrivs nedan. Detta gjordes i samband med en statisk testinmätning.

Rådata lagras kontinuerligt (om så är valt) i en fil med namnet MK3_0000.mk3. Varje gång mottagaren startas om startas en ny session av rådatalagring som avskiljs inuti filen. Om exempelvis statisk mätning genomförts på flera olika punkter under samma dag kan dessa separeras när data överförs i slutet av dagen.

Mottagaren ansluts till PC med kabel (se figur 19). För att PC:n ska kunna identifiera mottagaren behöver den sättas på. Microsoft ActiveSync behöver vara installerat på PC:n. Via ActiveSync kommer man åt mottagarens filsystem. Mk3-filen kopieras till PC:n. För att kunna läsa mk3-filen behöver den importeras till programmet GeoExport. I GeoExport syns vilka perioder mottagaren varit påslagen (se figur 3). Dessa kan var för sig, eller tillsammans exporteras till en RINEX-fil för t.ex. efterberäkning i SWEPOS beräkningstjänst. Mk3-filen kan efter avslutad dataöverföring raderas från mottagaren om så önskas, då en ny sådan skapas nästa gång mottagaren går igång.



Figur 3: GeoExport med importerad rådata.

2.1.3 Anslutningar

Nedan beskrivs anslutningarna på mottagarens ovansida (se figur 4).



Figur 4: Mottagarens ovansida.

- RADIO/GSM-ANT – Här kan radio- eller GSM-antenn anslutas. Används även vid GPRS-kommunikation.
- TRANSC – Detta är en com-port med strömförsörjning. Kan användas till exempelvis externa radiomottagare/sändare.
- POWER – Här ansluts batteriladdaren.

Nedan beskrivs anslutningarna på mottagarens undersida (se figur 5).



Figur 5: Mottagarens undersida.

- ANA 1 och ANA 2 – Analoga portar för anslutning av sensorer.
- COM – Detta är en com-port för anslutning av en digital enhet, t.ex. fältdator.
- GPS-ANT – Här ansluts GNSS-antennen.

Förutom ovan nämnda anslutningar är mottagaren utrustad med Bluetooth för kommunikation med t.ex. en fältdator.

Alla fysiska anslutningar skyddas från damm och väta. Mottagaren håller standard enligt IP 65.

2.2 Carlson Surveyor +

Fältdatorn Carlson Surveyor + (se figur 6) kommer tillsammans med programvaran SurvCE från det amerikanska företaget Carlson. Fältdatorns operativsystem är Windows CE. För enkelhetens skull benämns hädanefter Carlsson Surveyor + och SurvCE tillsammans

”fältdatorn” eftersom dessa delar alltid används ihop under mätningar i detta examensarbete.

Fältdatorn har enligt tillverkaren en maximal batteritid på 8 till 10 timmar, bl.a. beroende på hur flitigt displayens bakgrundsbelysning används. Batteriet är av typen Lithium-ion.

Fältdatorn kan monteras på stång med ett speciellt fäste men går även bra att hålla i handen. Dess vikt är ca 0,9 kg (~ 2 lbs).



Figur 6: Fältdatorn Carlson Surveyor +.

2.2.1 Användargränssnitt

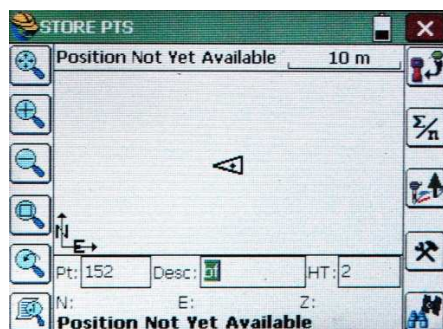
Fältdatorn är utrustad med en touch screen-display med tillhörande pekpenna som kan fästas på ovansidan av mottagaren. Även traditionell knappsats finns att tillgå. SurvCE är en engelskspråkig programvara. Dock finns enligt tillverkaren ett tillägg för svensk översättning som i princip är komplett.

2.2.2 Funktioner

Fältdatorn fungerar som en kompletterande enhet till MK3 Chameleon. Tidigare nämndes att många inställningsmöjligheter fanns i mottagaren. Många av dessa inställningar kan även göras i fältdatorn, utan att mottagarens inställningar förändras. Om konflikt uppstår så används automatiskt fältdatorns inställningar i första hand.

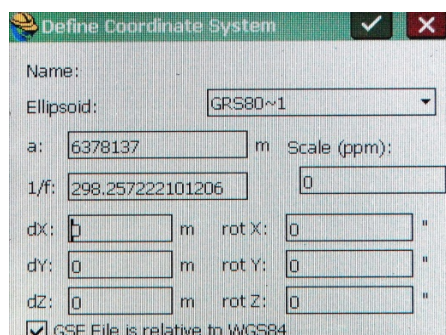
SurvCE innehåller ett flertal funktioner för inmätning och utstakning av punkter. Nedan listas ett urval.

- Inmätning av punkter (med automatisk uppräknings av punktnummer (se figur 7)).
- Utstakning av punkter.
- Utstakning av linjer/bågar.
- Utstakning utifrån baslinje.
- Inmätning med bestämda tids- eller avståndsintervall.
- Inmätning med medelvärdesbildning.



Figur 7: Inmätning av punkter.

I fältdatorn finns möjlighet att lägga in transformationsparametrar för omvandling av koordinater till önskat geodetiskt referenssystem (se figur 8). Många förinställda referenssystem finns även att välja på. För omvandling av höjder finns flera geoidmodeller att tillgå. Dessa kan också definieras efter behag.



Figur 8: Definiering av koordinatsystem.

2.2.3 Dataöverföring

Under utförandet av examensarbetet har endast ett sätt att överföra data från fältdator till PC testats, nämligen export av mätdata till ASCII-fil (se figur 9).

ASCII-filen, med filändelsen *.txt skapas i fältdatorn. Filen förs över till PC:n via USB-kabel. Ett krav är att Microsoft ActiveSync finns installerat på PC:n då detta används vid identifiering av fältdatorn som mobil enhet. Genom ActiveSync går det att komma åt fältdatorns lagringsminne där ASCII-filen i fråga återfinns. I filen

redovisas punktnummer, koordinater i nordlig och östlig riktning, höjd, HRMS, VRMS, status på lösning, antal satelliter som använts i beräkning av position och PDOP. Möjlighet finns att även exportera punktkoder till filen.

```
test100419.txt - Notepad
File Edit Format View Help
1 6728439.9852 184578.7824 42.8988 HRMS:0.002 VRMS:0.002 STATUS:FIXED SATS:8 PDOP:1.6
2 6728433.4197 184562.6566 43.7952 HRMS:0.004 VRMS:0.005 STATUS:FIXED SATS:9 PDOP:1.5
3 6728403.8108 184537.8005 44.3394 HRMS:0.007 VRMS:0.010 STATUS:FIXED SATS:10 PDOP:1.5
4 6728393.2044 184494.3530 45.0392 HRMS:0.003 VRMS:0.004 STATUS:FIXED SATS:10 PDOP:1.3
```

Figur 9: ASCII-fil med punktinformation.

2.2.4 Anslutningar

Fältdatorns anslutningar beskrivs här mycket kortfattat.

Carlson Surveyor + har två USB-portar, varav den ena (t.v.) används vid dataöverföring till PC. Vidare finns två seriella nio-stifts com-portar och ett uttag för laddare. (se figur 10) För kommunikation med mottagaren används Bluetooth.



Figur 10: Fältdatorns baksida.

2.3 Antenn

Antennen kommer från det svenska företaget Gutek AB. Antennen ansluts till mottagaren med antennkabel och tar emot både L1 och L2. Den har en vikt på 0,25 kg.

I dagsläget finns ingen modell för antennen inlagd i programvaran bakom SWEPOS beräkningstjänst.



Figur 11: Antennen ovanifrån.



Figur 12: Antennen underifrån.



Figur 13: Antennen från sidan.

2.4 Tillbehör



Figur 14: Fäste för mottagare.



Figur 15: Fäste för fältdator.



Figur 16: Laddare för mottagare.



Figur 17: Laddare för fältdator.



Figur 18: Antennkabel.



Figur 19: USB-sladd för mottagare.



Figur 20: Datakabel för mottagare.



Figur 21: USB-sladd för fältdator.



Figur 22: GSM/GPRS-antenn.

3 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) är en generell term som benämner de navigationssystem som är baserade på satelliter. Grundidén är att man med hjälp av radiovågor, utsända från ett flertal satelliter med kända positioner, kan bestämma avstånd mellan satelliterna och en mottagare på marken. Med dessa mätta avstånd räknas mottagarens position fram genom inbindning, varpå detta redovisas i form av latitud, longitud och höjd. [1]

Idag finns två GNSS att använda sig av. Det mest kända och utbredda av dessa är det amerikanska GPS (Global Positioning System). Det andra är GLONASS (på engelska: GLobal NAVigation Satellite System) som utvecklats i Ryssland. Andra aktuella system är det europeiska Galileo och det kinesiska Compass, som båda är under utveckling.

I denna teoretiska del av rapporten kommer störst vikt att läggas vid GPS. GLONASS kommer att beskrivas i orienterande syfte då även detta system använts vid mätningar i examensarbetet.

3.1 GPS

GPS är i dagsläget det enda fullt operationella GNSS-systemet. Det började utvecklas i början av 1970 av det amerikanska försvarsdepartementet som sedan dess står för driften av systemet. I juli 1993 var systemet komplett med 24 uppskickade satelliter i omloppsbanan kring jorden. [2]

GPS-tjänsten är gratis att nyttja och används idag i bilar, vid sjönavigation, byggmätning, stadsplanering och till militära ändamål. Tjänsten är ett så kallat passivt system där satelliterna endast sänder ut information till användarna. [2] Dock finns det flera kompletterande system som ger extra stadga åt GPS-systemet där det kan förhålla sig på annat vis. Mer om detta i avsnitt 3.5 Mätningmetoder.

GPS använder sig av referenssystemet WGS 84 för utsända banddata, med tillhörande ellipsoid. [3]

I GPS-systemet ingår tre segment som tillsammans möjliggör positionering ovanför jordytan; rymdsegmentet, användarsegmentet och kontrollsegmentet. [2]

3.1.1 Rymdsegmentet

I rymdsegmentet ingår minst 24 satelliter som kretsar kring jorden.

GPS-satelliterna är ordnade i sex omloppsbanor kring jorden där varje omloppsbanan delas av max 5 satelliter. Denna geometriska konstellation gör det möjligt att ha kontakt med 4-10 satelliter var i

världen man än befinner sig då en minimal elevationsgräns på 10 grader används.

