

Jämförelse av höjdmätning med olika GNSS- mottagare i SWEPOS Nätverks-RTK- tjänst

Examensarbete av
Annika Fredriksson & Madeleine Olsson

Gävle 2015

LANTMÄTERIET



Copyright ©

2015-01-21

Författare Annika Fredriksson & Madeleine Olsson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 48

Lantmäterirapport 2015:1 ISSN 0280-5731

Jämförelse av höjdmätning med olika GNSS- mottagare i SWEPOS Nätverks-RTK- tjänst

Examensarbete av
Annika Fredriksson & Madeleine Olsson

Gävle 2015



Förord

Det här examensarbetet har utförts hos Lantmäteriet i Gävle under våren 2014 och avslutar tre års studier på lantmätarprogrammet med teknisk inriktning vid Högskolan i Gävle.

Vi vill ge ett stort tack till Stefan Öberg som varit vår handledare på Lantmäteriet och även stort tack till Lars Jämnäs, Christina Lilje och Dan Norin som även de varit till stor hjälp under arbetets gång. Tack till personalen på geodesienheten som på något vis har hjälpt oss genomföra arbetet. Vi vill även passa på att tacka de instrumentleverantörer vi haft kontakt med för deras stöd och för utlån av utrustning. Vi vill även tacka Mohammad Bagherbandi som varit vår handledare och Stig-Göran Mårtensson på Högskolan i Gävle.

Gävle, maj 2014

Annika Fredriksson & Madeleine Olsson

Not: Detta examensarbete inom Lantmäteriteknik är på Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp. Det har även tryckts i rapportserien för Högskolan i Gävle med samma titel och med exakt samma innehåll som denna rapport. Handledare på Högskolan i Gävle har Mohammad Bagherbandi varit. Examinator respektive biträdande examinator har Mattias Lindman och Fredrik Ekberg varit.

Sammanfattning

Det finns i nuläget många olika fabrikat av utrustning för mätning med GNSS på den svenska marknaden och dessa instrument har olika egenskaper. För att kunna göra en positionsbestämning i höjd med GNSS och få låg mätosäkerhet används SWEPOS, Lantmäteriets stödsystem för satellitpositionering, och deras nätverks-RTK-tjänst. Syftet med detta examensarbete var att undersöka om SWEPOS nätverks-RTK-tjänst ger likvärdiga höjdvärden vid mätning med olika GNSS-mottagare och olika avstånd till närmaste fysiska referensstation, såväl som mätosäkerheten i mätningarna. Undersökningen har gjorts hos Lantmäteriet som arbetar kontinuerligt med att minska mätosäkerheten i höjd genom pågående förtätningar av det befintliga SWEPOS-nätet. Det är viktigt att kontrollera att roverutrustningarna på användarsidan arbetar på ett korrekt sätt så att en så låg mätosäkerhet som möjligt kan uppnås i det slutliga mätresultatet.

Fältarbetet med nätverks-RTK pågick under tre veckor i Gävle på Lantmäteriets antennkalibreringsfält. Fyra olika roverutrustningar användes för att utföra jämförelsen. Varje mätserie pågick i två timmar där en epok var en sekund. Närmaste fysiska referensstation varierades mellan två stationer på olika avstånd, 40 m respektive 30 km, för att kunna se hur mätosäkerheten påverkades. De data som erhöles sammanställdes och analyserades i Microsoft Excel.

Studien visar att en av GNSS-utrustningarna kontinuerligt gav sämre mätosäkerhet än de övriga som höll en jämn nivå. Den visar även en markant skillnad i mätosäkerhet om baslinjen till den närmaste fysiska referensstationen ökar. För två-tre av utrustningarna sjunker höjdvärdet med cirka ett par centimeter, samtidigt som avvikelser från känd höjd blir större, då den närmaste fysiska referensstationen byts från den närmast belägna till den som ligger belägen längre bort. Dessa utrustningar gav dock individuellt ett likvärdigt resultat så länge samma referensstation var den närmaste.

Abstract

There are currently many different brands of equipment for measurements with GNSS on the Swedish market and these instruments have different properties. To be able to obtain a position in height with low measurement uncertainty Lantmäteriet's, the Swedish mapping, cadastral and land registration authority, support system for satellite positioning called SWEPOS and their network RTK service is used. The aim of this thesis was to investigate whether SWEPOS network RTK service provides similarly height values when measuring with various GNSS receivers and different distances to the nearest physical reference station, as well as the measurement uncertainty in the measurements. It is important to verify that the equipment on the user side is working correctly so that such a low measurement uncertainty as possible can be achieved in the final result.

The field work with network RTK took place over three weeks in Gävle on Lantmäteriet's antenna calibration field. Four different equipment were used to perform the comparison. Each series of measurements lasted for two hours where an epoch was one second. Nearest physical reference station was varied between two stations at different distances, 40 m and 30 km, to be able to see how the measurement uncertainty was affected. The data obtained was compiled and analysed in Microsoft Excel.

The study shows that one equipment continuously gave weaker measurement uncertainty than the others who kept a steady level. It also shows a significant difference in measurement uncertainty if the baseline between the receiver and nearest physical reference station is longer. For 2-3 of the equipment, the height value decreases with about a couple of centimetres and the deviance is getting larger when the nearest physical reference station is switched from the closest one to the one further away. These equipment gave however individually a similarly result as long as the same reference station was the nearest.

Jämförelse av höjdmätning med olika GNSS-mottagare i SWEPOS Nätverks- RTK-tjänst

	Förord	5
	Sammanfattning	7
	Abstract	8
1	Inledning	11
1.1	Syfte	11
1.2	Bakgrund	12
1.2.1	GNSS	12
1.2.2	Nätverks-RTK	13
1.2.3	Antennmodeller	14
1.2.4	Baslinjer	15
1.2.5	SWEPOS	16
1.3	Tidigare studier	17
2	Metod	18
2.1	Utrustning	18
2.2	Testområde	18
2.3	Datainsamling	20
2.4	Databearbetning och analys	22
2.5	Begränsningar och problem	23
3	Resultat	25
3.1	Mätkvalitet	25
3.2	Antennmodeller	30
4	Diskussion	31
4.1	Mätkvalitet	31
4.2	Framtida studier	33

5	Slutsats	34
	Referenser	35
	Bilaga 1 - Inställningar i GNSS-mottagarna	38
	Bilaga 2 - Avvikelser från medelvärdet	40

Jämförelse av höjdmätning med olika GNSS-mottagare i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

1 Inledning

På marknaden finns idag många olika fabrikat av utrustning för mätning med Global Navigation Satellite Systems (GNSS) och dessa instrument har olika egenskaper. Det som kan skilja fabrikaten emellan är bland annat antenntyp, programvara, datalagring, kommunikation och vilka satellitsignaler som kan tas emot (Lilje, Engfeldt & Jivall, 2007). Problemet som detta medför är att positionsbestämning med GNSS kan bli olika beroende på vilket fabrikat som används (Lundell, 2012).

För att kunna göra en höjdbestämning med GNSS med låg mätosäkerhet används Lantmäteriets stödsystem för satellitpositionering, SWEPOS, och deras nätverks-RTK-tjänst (Real Time Kinematic). I nätverks-RTK-tjänsten används ett antal fasta referensstationer som samverkar genom en nätverks-RTK-programvara. Genom att programvaran beräknar och skickar korrektionsdata som minskar effekten av osäkerhetskällor så kan tjänsten ge användarna en noggrann positionering i realtid (Emardson, Jarlemark, Bergstrand & Johansson, 2009). I detta examensarbete har en undersökning av mätosäkerheten i höjd gjorts med hjälp av olika GNSS-utrustningar.

Detta kapitel beskriver kortfattat hur positionsbestämning med GNSS och nätverks-RTK fungerar samt hur antenmodeller och baslinjelängden till närmaste fysiska referensstation påverkar mätresultatet. Det presenteras även kort information om SWEPOS. I *kapitel 2* beskrivs de mätningar och analyser som har utförts för undersökningen och sedan redogörs de erhållna resultaten i *kapitel 3* och diskuteras i *kapitel 4*. I den här rapporten används genomgående terminologi enligt GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement). Det innebär bl.a. att begreppen noggrannhet och precision ersätts med mätosäkerhet och att standardavvikelse ersätts med standardosäkerhet (JCGM 100, 2008).

1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur stora skillnader i höjd som erhålls med olika roverutrustningar med SWEPOS

nätverks-RTK-tjänst och med lika låg mätosäkerhet. Arbetet har avgränsats till att endast undersöka eventuella skillnader i höjd och tar inte upp skillnader i plan. Det som förväntas av detta arbete är att skillnaderna ska ligga på en låg nivå.

Lantmäteriet arbetar kontinuerligt med att minska mätosäkerheten i höjd genom pågående förtätningar av det befintliga SWEPOS-nätet men det finns även en förväntan om att nya satellitsignaler och satellitsystem på sikt ska bidra till en minskad mätosäkerhet i nätverks-RTK-tjänsten. Parallellt med detta arbete så är det därför viktigt att kontrollera att även roverutrustningarna på användarsidan arbetar på ett korrekt sätt, t.ex. hanterar antenmodeller rätt, så att en så låg mätosäkerhet som möjligt kan uppnås i det slutliga mätresultatet. Det är viktigt att få ett svar på om utrustningarna levererar ett korrekt enhetligt resultat eller om någon utrustning ger avvikande resultat.

För att undersöka detta valdes utrustningar av tre olika fabriker; Leica, Topcon och Trimble. För att upptäcka eventuella skillnader har flera nätverks-RTK-mätningar utförts under 2 timmar med samtliga mottagare i ett statiskt nät två gånger per dag. Vi vill genom arbetet även försöka besvara följande frågeställningar:

- Hur kommer mätosäkerheten att påverkas av olika fabriker vid olika avstånd till närmaste fysiska referensstation?
- Hur arbetar roverar med olika antenmodeller?
- Hur behandlar roverar frekvenserna L1 och L3?
- Vilka blir konsekvenserna om instrumenten inte ger likvärdiga höjdvärden?