Satelliterna kretsar kring jorden i elliptiska banor med en maximal excentricitet på 0,01 m på en höjd av ca 20 200 km. Satelliterna har en inklinationsvinkel på 55 grader mot ekvatorn, vilket gör att de vänder ungefär i höjd med Bornholm, och de har en siderisk omloppstid på ca 12 timmar. [2]

3.1.2 Kontrollsegmentet

Kontrollsegmentet består av ett världsomspännande nätverk av övervakningsstationer vars uppgift är att kontrollera satelliternas positioner, systemets tillförlitlighet, satellitklockornas beteende, atmosfärdata, satellitalmanackan m.m. All nämnd information skickas frekvent upp till satelliterna via radiolänk för att dessa ska kunna verka tillsammans på ett så synkront sätt som möjligt. [2]

Fram till augusti 2005 fanns det 5 kontrollstationer runt om i världen. En av dessa är huvudkontrollstationen ("master control station") som är belägen i Colorado Springs i USA där även driftledningscentralen finns. Dessa fem stationer har kompletterats med ytterligare ett tiotal stycken. Utökningen i fråga gjorde att det numera är möjligt för en satellit att alltid ha kontakt med minst två kontrollstationer. Detta gör att satelliternas banor kan beräknas mer exakt och ger i slutändan användaren en mindre osäker position. [5]

3.1.3 Användarsegmentet

Användarsegmentet inkluderar både det militära och det civila användandet av systemet där GPS-antennen kopplad till GPS-mottagaren ger användaren en position. [2]

3.2 GLONASS

1976 började utvecklingen av GLONASS, som från början var tänkt att användas av Sovjets armé. 1982 började man uppskjutningen av satelliterna, och 1995 var satellitkonstellationen komplett. Inte långt därefter började GLONASS, tillsammans med den ryska ekonomin, att brytas ned. En orsak till GLONASS förfall var satelliternas relativt korta livstid. I början av 2001 tillkännagav Ryssland att en återställning av systemet skulle påbörjas. Planen är nu att GLONASS 2011 ska bli ett navigationssystem som presterar i paritet med det amerikanska GPS. [6]

GLONASS är liksom GPS fritt för allmänheten att nyttja, men bl.a. på grund av att systemet ännu ej är komplett så används det till största delen till att komplettera GPS.

Referenssystemet för utsända banddata som GLONASS använder sig av är PZ-90 som ungefär motsvarar WGS 84. [7]

Liksom hos GPS kan man dela in GLONASS i tre segment som i princip fungerar på samma sätt.

Rymdsegmentet består hos GLONASS i dagsläget av 21 operationella satelliter och två reserver. [8] Som tidigare nämnts är planen att ha 24 operationella satelliter i bruk 2011.

Satelliternas inklinationsvinkel är 64,8 grader, vilket är i höjd med Skellefteå. Då denna vinkel är högre än GPS-satelliternas innebär detta att vi här i Sverige skulle få bättre täckning med GLONASS än med GPS om vi ponerar att båda systemen skulle ha lika många verksamma satelliter i systemet. Satelliterna kretsar kring jorden på en höjd av 19 100 km och har en omloppstid på ca 11 timmar och 15 minuter. [3]

En nackdel med GLONASS kontrollsegment är att alla kontrollstationer är belägna i forna Sovjetunionens territorier. Detta betyder att en satellit kan förbli okontrollerad under en del av omloppstiden då fel inte kan upptäckas. [9]

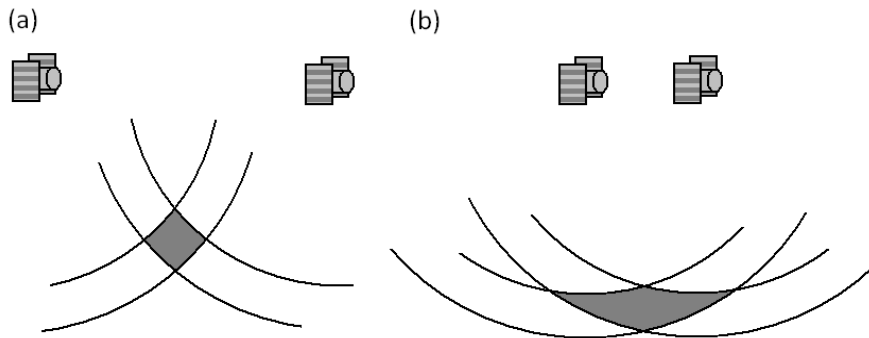
3.3 Källor till osäkerhet i mätningar

3.3.1 Satellitkonfiguration och DOP-tal

Vid GNSS-mätning är det viktigt att man har kontakt med tillräckligt många satelliter, alltså minst fyra stycken. Utöver detta är det av vikt att en så bra satellitgeometri som möjligt råder vid mätningstillfället. En god satellitgeometri erhålls när satelliterna är väl utspridda över himlavalvet, både i höjd och i horisontalvinkel, sett från mottagarens perspektiv. [2]

Att högre osäkerhet kommer med dålig spridning på satelliterna är ett geometriskt faktum. Eftersom det ligger en osäkerhet i varje mätt avstånd mellan satellit och mottagare uppstår följaktligen en osäkerhet i positionen på marken. Denna osäkerhet är mer eller mindre centrerad beroende på vinkeln mellan satelliterna. [2] Se det förenklade exemplet i figur 23, där den grå ytan symboliserar osäkerhetens utbredning.

Satellitgeometrin kan mätas med ett enhetslöst tal som kallas DOP (Dilution Of Precision). Ett lågt DOP-tal tyder på en liten osäkerhet p.g.a satellitgeometrin medan ett högt tyder på motsatsen. [2]



Figur 23: God satellitgeometri (a) och dålig satellitgeometri (b).

Det finns flera olika varianter av DOP-tal. Är man intresserad av att få ett värde på satellitgeometrin endast i vertikal- eller horisontalled kan VDOP (Vertical DOP) eller HDOP (Horizontal DOP) användas. För den tredimensionella geometrin används PDOP (Position DOP), som är en kombination av VDOP och HDOP. Ett annat förekommande DOP-tal är TDOP (Time DOP) där osäkerheten i tid spelar in. Slår man ihop TDOP och PDOP får man GDOP (Geometric DOP). [2]

3.3.2 Satellitklockans osäkerhet

I alla satelliter sitter atomur som ska vara synkroniserade med officiell GPS-tid. Det finns dock alltid en instabilitet i den synkningen där varje klocka går lite fel, oberoende av varandra. Satelliternas atomur tillåts att avvika maximalt en millisekund från GPS-tiden. Dock kan atomuren inte ständigt justeras till rätt tid, utan i stället fastställer man, via kontrollstationerna på marken, storleken på urets avvikelse från GPS-tiden som sedan skickas upp till satelliterna för vidarebefordran till mottagare i användarsegmentet. Det är alltså av vikt att mottagaren ägnar dessa korrekitioner uppmärksamhet. [1]

Satelliternas atomur är byggda att gå något snabbare än vad de "borde". Detta för att en klocka i omloppsbanan kring jorden går lite långsammare än en identisk sådan på jordytan. Hur mycket snabbare atomuret behöver gå har beräknats med hjälp av Einsteins relativitetsteorier. [10]

3.3.3 Mottagarklockans osäkerhet

Klockan i mottagaren är till skillnad från de i satelliterna inget atomur, utan en vanlig oscillator. En oscillator är inte lika exakt som ett atomur och påverkas av yttre omständigheter som temperatur, rörelse och vibrationer. Oscillatorns interna signal ligger till grund för bärvågsmätning.

Vid bärvågsmätning kan klockans osäkerhet elimineras genom s.k. dubbeldifferenser. Vid absolut mätning kan endast osäkerheten minimeras genom att mottagaren har kontakt med minst fyra satelliter. [1] [9]

3.3.4 Jonosfärspåverkan

I jonosfären, som ligger 50 till 1 000 km ovanför jordytan, utsätts GPS-signalerna för en negativ påverkan. Dels genom en fördröjning, dels genom att signalen missriktas. Olika typer av signaler påverkas olika mycket. Ju lägre elevationsvinkel en satellit har, desto mer påverkas dess signal. Detta sker på grund av att jonosfären innehåller elektriskt laddade partiklar som påverkar signalen. Koncentrationen av dessa partiklar anges i TEC (Total Electron Content). 75 procent av felet som uppstår korrigeras med globala jonosfärmodeller. Resten av felet kan till stor del kompenseras för genom L1/L2-mätning. [1] [9]

3.3.5 Troposfärspåverkan

Troposfären ligger närmst jordytan och slutar ungefär på en höjd av 9 km vid polerna och 16 km vid ekvatorn. Liksom i fallet med jonosfären försämras här signalen mer vid låga elevationsvinklar än vid höga. Dock påverkas alla typer av signaler lika mycket. Effekterna av troposfären kan nästan helt modelleras bort med hjälp av relativ mätning. [9]

3.3.6 Bandatafel

Satelliter sänder ständigt ut information om var de befinner sig, vart de är på väg, och vilken hastighet de har. Denna information som fångas upp av mottagaren innehåller alltid osäkerheter. Det är marksegmentets kontrollstationers uppgift att alltid övervaka satelliternas positioner och beräkna framtida sådana. Bandatafel kan i princip elimineras om efterberäknade banddata används. [1] [9]

3.3.7 Flervägsfel

Flervägsfel uppstår när en GPS-signal reflekteras genom blanka ytor i mottagarens närhet. Den reflekterade signalen ger upphov till konflikter och/eller felaktiga avstånd. Flervägsfel kan delvis undvikas med hjälp av mottagarantennor med förebyggande design och så kallade filtreringsalgoritmer. [1] Bästa botemedlet är dock att som användare alltid vara uppmärksam på riskerna under mätningstillfället.

3.3.8 Sikthinder

En förutsättning för att kunna genomföra GNSS-mätning är att det vid mätningstillfället finns god sikt mellan mottagare och satelliter. Det kan därför vara svårt att genomföra mätning om mottagaren omges av t.ex. höga byggnader eller tät skog. Byggnader blockerar helt GPS-signalen medan vegetation försämrar eller helt avskärmar den beroende på vegetationens täthet och omfattning.

I Sverige är sikthinder i söder extra känsligt på grund av GPS-satelliternas inklinationsvinkel på 55 grader. Inte lika känsligt är det vid kompletterande användning av GLONASS då dessa satelliter vänder vid 64,8 grader. [9]

För att undvika detta problem är det viktigt med god planering och omsorgsfullt valda mätpunkter.

3.4 Signalsystem

GPS-koder är binärt uppbyggda av ettor och nollor. Det finns tre typer av koder inbyggda i GPS-signalerna; P-kod (Precise), C/A-kod (Coarse/Acquisition code) och navigationskod (Navigation code).

Dessa koder moduleras på sinusformade bärvågor. Från varje satellit sänds två typer av bärvågor ut; L1 och L2.

L1 har en frekvens på 1575,42 MHz vilket motsvarar en våglängd på 19 cm. På denna våg moduleras C/A-kod och P-kod (även kallad Y-kod). L2-bandets frekvens är 1227,60 MHz våglängden är 24 cm. På L2-bärvågen moduleras enbart P-kod.

Navigationskoden, eller GPS-meddelandet, har en frekvens på 50 Hz och moduleras på bärvågen. GPS-meddelandets uppgift är att vidarebefordra information om satelliterna som registrerats av kontrollstationerna. Koden är indelad i fem "subframes". Den första innehåller klockkorrektioner, GPS-vecka, satellitens hälsa m.m. Den andra och tredje innehåller banddata. Den fjärde innehåller korrektioner för jonosfärens påverkan på GPS-signalerna och den femte (och fjärde) innehåller den s.k. GPS-almanackan som berättar för mottagaren var alla satelliter befinner sig. [1]

3.4.1 Kodmätning

Vid kodmätning använder man sig av antingen C/A-kod eller P-kod. C/A-koden är öppen för allmänheten att använda medan P-koden är till för licensierade användare inom det militära. [2] Här beskrivs mätning med C/A-kod, även om mätning med P-kod fungerar enligt samma princip.

Kodmätning går ut på att avstånd mellan mottagare och satelliter beräknas, s.k. pseudoavstånd. Anledningen till att de inte bara kallas för avstånd är att dessa avstånd är behäftade med ett antal fel, så som synkroniseringsfel mellan satellitens och mottagarens klockor. Med kontakt mellan mottagaren och minst 4 satelliter kan pseudoavstånd och mottagarens position räknas fram.

Proceduren för bestämmandet av ett pseudoavstånd kan beskrivas enligt följande. När satelliten sänder ut C/A-koden producerar mottagaren i samma ögonblick en intern replika av denna kod. När signalen når mottagaren mäts tiden det tog signalen att nå

mottagaren genom att tidsförskjutningen mellan den interna signalen och satellitens signal beräknas. När den s.k. gångtiden är känd multipliceras den med signalens hastighet (ljusets hastighet) och som produkt får man avståndet till satelliten.

De enklaste GPS-mottagarna på marknaden som används i bilar, båtar och mobiltelefoner använder sig av C/A-kod, vilken har en teoretisk positionsnoggrannhet på ca tre meter. P-koden ger en teoretisk precisionsnoggrannhet på ca tre decimeter. Kodmätningens styrkor är att den är okänslig för signalavbrott och billig. [1] [11]

3.4.2 Bärvägsmätning

Vid bärvägsmätning använder man sig av bärvägorna som tidigare nämnda koder moduleras på. Dessa bärvägors frekvenser är alltid konstanta och de benämns L1 och L2. Mätning kan ske på bara en av bärvägorna eller på båda samtidigt.

Med denna metod 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. [9]

Ett avstånd till en satellit erhålls genom att mottagaren känner till antalet hela våglängder, och delar därav, som befinner sig mellan satellit och mottagare. Avståndet fås genom att multiplicera antalet våglängder med 19 cm för L1 respektive 24 cm för L2.

Problemet är att en ensam mottagare endast kan mäta delar av en våglängd (med en noggrannhet på mindre än 2 mm); antalet hela våglängder till satelliten är okänt. (el rabbany) Att mäta delar av en våglängd kallas fasmätning. Det okända antalet hela våglängder kallas för periodobekanta (cycle ambiguity), och måste bestämmas till ett heltal för att noggrann mätning ska gå att genomföra. [1] [11]

För att lösa periodobekanta och uppnå s.k. fixlösning krävs minst två samtidigt observerande mottagare. Metoden som används i det fallet kallas relativ mätning. Uppnås fixlösning ger det en teoretisk precisionsnoggrannhet på några millimeter, om mätning på både L1 och L2 görs. [11]

3.5 Mätningmetoder

3.5.1 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. [9]

Absolut mätning sker på C/A- eller P-koden och minst 4 satelliter behövs för positionering. Detta är ett resultat av att mottagarens klocka måste vara synkroniserad med satellitens. Teoretiskt sett behövs bara tre satelliter för att lösa ut de tre parametrarna X, Y och

Z ur positioneringens ekvation. Den fjärde parametern, mottagarens klockfel, löses ut med den fjärde satelliten, varför den är högst nödvändig. [2]

Den horisontella positionsnoggrannheten vid denna typ av mätning är 5-20 m. [9]

3.5.2 Relativ mätning

Vid relativ GPS-mätning används två mottagare som simultant har kontakt med samma satelliter. En av de två mottagarna agerar referensstation, vilket betyder att den är placerad på en punkt med redan kända koordinater. Den andra mottagaren, som ofta benämns "rover", kan antingen vara stationär eller rörlig. Minst fyra gemensamma satelliter måste följas av båda mottagarna under mätningen. [2] Genom detta förfarande kan mätdata från de två mottagarna jämföras och de flesta felkällorna reduceras. [9]

Både kodmätning och bärvågsmätning kan användas i relativ mätning. De vanligaste formerna av relativ mätning är DGPS (Differentiell GPS), en form av kodmätning, samt RTK (Real Time Kinematic) och statisk mätning som görs på bärvågen. [2] [9]

Statisk mätning innebär att minst två stationära mottagare, varav en referens, simultant samlar in GPS-signaler från samma satellitkonstellation under långa observationstider. Generellt så efterberäknas den nya positionen, vilken kan bestämmas med mycket hög noggrannhet. [1]

RTK-mätning innebär att man, som vid statisk mätning använder sig av minst en referensmottagare och minst en rover-mottagare. Skillnaden är att denna typ av mätning sker i realtid genom att referensmottagaren kontinuerligt sänder korrektionsdata till rover-mottagaren via t.ex. radiolänk eller GSM-förbindelse. Resultaten behöver alltså inte efterberäknas. För fixlösning krävs initialisering. [1] [11]

En variant av RTK är nätverks-RTK, där ett flertal fasta referensstationer arbetar tillsammans i ett nätverk.

3.5.2.1 Nätverks-RTK

Genom att nyttja ett nät av fasta referensstationer kan man beräkna en modell av felkällornas inverkan, främst troposfärs- och jonosfärskorrektioner samt banddata i det område som stationerna täcker. [9] Detta gör det möjligt att få en bra positionsbestämning på betydligt längre avstånd än med vanlig RTK. Positionen blir dessutom säkrare eftersom många referensstationer bidrar. [12]

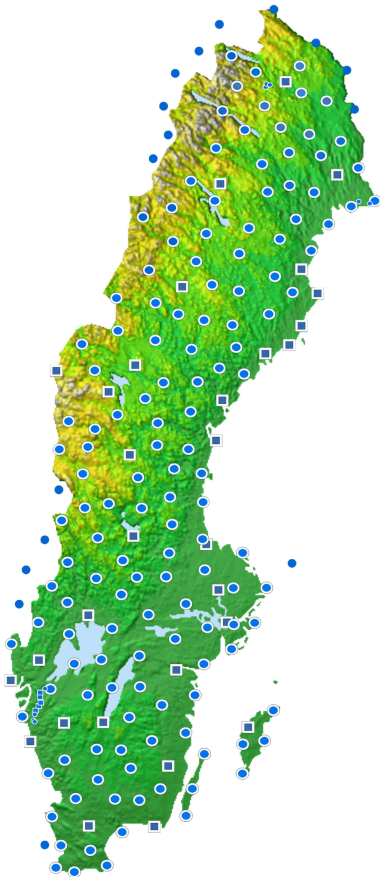
Fördelar med nätverks-RTK jämfört med vanlig RTK är bland annat att endast en mottagare behövs, referensmottagare behöver inte dagligen etableras, täckningsytan blir sömlös och metoden är tidsbesparande. [12]

4 SWEPOS

SWEPOS är ett nationellt nät av fasta referensstationer för GNSS. Lantmäteriet svarar för utveckling och drift av SWEPOS. Styrning och övervakning av nätet sker från en driftledningscentral i Gävle, där också alla SWEPOS-data finns tillgängliga och arkiveras.

I dagsläget består nätet av 36 Klass A-stationer och 144 Klass B-stationer. Stationerna av Klass A är monterade i temperaturreglerade betongpelare eller på fackverksmaster på fast berggrund. De flesta av stationerna är försedda med ett backupsystem ifall det primära fallerar. Dessa stationer utgör stommen för SWEPOS-nätet.

Klass B-stationerna utgör en förtätning av nätet och kan vara placerade på hustak med lägre säkerhet än stationerna av Klass A.



Figur 24: SWEPOS nätverk av fasta referensstationer. Kartan innehåller även några utländska referensstationer som används i nätverks-RTK-tjänsten. [13]

SWEPOS tillhandahåller data från GNSS-satelliterna som kan användas på flera olika sätt. Data kan användas i realtid i form av SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst, SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst samt med DGPS-tjänsten Epos som drivs av Teracom. För efterberäkning kan användare hämta SWEPOS-data från driftledningscentralen eller använda sig av SWEPOS beräkningstjänst. [13]

4.1 SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst erbjuder positionsbestämning i realtid för bl.a. navigering och datainsamling till GIS-databaser.

För att kunna använda SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst behövs en geodetisk GNSS-mottagare och antenn som kan ta emot både L1- och L2-signalerna. Till denna behövs kommunikationsutrustning i form av GSM eller GPRS för realtidsöverföring av korrekationer. SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst är en abonnemangstjänst där man som användare kan välja att betala en fast årsavgift eller att betala för uppkopplad tid. [13] [14]

4.2 SWEPOS beräkningstjänst

SWEPOS beräkningstjänst används för efterberäkning av statistiskt mätta GPS-data (L1 och L2) mot data från SWEPOS-stationerna. Användarens efterberäkningsdata i RINEX-format laddas upp på SWEPOS ftp-server. Efterberäkning sker automatiskt med programvaran "Bernese GPS Software" från universitetet i Bern. Efter genomförd efterberäkning levereras koordinater samt kvalitetskontroll via e-mail till användaren. Resultaten återfinns även på SWEPOS hemsida. [14]

5 Kvalitetstermer

5.1 GUM

Idag är det i geodetiska och mättekniska sammanhang vanligt att man talar om felteori. Teorin, ofta med branschspecifik terminologi, utgår från att variationer i mätningar betraktas som fel i förhållande till ett sant värde. Problemet med detta sätt att se på mätningvariationer är att en positions-, en längds eller en vinkels sanna värde i princip aldrig kan anges exakt.