1.2 Bakgrund

1.2.1 GNSS

GNSS är ett samlingsnamn för olika satellitsystem vars syfte är positionsbestämning och navigering. Systemen används t.ex. för navigering av markfordon, fartyg, flyg, rymdfarkoster och för att övervaka jordens tektoniska plattor m.m. De satellitsystem som för tillfället har global täckning är det amerikanska Global Positioning System (GPS) och det ryska GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Glonass). Två andra satellitsystem som kommer att ha global täckning och som är under uppbyggnad är europeiska Galileo och kinesiska BeiDou (Chasmai, Barde, Purohit & Sharma, 2014).

När mätningar utförs med GNSS är det viktigt att ha förhållandevis fri sikt mot satelliterna för att mottagaren ska kunna ta emot signalerna. För att kunna erhålla en position måste avståndet mellan mottagare och satellit bestämmas, detta görs genom kod- och/eller bärvågsmätning på GNSS-signalen. Kod- och bärvågsmätningen

påverkas av flera osäkerhetskällor, men genom att uppskatta och modellera dessa eller mäta mot många satelliter kan de reduceras. Vid positionsbestämning kan en eller flera mottagare användas för absolut mätning eller relativ mätning. Vid absolut positionsbestämning används endast en GNSS-mottagare. Vid relativ mätning placeras en eller flera GNSS-mottagare över punkter med känd position (referensstationer), vilket medför att flera osäkerhetskällor kan reduceras eller elimineras. Detta innebär i sin tur lägre mätosäkerhet för den GNSS-mottagare som ska positionsbestämmas (rover). De metoder som ingår i relativ positionsbestämning är bl.a. enkelstations-RTK, nätverks-RTK, differentiell GPS (DGPS) och statistisk mätning med efterberäkning (Lantmäteriet, 2012).

Det finns många faktorer som kan påverka mätresultatet vid GNSS-mätning. Störst påverkan kommer från atmosfären som orsakar en fördröjning av GNSS-signalerna, vilket dels sker i den nedre delen av atmosfären som kallas troposfär, och dels i den övre delen som kallas jonosfär. Troposfärsfel beror på väderförhållanden och att mängden vattenånga kan variera mycket. Jonosfärsfel beror på solfläcksaktivitet som frigör fria elektroner som i sin tur stör satellitsignalerna. Andra faktorer är antal satelliter, satelliternas geometri, elevationsgräns, flervägsfel, sikthinder m.m. (Odolinski, 2010).

1.2.2 Nätverks-RTK

Real Time Kinematic (RTK) är en metod som avser relativ bärvågsmätning i realtid. Med denna metod går det att få en mätosäkerhet på några centimeter efter att felkällor har eliminerats eller reducerats. Observationsdata från referensmottagaren sänds över till rovern genom en kommunikationslänk, rovern kombinerar dessa med sina egna observationer och därefter kan en position erhållas. Detta kräver dock att fixlösning på rovern har erhållits och för att få det måste den initialiseras vilket innebär att periodobekanta (antal hela våglängder mellan satellit och rovern) måste bestämmas. Vid initialisering måste båda mottagarna observera minst 5 gemensamma satelliter och hur lång tid det tar för initialiseringen beror bland annat på avståndet till referensstationen, antal satelliter och satellitgeometrin (Lilje et al., 2007). Nackdelen med denna teknik är att när avståndet mellan referensmottagare och rover ökar så erhålls en sämre mätosäkerhet för inmätt position. Detta beror på att vid långa avstånd så blir mätningarna mer okorrelerade och detta begränsar förmågan att reducera osäkerheter i atmosfär och satellitbanor. För att undkomma detta problem har konceptet nätverks-RTK utvecklats (Berber & Arslan, 2013).

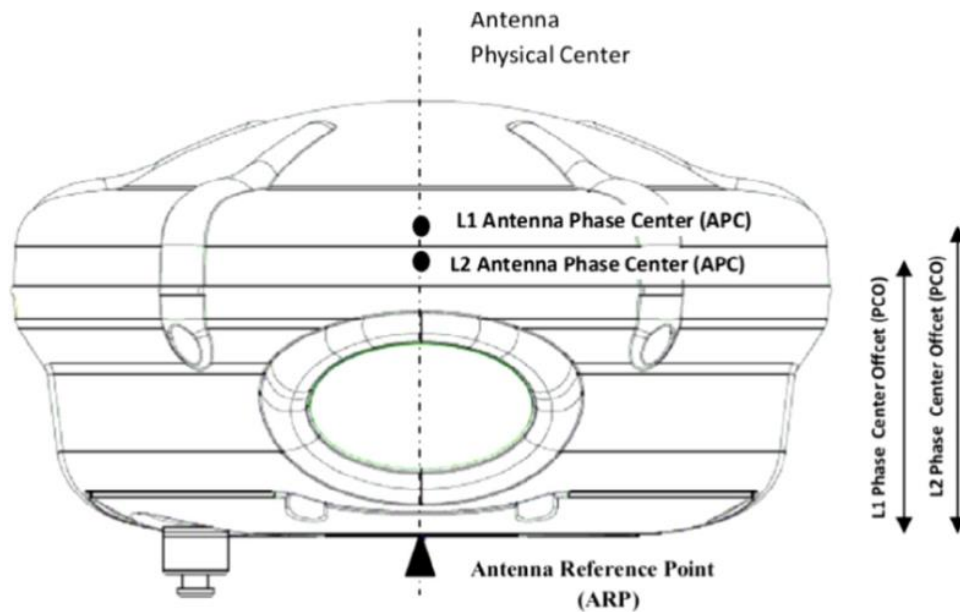
Nätverks-RTK utnyttjar ett nätverk av fasta referensstationer som kontinuerligt tar emot och sänder satellitobservationer till en server. Denna server kvalitetskontrollerar observationsdata från de berörda

referensstationerna inom området och framställer en korrektionsmodell (Berber & Arslan, 2013). Med hjälp av det sammankopplade nätet av referensstationer och korrektionsmodellen kan användaren erhålla en noggrannare position vid längre avstånd mellan mottagare och referensstation än med den vanliga RTK-metoden (Lilje et al., 2007). För att överföra data mellan server och mottagare finns det lite olika metoder, den metod SWEPOS använder kallas för virtuell referensstation (VRS).

VRS är en metod för att bestämma en mottagares position med hjälp av nätverks-RTK. Till denna metod används vanligtvis en tvåvägskommunikation vilket innebär att mottagaren skickar sin position till servern och korrigeringar för felkällorna beräknas. Dessa korrigeringar används för att skapa en virtuell referensstation i dess närhet som överförs till mottagaren. Detta gör att längden på baslinjen mellan mottagaren och referensstationen blir kort och det går att få en positionsbestämning med låg mätosäkerhet. Korrigeringarna för den virtuella referensstationen är optimerade för mottagarens position i början av sessionen, dvs. efter anslutning till nätverks-RTK-tjänsten. Om mottagaren sedan flyttas långt inom samma session erhålls inte samma mätosäkerhet. Detta går att åtgärda genom att göra en oinitialisering (Berber & Arslan, 2012).

1.2.3 Antennmodeller

En GNSS-antenn är den enhet som förbinder satelliterna och mottagaren. Den används som ett filter där den förstärker och konverterar den inkommande signalen från satelliten till en elektrisk signal så att mottagaren kan bearbeta den. Punkterna i antennen som tar emot signalerna kallas för antennens fascentrum (APC) och läget på detta elektriska centrum varierar med inkommande signalers elevation, azimut och frekvens, detta kallas för fascentrumvariation (PCV). Eftersom det finns många olika antenntyper behövs olika antennmodeller för att beskriva variationerna i antennens fascentrum. Det finns två olika fascentrum, se *figur 1*, den ena är för L1-frekvensen och den andra för L2, men varje fascentrum har olika offset (PCO). När denna offset har blivit korrigerad för PCV refererar mätningarna till en fysisk punkt på antennen som kallas för antennens referenspunkt (ARP). Det är till denna punkt som användaren mäter höjden på mottagaren (EL-Hattab, 2013; Jivall, 2011).



Figur 1: Trimble R8-antenn som visar fascentrum och referenspunkt (El-Hattab, 2013).

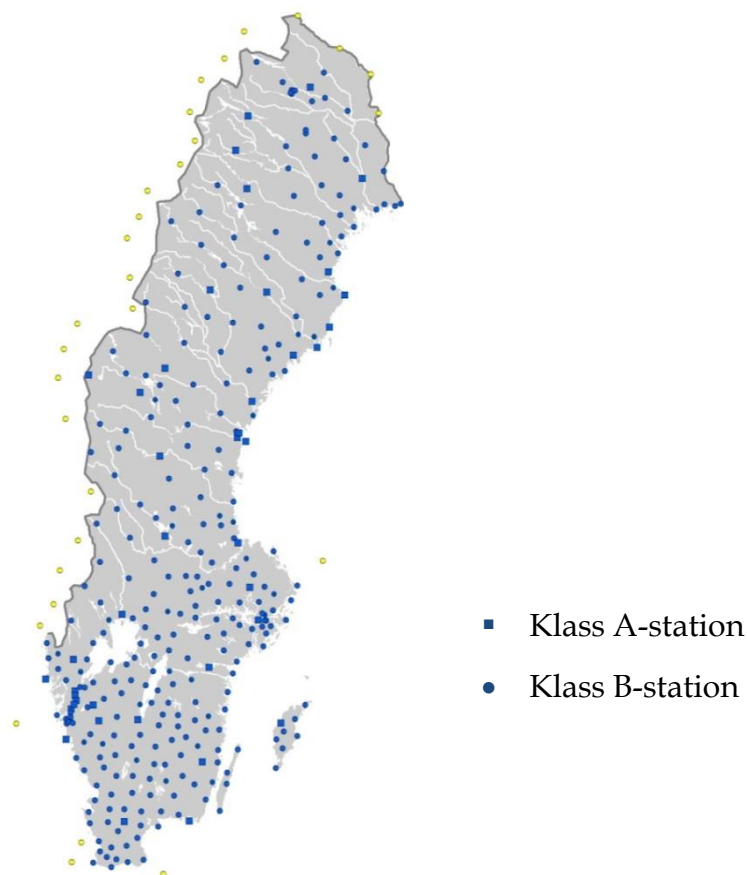
För att erhålla bra resultat vid mätning där baslinjer av olika längd används kan en kombination av L1 och L2 användas. Denna lösning kallas för L3 och är en jonosfärsfri linjärkombination som ska ge bättre resultat vid främst längre avstånd mellan mottagare och referensstation eftersom effekten från jonosfären minimeras. Nackdelen är att brusnivån förstärks i fasmätningsobservationerna och detta gör att på korta avstånd är beräkning på endast L1 att föredra (Eriksson, 2010). Om antenmodellerna inte är riktigt bra förstärks felen vid en L3-lösning jämfört med om en L1-lösning erhålls (Lilje, personlig kommunikation, 21 maj 2014).

1.2.4 Baslinjer

Med baslinje menas avstånd samt riktning mellan de GNSS-stationer som används samtidigt vid mätning (HMK-Ge:GPS.1.2.2). Enkelstations-RTK är beroende av avståndet mellan referensstation och rover, ju längre avstånd desto större osäkerhet för positioneringen. Berber och Arslan (2013) förklarar att detta beror på att med längre avstånd blir mätserierna okorrelerade, vilket medför en begränsning i uträkningen av atmosfäriska och banrelaterade fel. Detta påpekar även Grejner-Brzezinska, Kashani och Wielgosz (2005) samt Feng och Wang (2008). De är överrens om att nätverks-RTK är en lösning på problemet och gör att längre baslinjer kan användas. Berber och Arslan (2013) förklarar att nätverks-RTK minskar inflytandet från de avståndsberoende felen genom att beräkna nätverks-RTK-korrekationer, interpolera dessa och sedan sända ut dem. Enligt Wang, Feng, Higgins och Cowie (2010) är det maximala avståndet mellan referensstationerna i ett nätverk oftast 50–70 km.

1.2.5 SWEPOS

SWEPOS är Sveriges nät av fasta referensstationer, se *figur 2*, och används för satellitpositionering. Systemet ligger under Lantmäteriets ansvar och består av ca 300 fasta referensstationer. Med fast referensstation menas att den är byggd på en stabil grund för kontinuerlig GNSS-mätning. Referensstationernas satellitmottagare tar emot signaler från GNSS-satelliterna, för tillfället GPS och Glonass, och skickar sedan vidare data till en driftledningscentral som finns i Gävle på Lantmäteriets huvudkontor. Där samlas all data för kvalitetskontroll och sedan kan det användas i SWEPOS positioneringstjänster, där den mest använda är SWEPOS nätverks-RTK-tjänst (SWEPOS, u.å).



Figur 2: Befintliga SWEPOS-stationer (SWEPOS, 2014).

Beroende på stabilitet och utrustning delas stationerna in i klass A eller klass B, där klass A-stationer erbjuder bäst stabilitet eftersom antennerna är monterade på isolerade betongpelare eller fackverksmaster som sitter förankrade i berggrunden. Klass B-stationer sitter monterade på byggnader och erbjuder inte lika hög stabilitet som klass A, men de monitoreras för att upptäcka eventuella rörelser. B-stationerna används normalt för förtätning av nät och dessa utgör ca 90 % av SWEPOS-nätet. Just nu pågår en förtätning där målet är att 2015 ha ett rikstäckande nät, med vissa avsteg, där avstånden mellan referensstationerna är 35 km, istället

för 70 km som det varit sedan 2007–2008. Förtätningen till 35 km förväntas leda till en mätosäkerhet på 1 cm-nivå i plan och höjd (68 %). För att kunna ta emot signaler från t.ex. Galileo, dvs. de satellitsystem som fortfarande är under uppbyggnad, uppgraderas även stationernas GNSS-utrustning. Enligt SWEPOS är den förväntade mätosäkerheten i höjd 15–20 mm (68 %) med 35 km mellan referensstationerna (SWEPOS, u.å.).

1.3 Tidigare studier

En liknande studie har gjorts av Lundell (2012) som i sitt examensarbete undersökte den teknik för nätverks-RTK som kallas nätverks-RTK-meddelande med tre olika GNSS-mottagare med fokus på initialiseringstid, mätosäkerhet och avståndsberoende till närmaste referensstation. Det här examensarbetet skiljer sig mot detta eftersom mätningarna utfördes på en och samma plats med samma mätmetod medan Lundells (2012) arbete baseras på mätningar från tre olika platser med tre olika mätmetoder. Vi undersöker inte heller initialiseringstiden och sättet att skicka data.

Det har även gjorts en studie av Mårtensson, Reshetyuk och Jivall (2012) om mätosäkerheten vid positionsbestämning i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst. Denna studie är relevant för undersökningen eftersom SWEPOS nätverks-RTK-tjänst användes för insamlande av data. De kom fram till att det i tjänsten gick att erhålla en mätosäkerhet i plan som var mindre än 10 mm och i höjd mindre än 16 mm (68 %). Dessa mätosäkerheter erhöles vid mätning i område med 35 km mellan SWEPOS-stationer och med 1 km till närmaste fysiska referensstation samt en observationstid på 1–5 min.

En studie har även utförts med syftet att utvärdera prestandan för tre nätverks-RTK-tjänster i Irland (Martin & McGovern, 2012). Där användes tre olika GNSS-utrustningar av samma fabrikat som de som jämförs i detta examensarbete. Deras resultat visade vid beräkning av RMS att inga större skillnader förekom mellan de olika fabrikaten. Ingen större vikt lades vid jämförelse av fabrikaten, vilket är det som det här examensarbetet fokuserar mest på. De kom även fram till att de tre tjänsterna inte uppvisade någon signifikant skillnad och att det i samtliga nät med 50 km mellan stationerna gick att uppnå en mätosäkerhet i höjd på 29 mm (68 %).

2 Metod

För att kunna utvärdera mätosäkerheten i höjd i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst med olika roverutrustningar utfördes ett stort antal RTK-mätningar. Fältarbetet pågick under tre veckor i Gävle på Lantmäteriets antennkalibreringsfält för GNSS-antennar. För att ha möjlighet att undersöka hur avståndet till närmaste fysiska referensstation påverkar mätosäkerheten skiftades den närmaste fysiska referensstationen mellan två stationer på olika avstånd från testområdet. De data som erhöles sammanställdes och analyserades i Microsoft Excel.

2.1 Utrustning

De fyra GNSS-mottagare som användes vid fältstudien var av tre olika fabrikat, Leica, Trimble och Topcon. För att ha tillgång till dessa samtidigt lånades en Leica-utrustning från Högskolan i Gävle, en Trimble R8 från Lantmäteriet, en Trimble R10 från Trimtec AB och en Topcon-utrustning från Norsecraft Geo AB. I *tabell 1* nedan visas information om de olika utrustningarna. För att inte peka ut något fabrikat används A, B, C och D fortsättningsvis istället för mottagarnas namn.

Tabell 1: Information om de RTK-utrustningar som använts i undersökningen.

Fabrikat	Leica	Topcon	Trimble	Trimble
GNSS-mottagare	Leica Viva GS14	Topcon HiPer SR	Trimble R8 GNSS modell 3	Trimble R10
Antenntyp	Integrerad i mottagare	Integrerad i mottagare	Integrerad i mottagare	Integrerad i mottagare
Handenhet	Leica Viva CS15	Topcon Tesla	TSC3	TSC3
Programvara i handenhet	Leica SmartWorx Viva version 5.02	Magnet Field version 2.5.1	Trimble Access version 2013.42	Trimble Access version 2014.01
Förväntad mätosäkerhet i höjd för NRTK (68 %)	15 mm	15 mm	15 mm	15 mm

2.2 Testområde

Fältstudien utfördes på antennkalibreringsfältets pelare på Lantmäteriets tak i Gävle, se *figur 3*. Syftet med fältet som anlades i

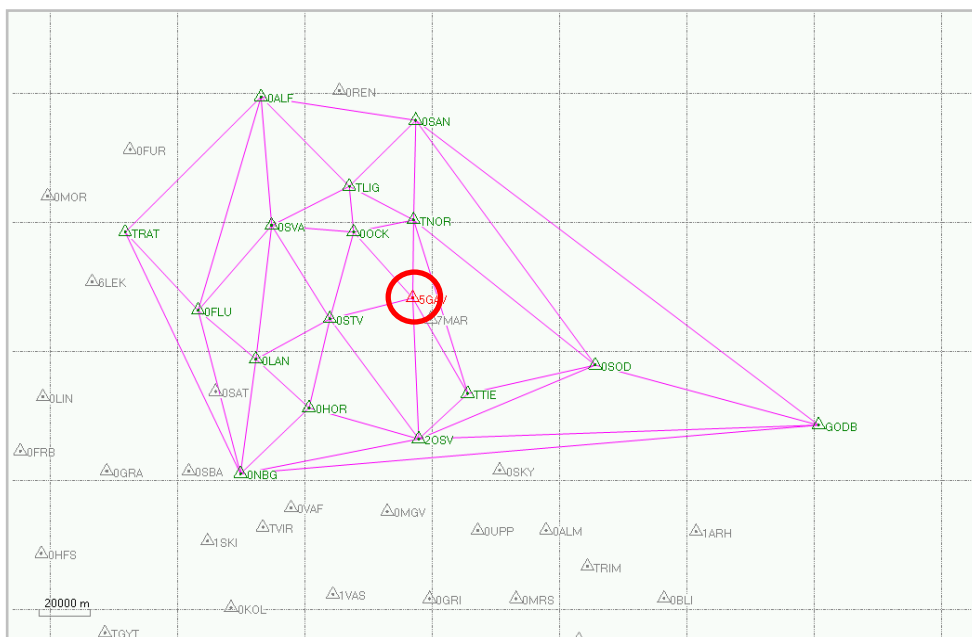
april 2007 är att testa och kalibrera nya GNSS-antennerna innan de sätts upp på SWEPOS-stationer. Pelarna på fältet har kända koordinater, se *tabell 2*, som har blivit inmätta med statisk mätning under 3 veckors tid och efterberäknats med L3-lösning. På dessa monterades de fyra GNSS-mottagarna. För att göra denna studie användes ett testnät i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst med två olika konfigurationer med Gävle respektive Norrsundet, se *figur 4* och *5*, som närmaste fysiska referensstation. Antennerna som sitter på dessa stationer är av olika fabrikat; Gävle har en Javad chokeringantenn (modell JAVRINGANT_DM) och Norrsundet har en Trimble Zephyr (modell TRM55971.00). Avstånd mellan referensstation och pelare är till Gävle ca 40 m och till Norrsundet ca 30 km.