Denna rapports analys av osäkerheter i mätningar kommer till viss del att grunda sig på GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurements). GUM är resultatet av ett gemensamt internationellt arbete mellan certifierings-, standardiserings- och forskningsorgan och används idag inom många olika tillämpningsområden. [15]

Istället för mätningars noggrannhet talas det här om mätosäkerhet. Mätosäkerheten är osäkerheten i ett mätresultat och den kan endast uppskattas till sin storlek och aldrig elimineras. [16]

En term som används i GUM är mätstorhet. Mätstorheten definieras genom en beskrivning av vad som ska mätas [16], t.ex. "Punkt A:s koordinater i plan och höjd i SWEREF 99 TM, där höjd anges i höjd över ellipsoiden (i meter)".

En mätstorhet uttrycks i ett måttal och en enhet. Vid mätning bestäms måttet och vi får ett mätresultat. [15]

Nedan kommer främst den klassiska synen där man talar om noggrannhet att beskrivas, men med en koppling till GUM.

5.2 Feltyper

Grova fel är av den typen som ofta beror på slarv och ouppmärksamhet. Det kan handla om felskrivningar och annat som beror på den mänskliga faktorn. Grova fel undviks bäst genom upprepade mätningar och god kontroll.

Systematiska fel är sådana som uppkommer på grund av t.ex. felkalibrerade instrument eller omgivningseffekter som temperatur. [16] Felen är möjliga att korrigeras för men kan ofta smyga sig in i mätningar obemärkt. Felen kan reduceras med lämpligt valda mätmetoder.

Slumpmässiga fel är fel av den typen som alltid dyker upp och inte går att korrigeras för. Om många mätningar görs kan felen uppskattas till sin storlek och studeras med statistiska metoder då felen antas vara normalfördelade. [17]

5.3 Riktighet

Riktighet är ett begrepp som grundar sig i felteorin, där ett sant värde antas vara känt.

Riktigheten beräknas med medelavvikelsen. Medelavvikelsen är ett medelvärde av alla mätningars avvikelse från det sanna värdet. Om vi antar att ett sant värde finns så bör medelavvikelsen ligga nära noll. [18]

Följande formel används för beräkning av medelavvikelse, där ε är skillnaden mellan sant värde och mätt värde, och n är antalet mätningar. [18]

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

5.4 Precision

Precisionen beskrivs med måttet standardavvikelse.

Standardavvikelsen beskriver hur spridda ett antal mätvärden är kring dessa mätvärdens medelpunkt. Precisionen beskriver alltså inte hur samlade mätvärdena är kring ett "sant" värde, utan snarare hur samlade de är utan hänsyn tagen till någon yttre "sann" referens.

Om felen antas vara normalfördelade bör ca 68 % av mätningarna ha ett fel som är mindre än precisionen. [18]

Standardavvikelsen är, med GUM i åtanke, ett mått som fungerar bra vid beskrivande av osäkerheten i ett mätresultat. Måttet kan användas för att beskriva den s.k. standardosäkerheten.

Standardavvikelsen kan beräknas med följande formel, där \bar{x} är mätningarnas medelvärde och n är antalet mätningar. [18]

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

5.5 Noggrannhet

Noggrannhet, eller medelfel, beskriver mätvärdenas spridning kring ett tänkt sant värde. Om mätvärdenas spridning antas vara normalfördelad bör ca 68 % av mätvärdena ha ett fel som är mindre än noggrannheten. Hög noggrannhet innebär att även hög precision uppnåtts. Hög precision behöver däremot inte betyda att noggrannheten är hög. [18]

Medelfelet beräknas med formeln nedan, där ε är skillnaden mellan enskilt mätt värde och ett sant värde, och n är antalet mätningar. [18]

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

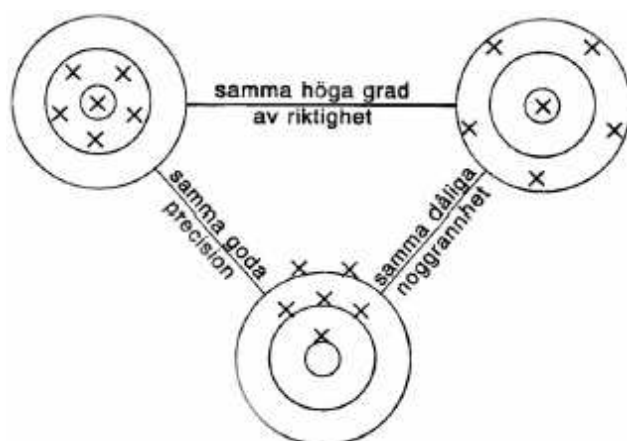
Med GUM i beaktande bör ingen större vikt läggas vid begreppet noggrannhet. Istället används osäkerhet som begrepp, där det "sanna värdet" som styrande utgångspunkt för osäkerhetsbedömningar i viss mån spelat ut sin roll.

5.6 Sambandet mellan riktighet, precision och noggrannhet

Figur 25 illustrerar hur riktighet, precision och noggrannhet förhåller sig till varandra.

En hög grad av riktighet betyder att mätvärdena är spridda jämt kring det sanna värdet. Är värdena dessutom tätt samlade kring det sanna värdet har även hög noggrannhet åstadkommit.

God precision betyder att mätvärdena är väl samlade men de behöver inte ha samlats kring det sanna värdet.



Figur 25: Sambandet mellan riktighet, precision och noggrannhet. [17]

5.7 Sigmanivå

När standardavvikelse eller medelfel beräknas kopplas en sigmanivå, eller ett s.k. konfidensintervall till dessa.

Konfidensintervallet visar hur stor andel av den totala mängden mätningar som ligger innanför standardavvikelsens eller medelfelens värde. Två vanliga konfidensintervall är 68 % och 95 %, även kallade sigmanivå 1 och 2. [18]

6 Metod och genomförande

En stor del av examensarbetets fokus har legat på att undersöka osäkerheten i testmätningar gjorda med GNSS-mottagaren från DataGrid tillsammans med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Vidare har utrustningens förmåga att utföra statisk mätning (som hädanefter benämns "statisk testmätning") testats och en allmän utvärdering gjorts.

Rubrikerna nedan beskriver hur testmätningarna med nätverks-RTK planerats och utförts. Den allmänna utvärderingen baseras på erfarenheter från dessa.

Testmätningarna utfördes i mätserier om 10 (med några få undantag) mätningar per serie, där varje mätning var en medelvärdesbildning av 5 mätningar. Dessa testmätningar genomfördes på 4 olika punkter belägna i Trollhättan med 20 mätserier på varje punkt från och med 26 april 2010 till och med 9 maj 2010, med undantag för 1 och 2 maj.

6.1 Förberedande arbete

Arbetet inleddes med ett fastställande av vilka testmätningar som var nödvändiga, hur många som behövdes och hur de behövde utföras för att en analys av GNSS-mottagarens mätosäkerhet skulle gå att genomföra. Kontakt togs med Caliterra AB, svensk återförsäljare av DataGrid, som var villiga att låna ut mätutrustning för test.

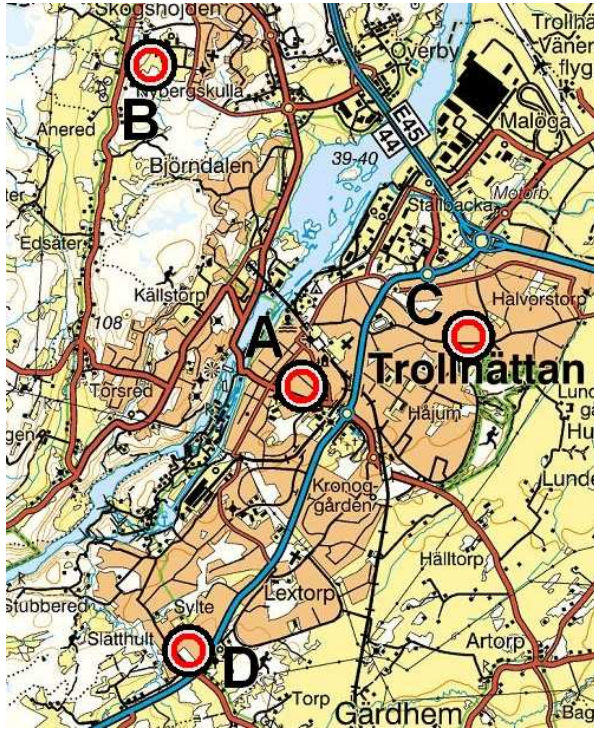
De fyra punkterna behövde först mätas in med statisk mätning för efterberäkning i SWEPOS beräkningstjänst. Dessa bestämmningar av punkterna skulle fungera som referenser för de stundande testmätningarna.

Innan referenspunkterna mättes in statiskt, med GNSS-mottagare från Högskolan Väst, kontrollerades utrustning såsom trefot, som senare även skulle användas under testmätningarna.

För testmätningarna upprättades ett mätprotokoll och det beslutades att stativ, i stället för mätstång, skulle användas för att minimera centreringsfel.

6.2 Fältmätningssområde och mätpunkter

De fyra punkterna som användes ligger utspridda i Trollhättan med några kilometers mellanrum (se figur 26). Trollhättans Stad bistod med information om var redan etablerade stamnätspunkter fanns, samt tipsade om vilka av dessa som omgavs av öppen terräng och lämpade sig för GNSS-mätning.



Figur 26: Karta över fältmätningområdet.[Lantmäteriet]

Två punkter från Trollhättans Stads stomnät användes; punkt C och punkt D. Punkt A och punkt B har tidigare använts vid GNSS-övningar under geomatikkurser på Högskolan Väst.

På varje punkt togs bilder som sammanfogades till panoraman på 360 grader (se figur 27-30). För att tydliggöra sikten har bilderna gjorts kontrastrikt svartvita och sträckts ut till dubbel höjd. Bilderna är beskurna så att underkanterna ungefär ligger på elevationsvinkeln 0 grader och ovankanterna på drygt 20 grader. Sydlig riktning ligger i bildernas mitt.



Figur 27: Panorama från punkt A.



Figur 28: Panorama från punkt B.



Figur 29: Panorama från punkt C.



Figur 30: Panorama från punkt D.

Punkt	Belägenhet	Northing	Easting	h
A	Högskolan	6463276,281	341411,294	84,399
B	NÄL	6467320,980	339586,810	128,711
C	Halvorstorp	6463909,211	343477,815	80,509
D	Sylte	6459947,825	340073,085	99,734

Tabell 1: Punkternas belägenhet med koordinater i SWEREF 99 TM och höjder över ellipsoiden i SWEREF 99 från den statistiska inmätningen.

6.3 Utrustning och konfiguration

Alla testmätningar utfördes med både GPS- och GLONASS-satelliter. Som tidigare nämnts användes alltid stativ för minimering av centreringsfel. Nedan följer information om vad, och vilka inställningar, som använts i de två momenten.

	Testmätning	Statisk inmätning, referenspositioner
Stativ	Nedo	
Trefot	Leica GDF 122	
Antennhållare	Leica GAD31	
Antennhöjdsjäknare	Leica GZS4-1	
GNSS-antenn	Gutec GNSSA200-TNC (100-046)	Leica AT502
GNSS-mottagare	Data Grid MK3 Chameleon (ID076838746)	Leica SR530
Handenhet	Carlson Surveyor +	TR500
Mjukvara, handenhet	SurvCE	GPS System 500 v.5.10
Elevationsgräns	13 grader	10 grader
Referenssystem	SWEREF 99 TM	

Tabell 2: Mätningstrustning.

Under den statistiska testmätningen användes samma instrumentkonfiguration som för testmätningarna, med undantag för elevationsgränsen, som i stället var 10 grader.

6.4 Mätstrategi

Här beskrivs enbart hur testmätningarna genomfördes.

Två mätserier på varje punkt genomfördes i regel varje dag; en på förmiddagen och en på eftermiddagen. Seriernas ordning varierades så mycket som möjligt för att undvika att en punkt mättes in för många gånger vid samma tid på dygnet.



Figur 31: Antenn och mottagare monterade på stativ.

Innan varje enskild testmätning startades mottagaren om för att initialiseringstiden skulle kunna mätas och antecknas. Om initialiseringstiden överskred 3 min genomfördes inte testmätningen, som då bedömdes vara misslyckad.

Om mottagaren lyckades uppnå fixlösning gjordes en medelvärdesbildning av fem observationer med intervallet en sekund.

Vid varje testmätning lagrades automatiskt punktnummer, Northing, Easting, höjd över ellipsoiden, HRMS, VRMS, antal använda satelliter, PDOP och lösningens status. Manuellt antecknades datum, klockslag, väder, antennhöjd, tid till fixlösning samt särskilda händelser såsom felmeddelanden. RTK-datans ålder kontrollerades frekvent och översteg aldrig 1 sekund, mer än vid enstaka tillfällen.

6.4.1 Mätschema

Mätschemat beskriver proceduren för en testmätningsserie.

1. Stativet med trefoten ställdes upp, centrerades och horisonterades noggrant över punkt.
2. Antennen med antennhållaren monterades på trefoten.
3. Mottagarenheten monterades med särskild hållare på stativet och anslöts med sladd till antennen.
4. Centrerings och horisontering kontrollerades än en gång, då monteringen av mottagaren kunde ha rubbat stativet.
5. Antennhöjd mättes och antecknades i protokollet tillsammans med övrig information som väder, tid och datum.
6. Mottagaren startades och uppkoppling mot nätverks-RTK-tjänsten skedde.
7. Tid togs på mottagarens initialiseringsstid. Tidtagningen startades då mottagarens display visade kontakt med satelliter och stoppades när fixlösning erhöles. Tiden antecknades i protokollet.
8. Handenheten startades, och i denna startades programmet SurvCE.
9. Mätning genomfördes.
10. Ytterligare en kontroll av centrerings och horisontering gjordes
11. Mottagaren och handdatorn stängdes av och all utrustning plockades ner.

Moment 6 till 9 i ovanstående schema upprepades totalt tio gånger för varje testmätningsserie, med undantag för moment 8, som enbart genomfördes under den första av tio testmätningar. Resterande nio räckte det med att gå ur mätläget tillbaka till huvudmenyn i SurvCE och sedan gå tillbaka in i mätläget.

6.5 Efterbehandling och analys av mätdata

Efter varje mätdag exporterades i fältdatorn mätdata till en ASCII-fil, namngiven med dagens datum, som sedan överfördes till en PC via USB. Informationen från ASCII-filerna importerades efter hand till ett Excel-dokument där även anteckningar från fältprotokollen infördes. Avvikelse mellan varje enskild testmätning och de statistiska inmätningarna av punkterna beräknades. När hela testmätningsserien sammanställdes och granskats exkluderades vissa mätningar (mer om detta kapitel 7). Standardavvikelse, medelavvikelse och andra statistiska mått beräknades och diagram framställdes.

Under alla testmätningar har mätdata lagrats i referenssystemet SWEREF 99 TM med höjd över ellipsoiden. Dessa data har använts i sin ursprungsform under de statistiska beräkningarna.

6.6 Statisk testmätning

Endast en statisk testmätning genomfördes. Till denna typ av mätning behövdes ingen fältdator, då mottagaren ensam lagrar rådata när den är påslagen. Mottagaren lagrade rådata i två timmar. Rådata överfördes till PC och konverterades till en RINEX-fil för efterberäkning i SWEPOS beräkningstjänst.

7 Resultat

Här presenteras först resultatet från testmätningarna i form av olika statistiska mått. Även resultatet från den statistiska testmätningen återfinns i detta kapitel.

Totalt har 790 mätningar på de fyra olika punkterna genomförts. Av dessa 790 avvek elva markant från resten. Det handlade hos dessa elva om en ungefärlig avvikelse från medelvärdena på ca 2-3 meter eller mer. De kraftiga avvikelserna visade sig oftast i både plan och höjd samtidigt. Dessa s.k. outliers har exkluderats från resultatberäkningarna. Gränsen för att en mätning skulle klassas som outlier drogs vid ca 2 dm avvikelse i 3D.

Förutom dessa grovt avvikande mätningar misslyckades sex stycken. Med misslyckad mätning menas sådan där fixlösning ej uppnåtts inom tre minuter, detta på grund av dålig GPRS-anlutning eller annan anledning. De misslyckade mätningarna är inte inkluderade i de 790 eftersom de inte genomfördes.

Detta ger en lyckandegrad på 99,2 % inkl. outliers och 97,7 % exkl. outliers på de fyra punkter, med dess omgivning, där testmätningarna utförts.

Anledningen till att det sammanlagda antalet testmätningar, inkl. de misslyckade, blev 796 är att mottagarens batteri vid ett tillfälle tog slut, varpå fyra planerade testmätningar uteblev.

Resultatet av den enstaka statistiska testmätningen presenteras under i avsnitt 7.6 Statisk testmätning.

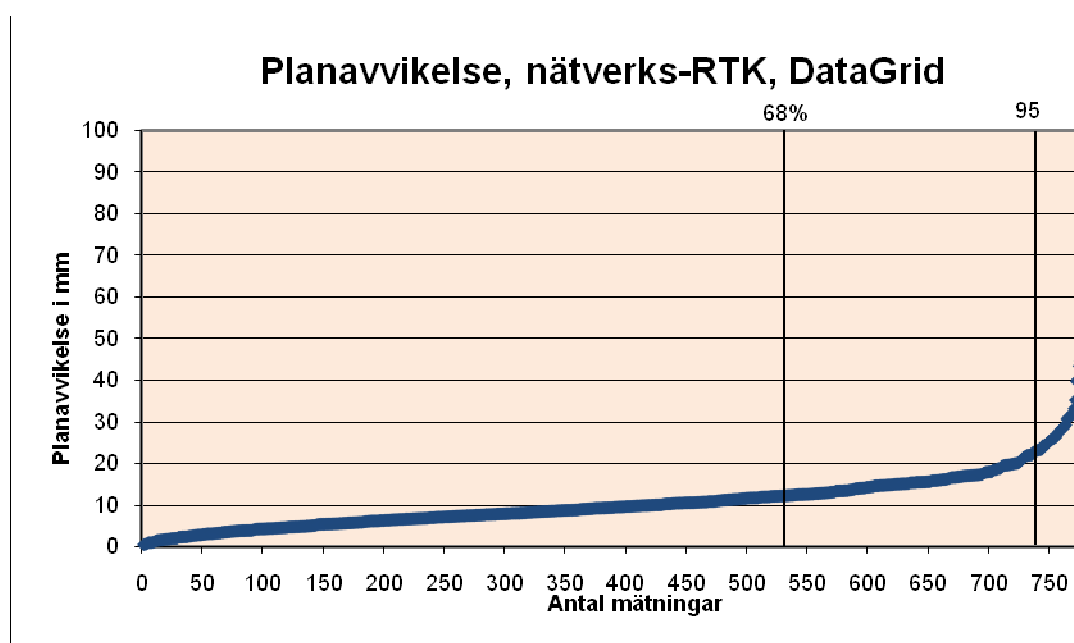
Kvalitetstermerna 68 % och 95 % i tabell 3 och 4 framställdes genom att alla testmätningars enskilda avvikelser från de statistiska inmätningarna sorterades från den minsta till den största i en kolumn i Excel. För att få ut t.ex. 68 % så multiplicerades antalet rader (enskilda avvikelser) med 0,68. Värdet på vad som i detta fallet blev rad 530 plockades ut och användes.

För en mer ingående redovisning av resultaten, se Bilaga A och B.

7.1 Plan

Kvalitetsterm	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Alla punkter
68 %	13	15	11	11	12
95 %	26	25	19	17	23
Riktighet	8	9	4	5	5
Precision	12	11	15	9	13
Noggrannhet	14	15	16	10	14

Tabell 3: Kvalitetsvärden (mm) i plan.

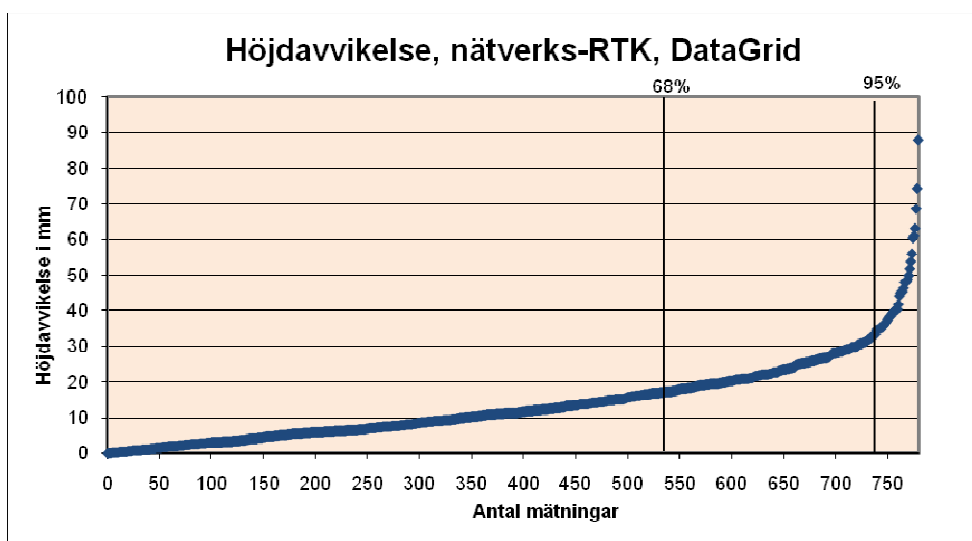


Figur 32: Planavvikelse i mm för samtliga testmätningar, sorterade från lägsta till högsta avvikelse.