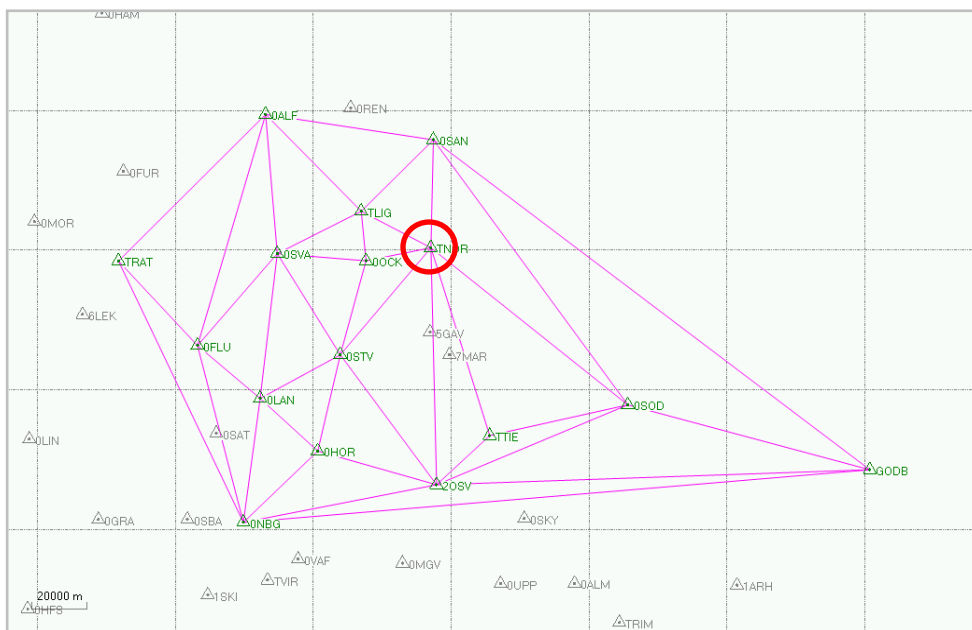
Figur 3: På Lantmäteriet i Gävle finns ett antennkalibreringsfält som användes för att genomföra studien.

Tabell 2: De kända höjderna (RH 2000) på pelarna på antennkalibreringsfältet.

Pelare	Känd höjd över geoid (m)	Pelare
GAVT,4	31,014	A
GAVT,5	31,013	B
GAVT,6	31,015	C
GAVT,7	31,013	D



Figur 4: SWEPOS testnät som användes i undersökningen. Här med stationen Gävle (markerad med röd ring) som närmaste fysiska referensstation på ett avstånd på ca 40 m.



Figur 5: Här visas testnätet när stationen Gävle plockats bort, vilket medförde att stationen Norrsundet (markerad med röd ring) blev närmaste fysiska referensstation på ett avstånd på ca 30 km.

2.3 Datainsamling

Fältarbetet började med inläring av de aktuella utrustningarna för att få förståelse för dessa, detta var ett omfattande arbete som krävde mycket tid. Inmätning på de kända punkterna utfördes under tre veckors tid i april 2014. Varje pelare på antennkalibreringsfältet har en monterad trefot som med jämna mellanrum kalibreras, därför monterades de fyra mottagarna direkt på dessa utan kalibrering.

Inmätning skedde simultant med alla fyra utrustningar med nätverks-RTK där metoden VRS användes. Varje mätserie pågick under två timmar utan medeltalsbildning där en epok var en sekund. Att mätningen pågick under två timmar berodde på att enligt Engfeldt och Odolinski (2010) ger längre observationstid än så inte någon signifikant förbättring av mätosäkerheten. Detta medförde att varje mätserie bestod av ca 7200 observationer. En mätserie utfördes på förmiddagen och en på eftermiddagen, detta för att kunna jämföra om tidpunkten på dygnet har någon betydelse för mätosäkerheten. För att undersöka hur de olika frekvenserna påverkar mätosäkerheten utfördes ca varannan dag mätningar med stationen Gävle som närmaste fysiska referensstation och varannan dag med stationen Norrsundet som närmaste. När närmaste referensstation är runt 30 km är det tänkbart att en L3-lösning erhålls. Genom att mäta med de olika referensstationerna som närmaste fysiska kunde påverkan av längre avstånd mellan referensstation och mottagare också ses. Efter varje mätserie kontrollerades även jonosfärsmonitorn på SWEPOS hemsida för att se hur stor störning jonosfären kan ha gett på GNSS-mätningen.

För samtliga utrustningar sattes elevationsgränsen till 13 grader. Generellt sett är det bra om signaler från många satelliter används, men satelliter som har låga elevationsvinklar kan ha sämre kvalitet på signalerna och därför används ofta en elevationsgräns på 13–15 grader för att sälla bort dessa (Norin, Engfeldt, Öberg & Jämtnäs, 2010). Ett maximalt värde för Positional Dilution Of Precision (PDOP) sattes till 4,0 eftersom mätosäkerheten påverkas av satelliternas geometriska spridning och ett lågt PDOP-värde, vanligtvis under 4,0, visar på en god satellitgeometri (Norin et al., 2010).

Rådataloggning med en sekunds intervall valdes för eventuella framtida undersökningar, rådataloggning gick inte att välja manuellt i Trimbles mottagare utan skedde automatiskt. Koordinaterna lagrades i SWEREF 99 TM, höjderna lagrades som höjder över geoiden och den geoidmodell som användes var SWEN08_RH2000. De kända punkterna räknades om med samma geoidmodell för att inga avvikelser skulle uppkomma p.g.a. geoidmodellen. Eftersom mottagarna placerades direkt på de färdigkalibrerade trefötterna ställdes antennhöjderna in på 0,00 m mätt från antennfästet till ARP i alla instrument utom Trimble R8 som behövde en adapter p.g.a. att mobiltelefoniantennen var i vägen, vilket kan ses i *figur 6* där samtliga mottagare visas. På denna ställdes antennhöjden in på 0,18 m mätt från antennfästet. Uppkoppling till Internet och anslutningspunkt i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst skedde via Telia. En mer detaljerad beskrivning av tillvägagångssätt och inställningar för varje utrustning finns i *bilaga 1*.



Figur 6: De fyra RTK-mottagarna uppsatta på antennkalibreringsfältet i ordningen Leica, Topcon, Trimble R10 och Trimble R8.

Ett stort antal mätserier utfördes eftersom jämförelsen krävde att samtliga instrument mätte under samma förhållanden och flertalet gånger hände det att problem uppstod så att mätserien inte kunde användas, t.ex. att en mottagare tappade kontakten och därmed avbröt mätningen. Efter mätperioden kunde konstateras att under tre dagar (förmiddag samt eftermiddag) fanns hela mätserier för samtliga utrustningar med stationen Gävle som närmaste fysiska referensstation och under tre dagar fanns hela mätserier med stationen Norrsundet som närmaste. Endast dessa mätserier användes vid jämförelsen. Två mätserier per dag i 6 dagar blev 86 400 observationer med varje mottagare, vilket medförde 345 600 observationer totalt.

2.4 Databearbetning och analys

De lagrade koordinaterna och höjderna i handenheten exporterades som textfiler och sammanställdes i Microsoft Excel där jämförelser utfördes gentemot de kända höjderna. Från Leicas handenhet kunde inte textfiler med koordinater och höjder exporteras, därför exporterades istället jobbfiler som sedan öppnades i dataprogrammet LGO (Leica Geo Office) och därifrån exporterades både textfiler och Rinex-filer. Textfilerna sammanställdes i Excel och Rinex-filerna sparades för framtida användning. För att erhålla Rinex-filer från de andra utrustningarna exporterades även deras jobbfiler. Trimbles jobbfiler konverterades till Rinex i dataprogrammet Convert To RINEX och Topcons jobbfiler konverterades i dataprogrammet Topcon Link.

För att se hur väl de inmätta höjderna stämde överens med de kända höjderna beräknades grundläggande statistiska mått för varje mätserie:

- RMS (Root Mean Square) för att erhålla spridning kring det kända värdet:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(x - x_{KÄND})^2}{n}} \quad (1)$$

där x är den inmätta höjden, $x_{KÄND}$ är den kända höjden och n är antal mätningar.

- Standardosäkerheten visar mätningarnas spridning kring deras medelvärde:

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

där x är den inmätta höjden, \bar{x} är medelvärdet av de inmätta höjderna och n är antalet mätningar.

- Medelavvikelsen från kända höjder:

$$Medel = \frac{\sum(x - x_{KÄND})}{n} \quad (3)$$

där x är den inmätta höjden, $x_{KÄND}$ är den kända höjden och n är antalet mätningar.

För att undersöka om det fanns några systematiska fel i mätningarna studerades medelavvikelsen, detta värde ska gå mot noll samtidigt som RMS och standardosäkerheten går mot samma värde. Om enskilda punkter avvek i mätningarna plockades dessa bort. Detta hade ingen större betydelse i beräkningarna annat än för spridningsmättet.

Om en stor mängd data ska analyseras är beräkning av den 95:e percentilen ett bra sätt att kontrollera hur mycket mätvärdena avviker från medelvärdet. Från dessa beräkningar erhöles diagram som visar fördelningen för varje mätserie, se *bilaga 2*. I diagrammen går det att utvisa under vilket gränsvärde för avvikelsen som t.ex. 95 % av mätningarna faller inom (95:e percentilen).

2.5 Begränsningar och problem

Den här undersökningen gjordes som nämnts hos Lantmäteriet och det som de var mest intresserade av var om olika roverutrustningar ger likvärdiga höjdvärden i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst. Eftersom det fanns ett speciellt intresse av resultatet i höjd begränsades arbetet efter detta och fokuserar till största del på mätresultaten i höjddled. Dock gjordes en kontroll även i plan för att fastställa att inga problem förekom i mätningarna.

Ett problem som uppstod under några av mätsessionerna var att någon mottagare kunde tappa kontakten med nätverks-RTK-tjänsten och slutade då att logga observationer. En annan mottagare kunde helt plötsligt pausa mitt i mätningen och efter flera minuter fortsätta att logga observationer. En av mottagarna gick sönder så vi var tvungna att vänta på en ny innan mätningarna kunde upptas.