7.2 Höjd

Kvalitetsterm	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Alla punkter
68 %	14	20	20	13	17
95 %	27	35	42	27	35
Riktighet	-4	15	-13	4	0
Precision	15	15	16	13	18
Noggrannhet	16	21	21	14	18

Tabell 4: Kvalitetsvärden (mm) i höjd.



Figur 33: Höjdavvikelse i mm för samtliga testmätningar, sorterat från lägsta till högsta avvikelse.

7.3 Initialiseringstid

Med initialiseringstid menas tiden det tar för mottagaren att uppnå fixlösning från det att kontakt med nätverks-RTK-tjänsten via GPRS påbörjats. De lyckade testmätningarnas genomsnittliga initialiseringstid var 12 sekunder.

7.4 Antal satelliter

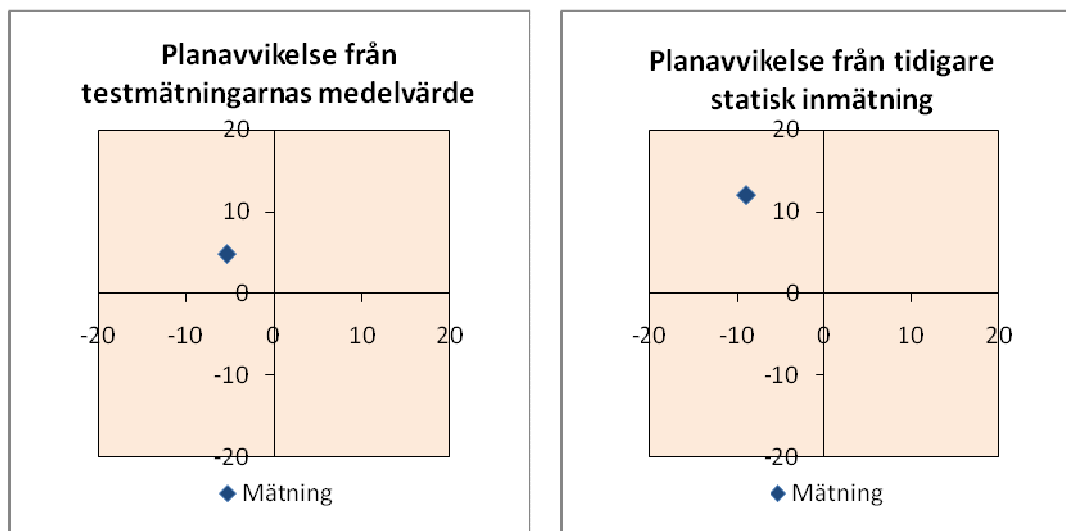
Både för var punkt för sig och för alla punkter tillsammans (A-D) var det genomsnittliga antalet satelliter som användes vid mätning 9 st.

7.5 PDOP

PDOP har under testmätningarna legat på ca 1,5 i genomsnitt, och aldrig överstigit 5.

7.6 Statisk testmätning

Den statistiska testmätningen, som genomfördes på punkt A, jämförs nedan med ett medelvärde av testmätningarna med nätverks-RTK samt med tidigare statistisk inmätning.



Figur 34: Planavvikelser för den statistiska testmätningen från testmätningarnas medelvärde och från den tidigare statistiska inmätningen.

Då beräkningen av den statistiska testmätningen i SWEPOS beräkningstjänst genomfördes utan en fullständig antenmodell för DataGrids GNSS-antenn, så har 79 mm subtraherats från höjden redovisad i beräkningstjänstens resultatfil. Detta är ett medelvärde av de två vertikala avstånden till L1- och L2-antennernas fascentrum (77 och 80 mm). Korrektionen ger en mer rättvisande bild av resultatet, även om små fel relaterade till antenmodellen kvarstår.

Höjdavvikelsen blev +34 mm från testmätningarnas medelvärde, respektive +30 mm från den tidigare statistiska inmätningen.

8 Diskussion

I avsnitt 8.1 Mätresultat ges reflektioner över resultatet av testmätningarna. Delar av bedömningen utgår ifrån förväntade medelfel (a priori) hos nätverks-RTK-mätningar.

De förväntade medelfelen bedöms i regel vara ca 15 mm (68 %) i plan och ca 20-25 mm (68 %) i höjd. Dock är södra delen av Göta Älvdalen ett förtätat SWEPOS-område då projektanpassad nätverks-RTK används för utbyggnad av infrastruktur mellan Göteborg och Trollhättan. De förväntade medelfelen i detta område bedöms vara 11 mm i plan och 13 mm i höjd. [19]

De fyra punkterna där testmätningar genomförts är belägna precis utanför det förtätade området, med den nordligaste av förtätningsstationerna placerad strax öster om punkt D. En uppskattning från Dan Norin, Lantmäteriet, är att det förväntade medelfelet i Trollhättan bör ligga någonstans mellan de två som nämnts ovan. För enkelhetens skull utgår vi därför i detta kapitel från att de förväntade medelfelen är 13 mm i plan och 18 mm i höjd, vilka är medelvärden.

Det förväntade medelfelet i höjd gäller då geoidmodell inte använts, vilket är fallet för de genomförda testmätningarna då höjd över ellipsoiden använts.

I avsnitt 8.3 Utrustning redovisas tankar och erfarenheter med fokus på mätutrustningens användarvänlighet och ergonomi.

8.1 Mätresultat

I kapitel 7 går det att utläsa att 68 % av samtliga testmätningar ligger inom gränserna för det förväntade medelfelet i plan. Detsamma gäller för höjderna, då 68 % av testmätningarnas höjder ligger inom det förväntade medelfelet.

Av de fyra mätpunkterna sammanföll testmätningarna på C och D bäst med respektive statistiska inmätningar i plan. Punktmolnen på punkt A och B är systematiskt förskjutna i nordvästlig riktning. I höjd har testmätningarna på punkt B och D samlats något över de statistiska inmätningarna, och på punkt C en bit under. Höjden på punkt A:s testmätningar samlas någorlunda väl kring den statistiska inmätningen.

Som den observante kan ha noterat så har de samlade punkthöjderna resulterat i en riktighet på 0 (noll). Detta kan te sig något vilseledande då det på var punkt för sig förekommit måttliga till relativt kraftiga dragningar uppåt eller nedåt. Av detta behöver man inte dra för stora slutsatser då slumpen alltid är en faktor i undersökningar med så pass begränsat mätunderlag som denna.

Vidare kan man i allmänhet ställa sig frågan om avvikelserna i riktighet säger mest om de statistiska inmätningarna eller testmätningarna. De statistiska inmätningarna utgör referenserna vid beräkningen av en del av de statistiska måtten, tillförlitligheten i denna statistiska mätning på tre timmar behöver inte vara bättre än i 200 nätverks-RTK-mätningar.

Med GUM i åtanke kan möjligtvis mätningarnas precision bättre beskriva tillförlitligheten i den testade utrustningen – alltså, mätningarnas osäkerhet. Osäkerheten kan beskrivas som osäkerhet i ett mätresultat.

Genom att studera precisionen hos mätningarna med hjälp av standardavvikelse kan man få en uppfattning om hur stora de slumpmässiga felen är. Dock kan systematiska fel smyga sig in obemärkta. De systematiska felen skulle i detta fall kunnat upptäckas med hjälp av de statistiska mätningar som jämförelser gjorts med, men på grund av att det på de fyra punkterna förekommit systematiska fel i olika riktningar så blir generella systematiska fel svåra att upptäcka.

Den radiella precisionen i plan är i genomsnitt 13 mm och i höjd är den i genomsnitt 18 mm. Då variationen mellan punkterna är liten går det inte att dra några slutsatser om de enskilda punkterna, möjligtvis att punkt D blivit något bättre. Denna punkt hade bra sikt med den mest öppna terrängen (se figur 30). Även det faktum att punkt D ligger i närheten av en förtätningsstation i SWEPOS-nätet kan ha påverkat resultatet positivt.

Värt att påpeka än en gång är dock att alla punkter, för sig, i genomsnitt hade lika god kontakt med satelliter (9 st.).

De elva observationerna som plockats bort ut mätunderlaget, våra outliers, omges av en del frågetecken. I mätögonblicket har SurvCE alla gånger en mätning lagrats visat statusen "FIXED". Även i ASCII-filerna som exporterats är mätningarna klassade som "FIXED". HRMS och VRMS som också alltid lagras vid mätning ser bra ut och har inte i någon av våra outliers visat högre värden än 20 mm i varken plan eller höjd.

Av de sex misslyckade mätningarna inträffade fem under en och samma mätserie. Gissningsvis var det yttre faktorer som vid detta tillfälle påverkade GNSS-mottagaren, då den fungerade bra igen när mätning på nästkommande testpunkt påbörjades.

8.2 Statisk testmätning

Den statistiska testmätningen gick bra att räkna i SWEPOS Beräkningstjänst. Någon kommentar om positionen som beräknades, efter 79 mm avdrag i höjd, är svår att göra då endast en mätning gjordes och då ingen fullständig antennmodell användes.

8.3 Utrustning

Under testmätningsperioden användes DataGrids GNSS-utrustning intensivt. Dock kan man inte betrakta sättet den användes på som normalt. Utrustningen slogs på, mätning gjordes och utrustningen slogs av. Så pågick det under två veckors tid.

Den funktion som använts mest är inmättningsfunktionen med medelvärdesbildning. Utrustningens inställningsmöjligheter har, såklart, även nyttjats vad det gäller val av referenssystem och elevationsgräns m.m., men inte mer än vad testmätningarna krävt.

Under testmätningarna har stativ använts istället för mätstång, som utrustningen egentligen är menad att användas tillsammans med (i varje fall vid detaljmätning). Vid ett tillfälle testades dock, som hastigast, praktisk detaljmätning på en parkering i anslutning till Högskolan Väst. Inmätningssessionen gav ingen större inblick i hur instrumentet fungerar än när testmätningarna genomfördes. Den allmänna känslan från detaljmätningen är att utrustningen fungerar som liknande utrustningar från andra tillverkare; punktkod knappas in, mätning sker och man går vidare till nästa punkt.

Vad det gäller utrustningens ergonomi så kan det, enligt mig, finnas både för- och nackdelar. Fullt monterad är utrustningen uppbyggd så att mottagaren sitter fast på stången, mellan antenn och fältdator. Det faktum att antennen endast är en antenn, och själva mottagaren sitter längre ner på stången ger en känsla av balans. Konstruktionen gör alltså att tyngdpunkten i utrustningen ligger relativt lågt, jämfört med utrustningar där både mottagare och antenn byggts ihop till en enda enhet som monteras på mätstångens topp.

En nackdel med den testade utrustningens konstruktion är att den skulle kunna kännas obekvämt för dem som föredrar att vila stången mot ena axeln vid förflyttning över lite längre avstånd. Själva mottagaren skulle i det fallet alltså kunna vara i vägen.

9 Slutsatser

Slutsatsen som kan dras efter genomförda testmätningar är att osäkerheten (noggrannheten) i dessa storleksmässigt får anses svara mot de a priori-medelfel som skattats i tidigare empiriska studier av nätverks-RTK-mätning. Detta gäller både i plan och höjd.

Även om undersökningen av GNSS-utrustningens funktionalitet och användarvänlighet varit begränsad så är uppfattningen, som kan te sig något subjektiv, att utrustningen kan prestera i paritet med liknande utrustning från andra fabriker.

Källförteckning

1. Van Sickle, Jan (2008). *GPS for Land Surveyors*. 3. Uppl. Boca Raton, Florida : CRC Press.
2. El-Rabbany, Ahmed (2002). *Introduction to GPS: the global positioning system*. Boston, Massachusetts: Artech House.
3. Lantmäteriet (2010). *Geodesi och GPS*. [Elektronisk]. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten.
Tillgänglig:
<http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Entrance.aspx?id=68> [2010-05-24]
4. United States Naval Observatory (USNO) (2010). *GPS constellation status*. [Elektronisk].
Tillgänglig: <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstd.txt>
[2010-05-24]
5. Kowoma (2010). *GPS explained: The control segment*. [Elektronisk].
Tillgänglig:
<http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm>
[2010-05-24]
6. POSITIM (2009). *Navigation Systems: GLONASS*. [Elektronisk].
Tillgänglig:
<http://www.positim.com/glonass_overview.html> [2010-05-24]
7. Lantmäteriet (2005). *Geoiden och höjdkorrektionsmodeller*. [Elektronisk].
Tillgänglig:
<http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Referenssystem/Geoiden_och_hojdkorrmodeller/Geoiden/Ellipsoid.pdf> [2010-05-24]
8. Russian Space Agency (2010). *GLONASS constellation status*. [Elektronisk].
Tillgänglig: <<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:2304683493698249::NO>>
[2010-05-24]
9. Eriksson, Merja & Hedlund, Gunilla (2005). *Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS*. LMV-rapport 2005:8. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten.
10. Pogge, Richard W (2009). *Real-World Relativity: The GPS Navigation System* [Elektronisk] Ohio: The Ohio State University.
Tillgänglig: <<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit5/gps.html>> [2010-05-24]

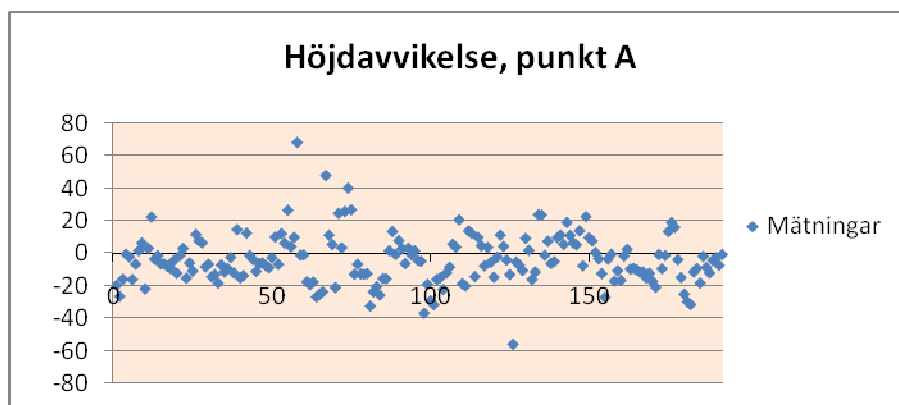
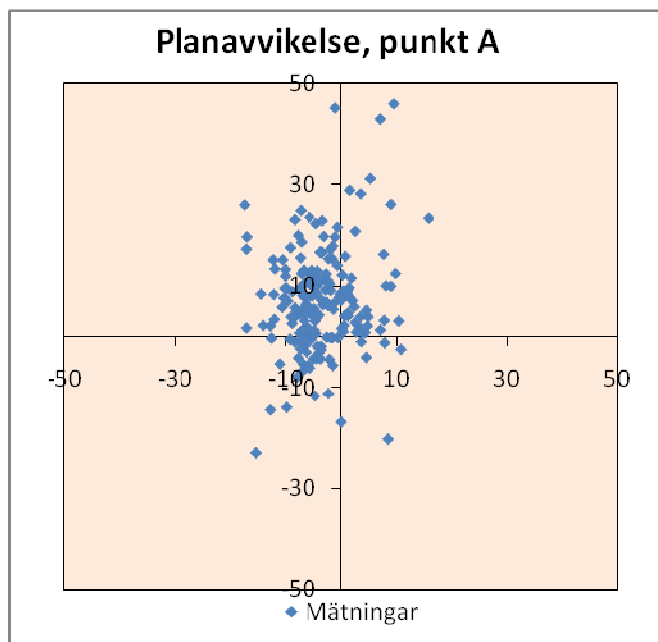
11. Jan Alexandersson, universitetsadjunkt. Föreläsningar i september och oktober 2009. Högskolan Väst, Trollhättan.
12. Engfeldt, Andreas & Jivall, Lotti (2003). *Så fungerar GNSS*. LMV-rapport 2003:10. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten.
13. SWEPOS (2010). *Ett nationellt nät av fasta referensstationer för GPS*. [Elektronisk]. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten. Tillgänglig: http://swepos.lmv.lm.se/index_swepos.htm [2010-05-24]
14. SWEPOS (2010). *Nätverks-RTK-tjänst*. [Elektronisk]. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten. Tillgänglig: <http://swepos.lmv.lm.se/index.htm> [2010-05-24]
15. Persson, Clas-Göran (2010). *GUM, en guide för att uttrycka mätosäkerhet*. [Elektronisk]. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten. Tillgänglig: http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/HMK/nyaHMK/pdf/Kvalitet/Artikel_GUM_beskrivning.pdf [2010-05-24]
16. Lindskog, Jan (2006). *Mätvärdesbehandling och rapportering av mätresultat*. 3. Uppl. Lund: Studentlitteratur.
17. Lantmäteriet (1996). *HMK Geodesi: Stommätning*. Gävle: Lantmäteriet.
18. Halvardsson, Daniel & Johansson, Joakim (2007). *Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK*. LMV-rapport 2007:8. Gävle: Lantmäteriet: Geodesienheten.
19. Lantmäteriet (2007). *Projektanpassad Nätverks-RTK-tjänst för V45 – kortfattad beskrivning, version 2.0*. Gävle: Lantmäteriet.

Bilaga A – Resultat för respektive punkter

I den här bilagan redovisas mätresultat för varje punkt mer ingående i plan och höjd. Detta i form av tabeller och diagram. I diagrammen redovisas i mm hur testmätningarna har spridit sig kring de statistiskt inmätta positionerna. Enstaka testmätningar kan ha fallit utanför diagrammens ramar.

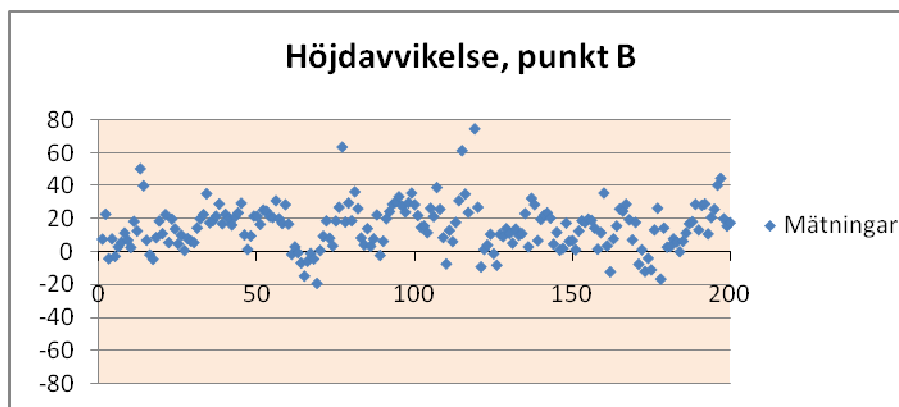
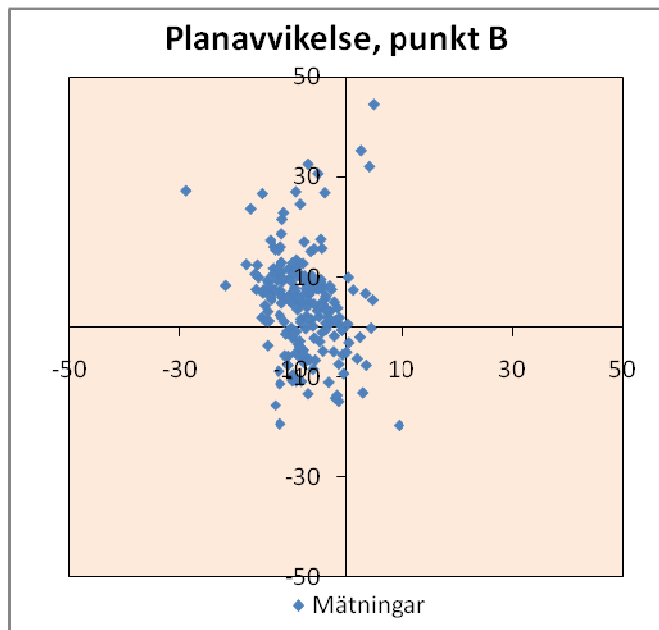
Punkt A

Kvalitetsterm	Northing	Easting	Radiellt	Höjd
Riktighet	7	-4	8	-4
Precision	10	6	12	15
Noggrannhet	12	7	14	16