Ett annat problem kan ha uppstått eftersom varje mottagare placerades på sin respektive pelare under alla mätserier. Anledningen till detta var tidsgränsen som gjorde att det inte fanns möjlighet att genomföra så pass många mätserier som hade behövts om varje mottagare skulle skiftas mellan varje pelare både med stationen Gävle och med Norrsundet som närmaste fysiska referensstation. Det skulle tagit över en månad om allt fungerat felfritt, vilket det inte fanns tid till. Detta kan ha bidragit till eventuella systematiska fel och gjorde det svårare att jämföra om utrustningarna gav likvärdiga höjdvärden.

3 Resultat

3.1 Mätkvalitet

Vår målsättning var att under två timmar få sammanhängande mätning med alla fyra RTK-mottagare vid samma tidpunkt för att kunna göra en likvärdig analys. Inmätning med fyra GNSS-mottagare under tre veckor resulterade i stora mängder data att hantera. De mätserier som bröts innan två timmar hade passerat uteslöts från beräkningarna och det medförde att mätningar från 6 dagar återstod att analysera.

Den 95:e percentilen beräknades för att på ett annat sätt än via standardosäkerheten visa hur mycket mätvärdena avviker från medelvärdet. *Tabell 3* visar resultatet av beräkningarna för den 95:e percentilen, för att se hur fördelningen av mätvärdena förhåller sig till medelvärdet, se diagram i *bilaga 2*.

Tabell 3: 95:e percentilen visar avvikelse (m) från medelvärde där 95 % av mätningarna faller inom detta värde.

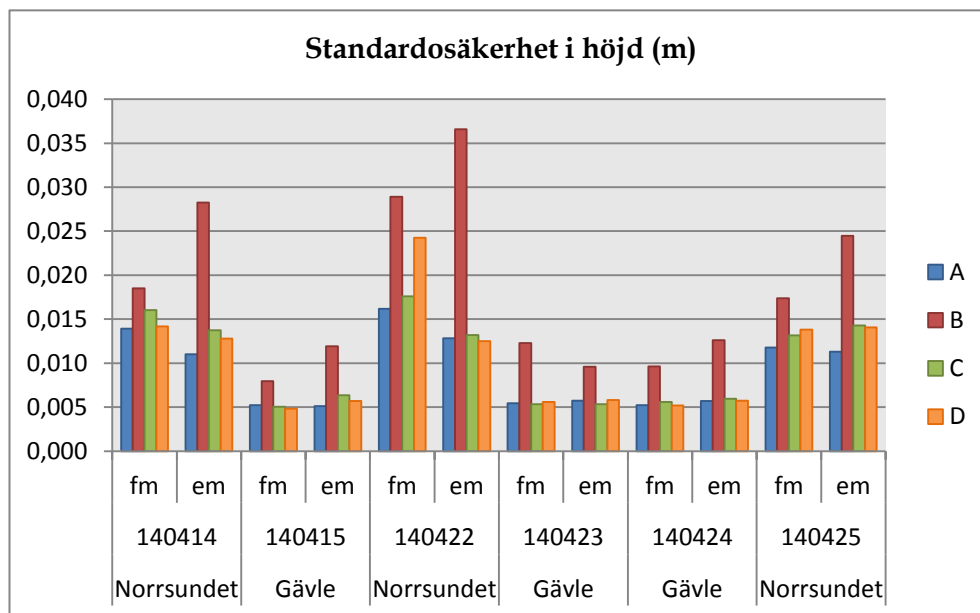
	Gävle		Norrundet	
Mottagare	fm	em	fm	em
A	0,011	0,011	0,027	0,022
B	0,020	0,020	0,043	0,058
C	0,011	0,012	0,031	0,025
D	0,011	0,012	0,029	0,025

I *tabell 4–6* presenteras resultat från beräkningar av standardosäkerhet, RMS och medelavvikelse för varje mottagare enligt *ekvation 1–3*. I dessa tabeller har även ett separat värde för förmiddag och eftermiddag beräknats för respektive station som närmaste fysiska referensstation. För att få en tydligare överblick visas även standardosäkerhet, RMS och medelavvikelse i *figur 7–9* där varje mätserie redovisas och även information om datum, tid på dygnet och vilken referensstation som använts som närmaste fysiska referensstation.

Standardosäkerheten beräknades för att likt 95:e percentilen visa mätningarnas spridning kring medelvärdet, resultatet ses i *tabell 4* samt *figur 7*.

Tabell 4: Standardosäkerhet i höjd (m) beräknad för båda referensstationerna som närmaste fysiska station.

Mottagare	Gävle			Norrundet		
	Fm	Em	Totalt	fm	em	Totalt
A	0,005	0,006	0,006	0,014	0,012	0,013
B	0,010	0,011	0,011	0,022	0,030	0,026
C	0,005	0,006	0,006	0,016	0,014	0,015
D	0,005	0,006	0,006	0,017	0,013	0,015

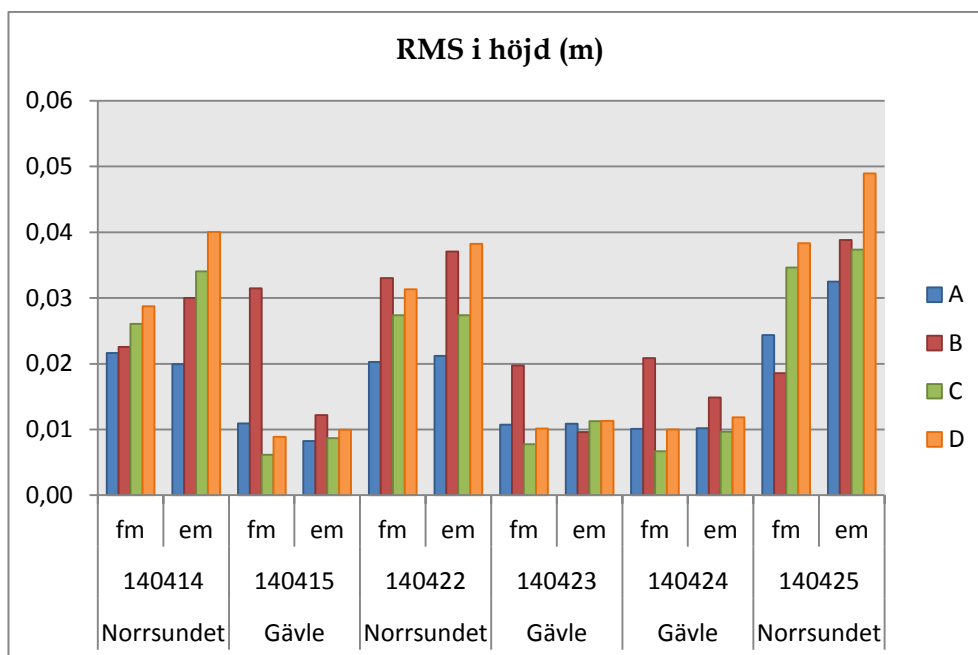


Figur 7: Standardosäkerheten i höjd (m) för olika dagar och referensstationer som närmaste fysiska station.

Resultatet för beräkningen av RMS, som beskriver den kvadratiska medelavvikelsen från den kända punkten, visas i tabell 5 samt figur 8.

Tabell 5: RMS i höjd (m) beräknad för båda referensstationerna som närmaste fysiska station.

Mottagare	Gävle			Norrundet		
	fm	em	Totalt	fm	em	Totalt
A	0,011	0,010	0,011	0,022	0,025	0,024
B	0,024	0,012	0,018	0,025	0,035	0,030
C	0,007	0,010	0,009	0,029	0,033	0,031
D	0,010	0,011	0,011	0,033	0,042	0,038

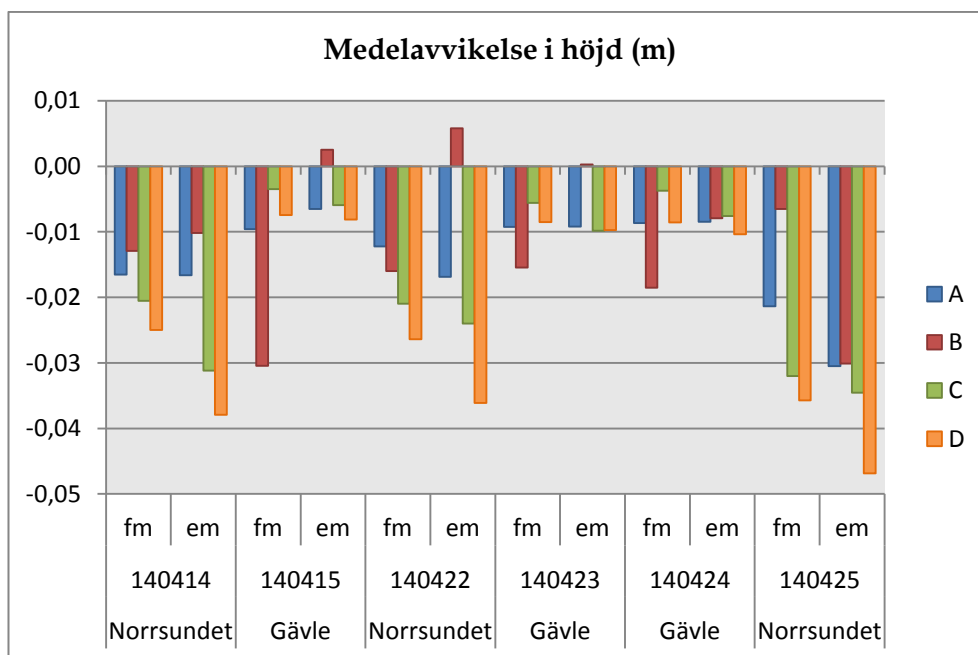


Figur 8: RMS i höjd (m) där spridning kring det kända värdet visas för de olika dagarna och referensstationerna som närmaste fysiska station.

Medelavvikelse beräknades för att se om det förekom några systematiska fel, vilket kan utvisas med hjälp av en jämförelse av medelavvikelse, RMS och standardosäkerhet. Medelavvikelsen i sig visar medelvärdet för mätseriens avvikelse från den kända höjden, se tabell 6 samt figur 9.