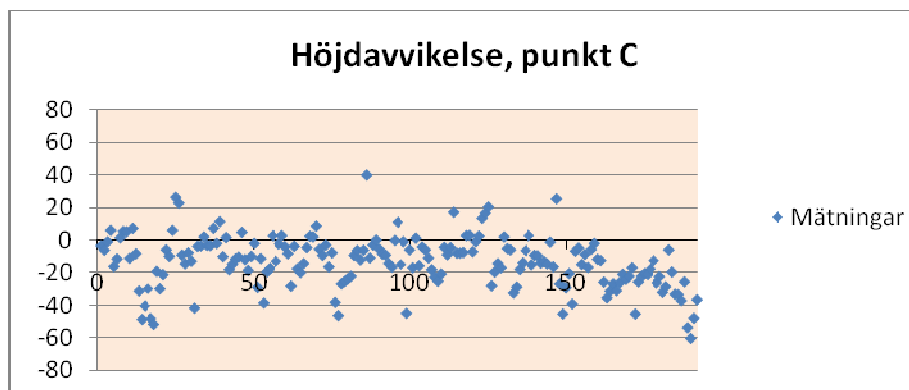
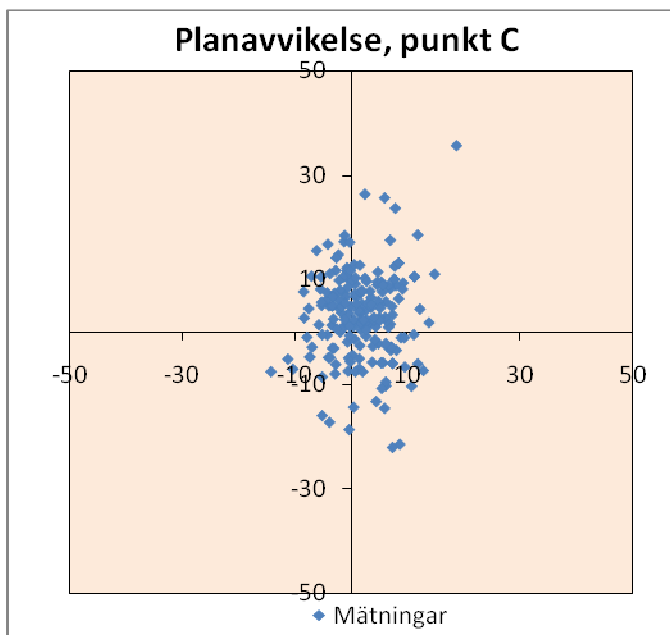
Punkt B

Kvalitetsterm	Northing	Easting	Radiellt	Höjd
Riktighet	5	-8	9	15
Precision	10	5	11	15
Noggrannhet	11	9	15	21



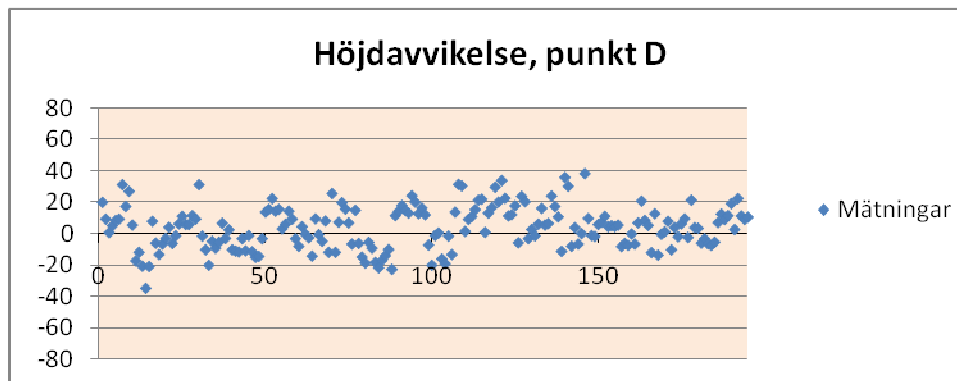
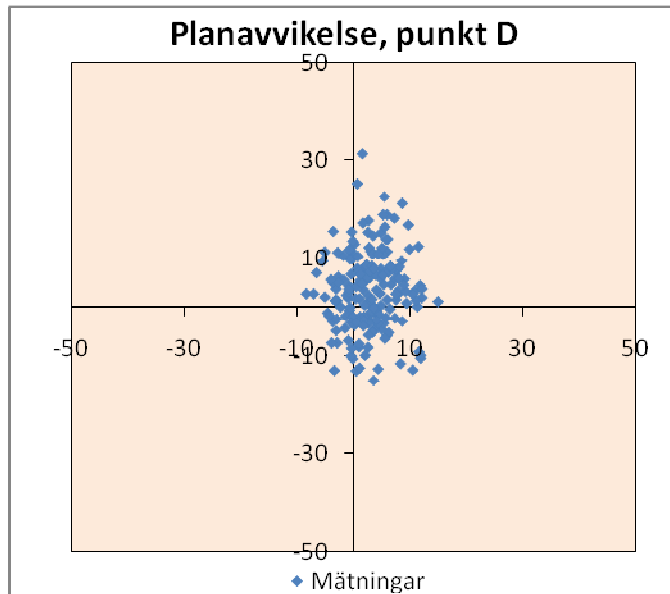
Punkt C

Kvalitetsterm	Northing	Easting	Radiellt	Höjd
Riktighet	4	2	4	-13
Precision	14	5	15	16
Noggrannhet	15	6	16	21



Punkt D

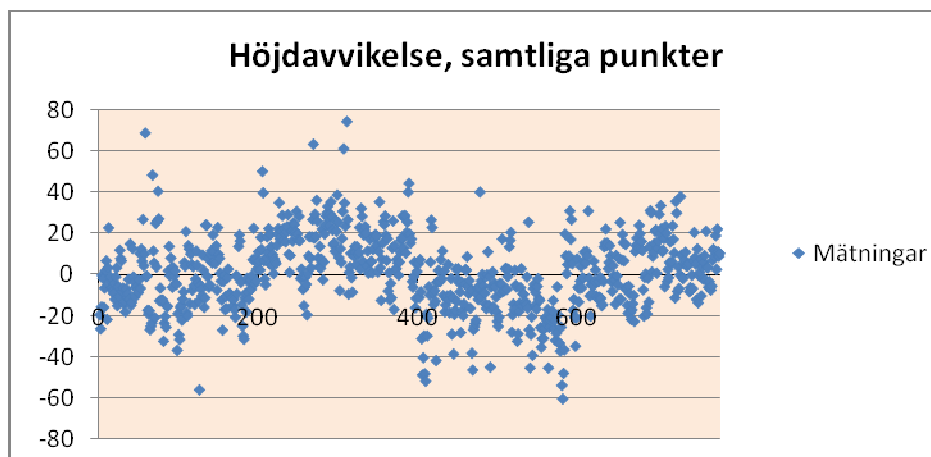
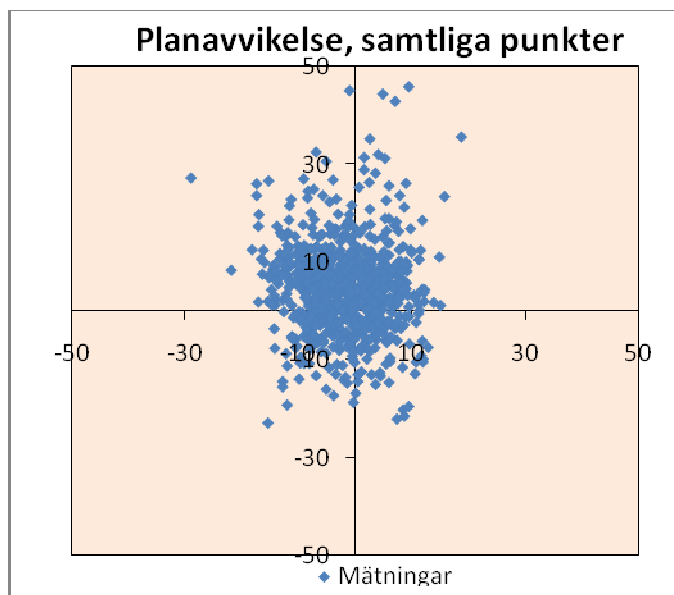
Kvalitetsterm	Northing	Easting	Radiellt	Höjd
Riktighet	3	3	5	4
Precision	8	4	9	13
Noggrannhet	9	5	10	14



Bilaga B – Resultat för samtliga punkter

I den här bilagan redovisas mätresultat för samtliga punkter i plan och höjd. Detta i form av tabeller och diagram. I diagrammen redovisas i mm hur testmätningarna har spridit sig kring de statistiskt inmätta positionerna. Enstaka testmätningar kan ha fallit utanför diagrammens ramar.

Kvalitetsterm	Northing	Easting	Radiellt	Höjd
Riktighet	5	-2	5	0
Precision	11	5	13	18
Noggrannhet	12	7	14	18



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2007:8 Halvardsson Daniel & Johansson Joakim: Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK.
- 2007:10 Lidberg Martin & Lilje Mikael: Evaluation of monument stability in the SWEPOS GNSS network using terrestrial geodetic methods - up to 2003.
- 2007:11 Lilje Christina, Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Introduktion till GNSS.
- 2007:12 Ivarsson Jesper: Test and evaluation of SWEPOS Automated Processing Service.
- 2007:14 Lilje Mikael, Eriksson Per-Ola, Olsson Per-Anders, Svensson Runar, Ågren Jonas: RH 2000 och riksavvägningen.
- 2008:4 Johansson S Daniel & Persson Sören: Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK – virtuell referensstation kontra nätverksmeddelande.
- 2009:1 Ågren Jonas: Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70.
- 2009:2 Odolinski Robert & Sunna Johan: Detaljmätning med nätverks-RTK – en noggrannhetsundersökning.
- 2009:4 Fridén Anders & Persson Ann-Katrin: Realtidsuppdaterad etablering av fri station – ett fälttest med radioutsänd projektanpassad nätverks-RTK.
- 2009:5 Bosrup Susanna & Illerstam Jenny: Restfelshantering med Natural Neighbour och TRIAD vid byte av koordinatsystem i plan och höjd.
- 2010:1 Reit Bo-Gunnar: Om geodetiska transformationer.
- 2010:2 Odolinski Robert: Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK.
- 2010:3 Odolinski Robert: Checklista för nätverks-RTK.
- 2010:4 Eriksson Per-Ola (ed.): Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer.
- 2010:5 Eriksson Per-Ola (ed.): Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning.
- 2010:6 Engfeldt Andreas & Odolinski Robert: Punktbestämning i RH 2000 – statisk GNSS-mätning mot SWEPOS.

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