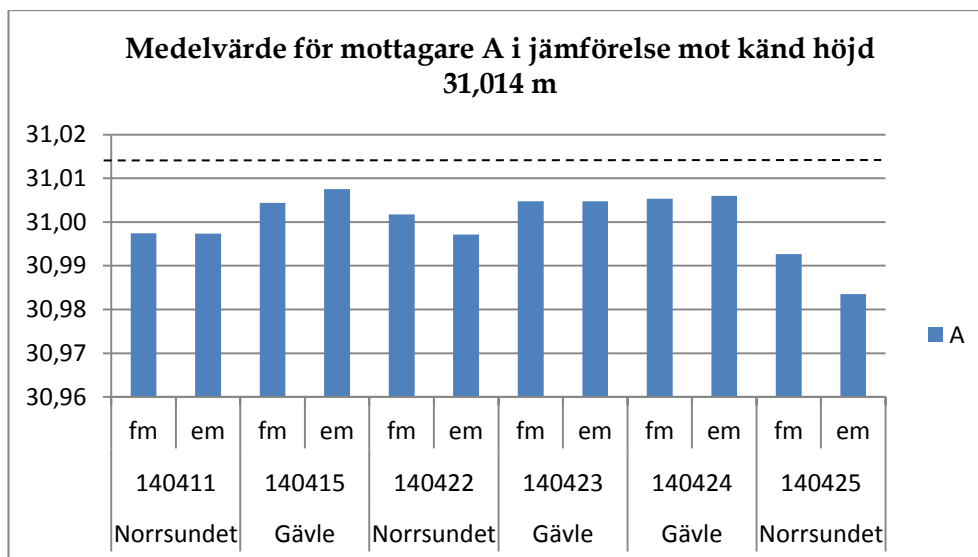
Tabell 6: Medelavvikelse i höjd (m) beräknad för båda referensstationerna som närmaste fysiska station.

Mottagare	Gävle			Norrsundet		
	fm	em	Totalt	fm	em	Totalt
A	-0,009	-0,008	-0,009	-0,017	-0,021	-0,019
B	-0,021	-0,002	-0,012	-0,012	-0,011	-0,012
C	-0,004	-0,008	-0,006	-0,025	-0,030	-0,028
D	-0,008	-0,009	-0,009	-0,029	-0,040	-0,035
Totalt	-0,010	-0,007	-0,009	-0,021	-0,026	-0,024

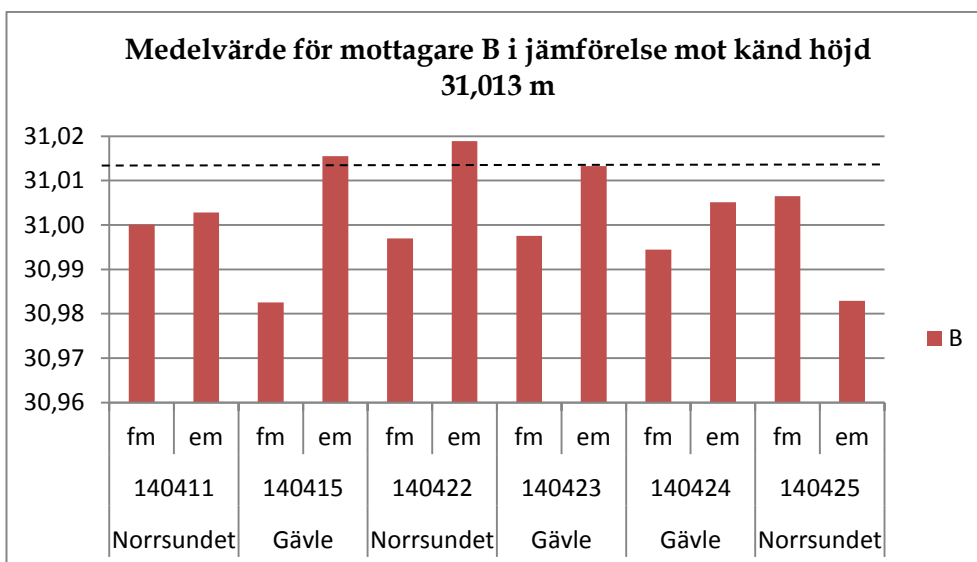


Figur 9: Medelavvikelse i höjd (m) visar om det förekommer några systematiska fel.

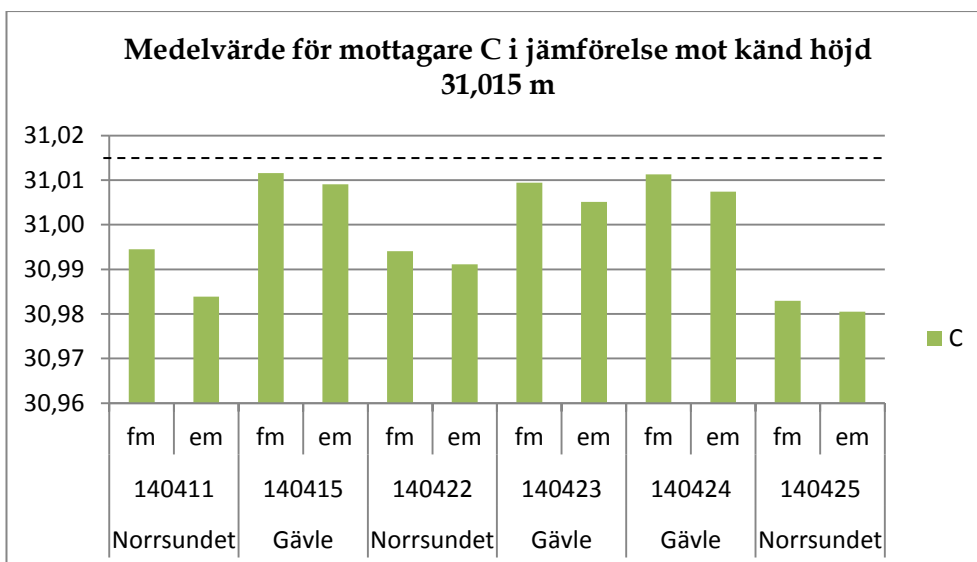
För att tydligare än vad som framgår av *figur 9* kunna jämföra om utrustningarna gav likvärdiga höjdvärden jämfördes *figur 10–13* som visar resultatet i höjd för varje utrustning i jämförelse med respektive pelares kända höjd.



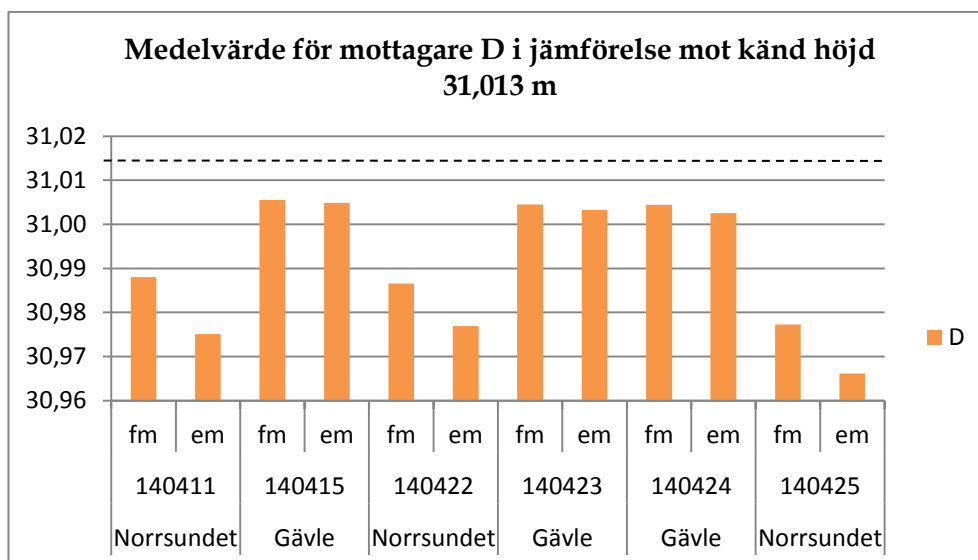
Figur 10: Resultat i höjd (m) för mottagare A, där streckad linje visar känd höjd.



Figur 11: Resultat i höjd (m) för mottagare B, där streckad linje visar känd höjd.



Figur 12: Resultat i höjd (m) för mottagare C, där streckad linje visar känd höjd.



Figur 13: Resultat i höjd (m) för mottagare D, där streckad linje visar känd höjd.

3.2 Antennmodeller

Antennmodellen räknar själv ut var i antennen som höjden mäts till beroende på vilken frekvens som tas emot och var satelliterna befinner sig. Det enda som användaren kan göra är att välja rätt antennmodell och till vilken punkt på antennen som antennhöjden är förinställd på. Idag finns det ett brett utbud av GNSS-antenner och för att kunna hantera dessa antenner på ett korrekt sätt så måste den fysiska positionen där punkterna är placerade vara entydigt fastställd. Detta görs med kalibrering som bl.a. bedrivs av National Geodetic Survey (NGS) och är en viktig del av GNSS-databehandling (NGS, 2014).

4 Diskussion

4.1 Mätkvalitet

Den 95:e percentilen visade enligt *tabell 3* att mottagare B har en större avvikelse från mätningarnas medelvärde jämförelsevis mot de andra mottagarna vid mätning med båda stationerna som närmaste fysiska referensstation. Det framgår även av tabellen att avvikelsen från medelvärdet påverkas av avståndet till den närmaste fysiska referensstationen eftersom avvikelsen är märkbart större när stationen Norrsundet användes som närmaste fysiska referensstation, som ligger längre bort än stationen Gävle.

Beräkningarna för standardosäkerhet gav som förväntat samma resultat som för 95:e percentilen, dvs. att mottagare B gav sämre resultat i jämförelse med de övriga tre som höll en förhållandevis jämn nivå. I *tabell 4* som redovisar standardosäkerheten för samtliga utrustningar och mätdagar framgår det att för mätningar med stationen Gävle som närmaste fysiska referensstation (avstånd ca 40 m) är standardosäkerheten två gånger lägre än för mätningar med stationen Norrsundet som närmaste (avstånd ca 30 km). Detta stämmer dock inte för mottagare B. För Gävle erhöles en standardosäkerhet i höjd för mottagare A, C och D på ca 6 mm och för mottagare B på 11 mm. Med stationen Norrsundet som närmaste fysiska referensstation erhöles en standardosäkerhet för mottagare A, C och D på ca 13–15 mm och för mottagare B på 26 mm. Lundell (2012) erhöles en standardosäkerhet på ca 13–19 mm i sin studie, vilket stämmer bra överens med standardosäkerheten som erhöles för Norrsundet i denna undersökning om mottagare B bortses. Vad det beror på att mottagare B skiljer sig från övriga mottagare är oklart och kan vara ämne för framtida studier. Liknande resultat har erhöles av Martin och McGovern (2012) där en av de använda mottagarna avviker signifikant. Enligt dem berodde avvikelsen på en felinställning i mottagaren, vilket kan vara en förklaring även i denna undersökning. De beskrev dock inte vilken felinställning som hade gjorts och därmed kunde inte detta kontrolleras om så var fallet även här.

Det framgår även av *tabell 4* att det blev en markant skillnad om avståndet till närmaste fysiska referensstation gjordes längre. Det förekommer en större standardosäkerhet vid mätning med Norrsundet som närmaste fysiska referensstation, som ligger på längre avstånd från mottagaren. Tidigare undersökningar (Emardson, Jarlemark, Bergstrand & Johansson, 2009) och erfarenheter hos bl.a. Lantmäteriet har visat att ett glesare nät med referensstationer ger en högre standardosäkerhet i mätningarna. Bl.a. därför pågår en förtätning av SWEPOS-nätet och stora delar av

Sverige har i dag ett nät som gör att maximalt avstånd till närmaste fysiska referensstation understiger 20 km.

Resultaten tyder även på en liten förbättring, ca 1 mm, på förmiddagen jämfört med eftermiddagen vid mätning med Gävle som närmaste fysiska referensstation. Vid mätning med stationen Norrsundet tyder resultatet på motsatsen då standardosäkerheten förbättras ca 2–4 mm på eftermiddagen jämfört med förmiddagen. Mottagare B försämras dock på eftermiddagen med 8 mm.

Beräkningen av RMS visade på ett varierande resultat, se *tabell 5* och *figur 8*. Vid mätning med stationen Gävle som närmaste fysiska referensstation sticker mottagare B ut på förmiddagen med ett högre RMS, annars håller mottagarna en jämn nivå. Med stationen Norrsundet som närmaste fysiska referensstation är RMS högre men är fortfarande på en jämn nivå för samtliga mottagare utom för mottagare D som på eftermiddagen sticker ut lite.

Enligt *tabell 6* framgår det att medelavvikelsen för några mottagare ändras, samtidigt som avvikelsen från känd höjd blir större, då den närmaste fysiska referensstationen byts från stationen Gävle till stationen Norrsundet, som ligger på ett längre avstånd från mottagaren. Medelavvikelsen sjunker för mottagare A med 10 mm, för mottagare C med 22 mm och för mottagare D med 26 mm, medan den för mottagare B inte ändras. För noggranna tillämpningar är det olyckligt om en sådan skillnad kan uppkomma och ge en oönskad motsättning på den nivån mellan olika höjdbestämmingar. Lantmäteriet har gjort några ytterligare testmätningar och det verkar krävas så pass långa avstånd till närmaste fysiska referensstation som bara kan fås i de icke förtätade delarna av SWEPOS-nätet för att avvikelsen ska kunna uppstå. Lantmäteriet håller tillsammans med instrumenttillverkarna på att försöka klargöra orsaken till problemet.

Figur 10–13 visar att med stationen Gävle som närmaste fysiska referensstation ligger höjdvärdet för mottagare A -6--10 mm från känd höjd, för mottagare B +3--30 mm från känd höjd, för mottagare C -3--10 mm från känd höjd och för mottagare D -7--10 mm från känd höjd. Samtliga mottagare utom B kan därmed anses ge likvärdiga höjdvärden så länge Gävle är närmaste fysiska referensstation. När närmaste fysiska referensstation byts till stationen Norrsundet ligger höjdvärdet för mottagare A -12--30 mm från känd höjd, för mottagare B +6--30 mm från känd höjd, för mottagare C -21--35 mm från känd höjd och för mottagare D -25--47 mm från känd höjd. Med det längre avståndet förekommer större spridning och ingen av mottagarna kan anses ge likvärdiga höjdvärden.

Hur mottagare behandlar frekvenserna L1 och L3 fick inget direkt svar. Tanken var att genom rådata från mätningarna kunna se vilken av L1 och L3 som använts men där stod endast vilka frekvenser som

mottagaren kan ta emot, inte vilka den använt sig av. Eftersom det inte gick att se vilken av frekvenserna som specifikt hade använts för de olika fabrikaten kom frågan upp om det finns möjlighet att välja innan mätning vilken som ska användas. Efter att ha undersökt alternativ för utrustningarnas inställningar fastställdes att detta inte gick och frågan ställdes istället till instrumentleverantörerna. Svaret var att både frekvenserna L1 och L2 används oavsett avstånd till närmaste fysiska referensstation. Vid efterberäkning finns möjligheten att välja om beräkningen ska ske med L1, L2 eller en linjär kombination L3 (M. Högström, personlig kommunikation, 28 april 2014; M. Korall, personlig kommunikation, 21 maj 2014; Trimble support, personlig kommunikation, 29 april 2014).

4.2 Framtida studier

Om liknande studier ska utföras i framtiden är en rekommendation att variera mottagarna på varje känd punkt för att erhålla ett mer trovärdigt resultat och då göra dessa under kortare tid för att få liknande förhållanden.

I den här undersökningen användes olika antenner på de närmaste fysiska referensstationerna och det är oklart om det har påverkat resultatet. Därför kan det vara intressant att studera om mätosäkerheten ökar eller minskar och om likvärdiga höjdvärden erhålls om mätning sker med närmaste fysiska referensstationer med olika antenner fast med lika långa baslinjer.

5 Slutsats

I detta examensarbete undersöktes mätosäkerheten i höjd för fyra olika roverutrustningar från Leica, Trimble och Topcon. Det som ville fastställas var om det finns någon skillnad i höjdmätning i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst och om den ger likvärdiga höjdvärden vid mätning med olika GNSS-mottagare och olika avstånd till närmaste fysiska referensstation. Undersökningen visar vid beräkning av medelavvikelse att för de använda utrustningarna ändras höjdvärdet för mottagare C och D samt till viss del för mottagare A, då den närmaste fysiska referensstationen byts från stationen Gävle till stationen Norrsundet. Däremot gav mottagarna A, C och D till viss skillnad mot mottagare B ett likvärdigt resultat så länge samma referensstation var den närmaste, med det betyder inte att mottagare B är dålig då denna alltså gav ett jämnare resultat oberoende av avstånd till närmaste fysiska referensstation. Även vid studie av standardosäkerhet visas det att A, C och D har ett likvärdigt resultat och att B har ett något sämre. Den enda mottagare som faller utanför SWEPOS förväntade standardosäkerhet på 15–20 mm är mottagare B vid mätning på det långa avståndet till närmaste referensstation, då denna då är 6 mm över.

Utifrån detta kan det konstateras att det framkommit vissa skillnader i hur de använda utrustningarna mäter höjd. Det kan även fastställas att längre avstånd till närmaste fysiska referensstation medför högre standardosäkerhet och medelavvikelse. De negativa konsekvenser som detta skulle kunna ge upp upphov till blir dock obetydliga med ett begränsat avstånd mellan referensstationerna, likt i det förtätade SWEPOS-nätet. Att höjdvärdet för några utrustningar verkar kunna ändras vid ett långt avstånd till närmaste fysiska referensstation kan vara olyckligt för noggranna tillämpningar i sådana områden och Lantmäteriet håller tillsammans med instrumenttillverkarna på att försöka klargöra orsaken till problemet.

Referenser

- Berber, M. & Arslan, N. (2013). Network RTK: A case study in Florida. *Measurement*, 46(8), 2798–2806. doi:10.1016/j.measurement.2013.04.078
- Chasmai, M., Barde, A., Purohit, G. & Sharma, A. (2014). Accuracy enhancement techniques for global navigation satellite systems and its military ground based navigation applications. *International Journal of Wireless Communications and Networking Technologies*, 3(1). Från <http://warse.org/pdfs/2014/ijwcnt0132014.pdf>
- El-Hattab, A. I. (2013). Influence of GPS antenna phase center variation on precise positioning. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 2013(2), 272–277. doi:10.1016/j.nrjag.2013.11.002
- Emardson, R., Jarlemark, P., Bergstrand, S. & Johansson, J. (2009). Measurement accuracy in network-RTK (SP Rapport, 2009:23). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Från <http://www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx>
- Engfeldt, A. & Odolinski, R. (2010). Punktbestämning i RH2000: Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS (LMV-Rapport, 2010:6). Gävle: Lantmäteriet. Från <http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Rapporter-och-publikationer/Lantmaterirapporter>
- Eriksson, P.-O. (2010). Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer (LMV-Rapport, 2010:4). Gävle: Lantmäteriet. Från <http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Rapporter-och-publikationer/Lantmaterirapporter>
- Feng, Y. & Wang, J. (2008). GPS RTK performance characteristics and analysis. *Journal of Global Positioning Systems*, 7(1), 1–8. Från http://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?paperID=376#.Uyq02_15N30
- Grejner-Brzezinska, D. A., Kashani, I. & Wielgosz, P. (2005). On accuracy and reliability of instantaneous network RTK as a function of network geometry, station separation, and data processing strategy. *GPS Solutions*, 9(3), 212–225. doi:10.1007/s10291-005-0130-1
- HMK-Ge:GPS (1996). Handbok till mätningenskungörelsen: Geodesi, GPS. Gävle: Lantmäteriet.
- JCGM 100 (2008). Evaluation of measurement data – guide to the expression of uncertainty in measurement. Från

http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf

Jivall, L. (2011). Hur antenmodeller påverkar GNSS-mätning. GNSS/SWEPOS-seminariet 2011-10-24. Hämtad 7 april, 2014, från SWEPOS, http://swepos.lmv.lm.se/seminarium/gnss-swepos-2011/07_Hur%20antenn-modeller%20p%C3%A5verkar%20GNSS-m%C3%A4tning_Lotti.pdf

Lantmäteriet (2012). Metoder för GNSS-mätning. Hämtad 23 april, 2014, från Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning>

Lilje, C., Engfeldt, A. & Jivall, L. (2007). Introduktion till GNSS (LMV-Rapport, 2007:11). Gävle: Lantmäteriet. Från <http://www.lantmateriet.se/sv/-FUNKTIONER-/Soksida/?query=+2007:11>

Lundell, R. (2012). Undersökning av nätverks-RTK-meddelande tillsammans med olika GNSS-mottagare: Vid nätverks-RTK-mätning i SWEPOS nät av fasta referensstationer (LMV-Rapport, 2012:3). Gävle: Lantmäteriet. Från <http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Rapporter-och-publikationer/Lantmaterirapporter>

Martin, A. & McGovern, E. (2012). An evaluation of the Performance of Network RTK GNSS Services in Ireland. FIG Working Week. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. Rom, 6-10 maj, 2012.

Mårtensson, S.-G., Reshetyuk, Y. & Jivall, L. (2012). Measurement uncertainty in network RTK GNSS-based positioning of a terrestrial laser scanner. *Journal of Applied Geodesy*, 6(1), 25-32. doi:10.1515/jag-2011-0013

NGS (2014). Antenna Calibrations: Antenna Calibration FAQ. Hämtad 24 maj, 2014, från NGS, <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/FAQ.jsp>

Norin, D., Engfeldt, A., Öberg, S. & Jämtnäs, L. (2010). Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (LMV-rapport 2006:2). Gävle: Lantmäteriet. Från <http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Rapporter-och-publikationer/Lantmaterirapporter>

Odolinski, R. (2010). Checklista för nätverks-RTK (LMV-Rapport, 2010:3). Gävle: Lantmäteriet. Från

<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Rapporter-och-publikationer/Lantmaterirapporter>

SWEPOS (u.å.). Om SWEPOS. Hämtad 28 april, 2014, från SWEPOS, <https://swepos.lantmateriet.se/swepos/omswepos.aspx>

Wang, C., Feng, Y., Higgins, M. & Cowie, B. (2010). Assessment of commercial network RTK user positioning performance over long inter-station distances. *Journal of Global Positioning Systems*, 9(1), 78–89. doi:10.5081/jgps.9.1.78

Bilaga 1 – Inställningar i GNSS-mottagarna

Leica:

1. I *RTK rover hjälp* skapas en ny profil och sedan följs alla steg där inställningar görs för bl.a. anslutning, Internetuppkoppling, RTK-server och RTK- uppkoppling. Här görs även val av anslutningspunkt (mountpoint), om korrekationer ska tas emot från RTK-nätverket samt om GGA-meddelande ska sändas.
2. Satellitinställningar görs under *Satellit tracking* genom att välja elevationsvinkel, DOP-gräns.
3. I *Antennhöjder* ställs rovers antennhöjd in samt vilken typ av antenn som används.
4. Under *Kvalitetskontroll* väljs om lagring och avsluta lagring av punkter ska ske automatiskt eller manuellt samt vilken gräns som ska sättas för maximum CQ.
5. Om rådataloggning efterfrågas bockas det alternativet i menyn *Rådataloggning* samt väljs vart det ska loggas och i vilken takt.
6. Skapa ett nytt jobb där inställningar görs för vilket koordinat-system som ska användas.
7. Börja jobba via inmätning. Koppla. I mätmenyn, om så önskas, välj lagra autopunkter och i vilken takt. I det fall autopunkter ska lagras ska inmätning ske i fliken Auto.

Topcon:

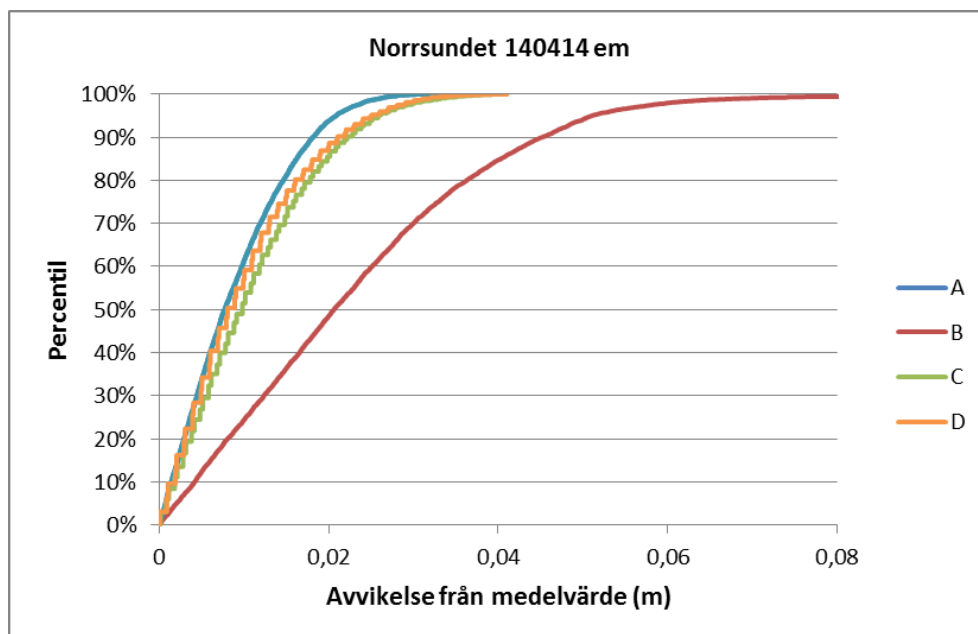
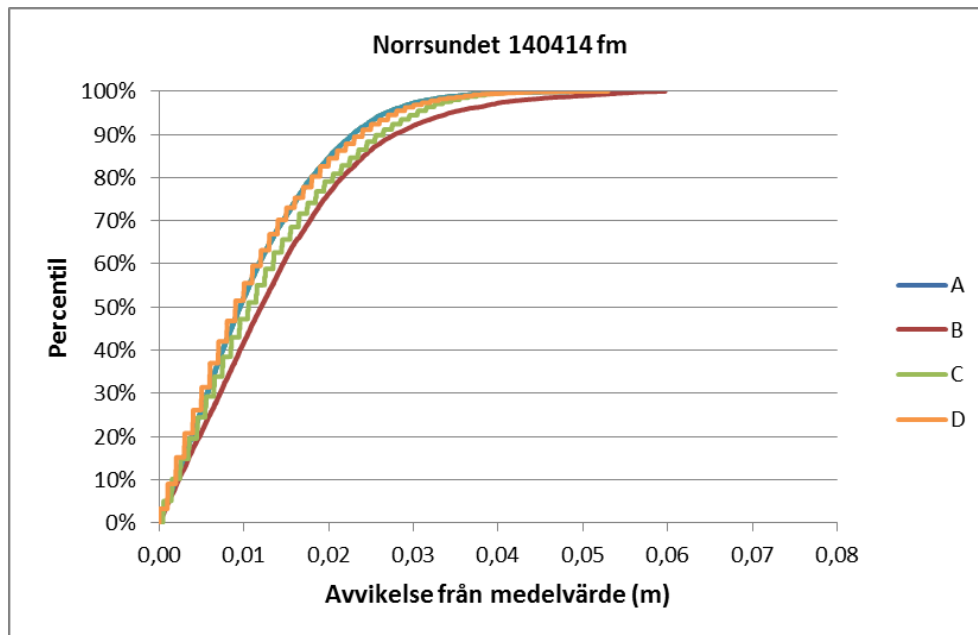
1. Anslut till Bluetooth och Internet.
2. I Magnet Field valdes vilken typ av jobb och anslut, därefter valdes mountpoint.
3. I *Konfigurering-Mätning* skapas en ny profil, här valdes bl.a. typ av korrektionslösning, elevationsvinkel, antenn och Internetanslutning.
4. Ett nytt jobb skapades och val av koordinatsystem gjordes. Vi valde grid för att få ortometrisk höjd.
5. Börja jobba via *Mätning*, vi valde auto mätning för att kunna välja tidsintervall själva.

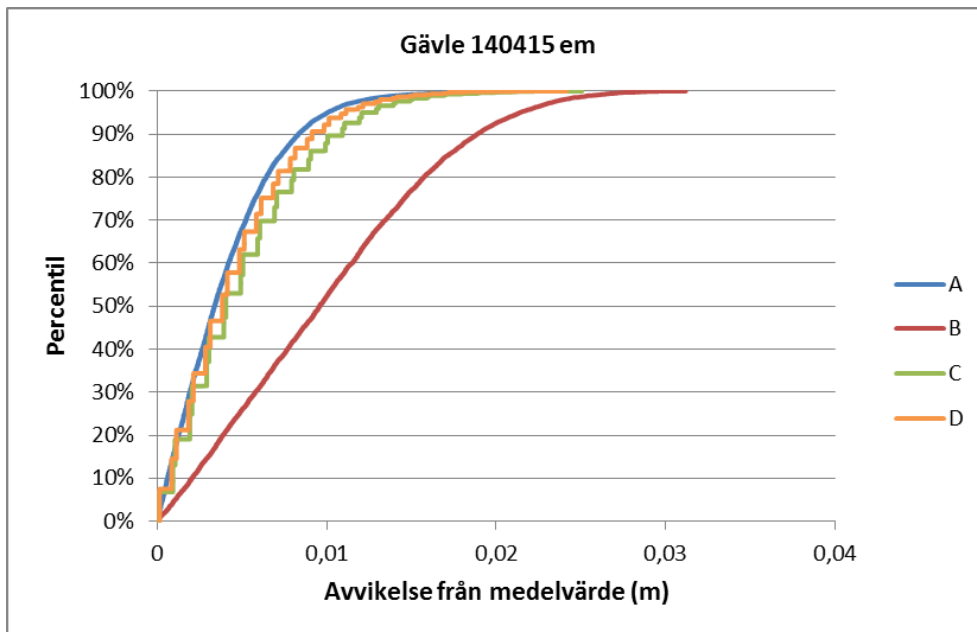
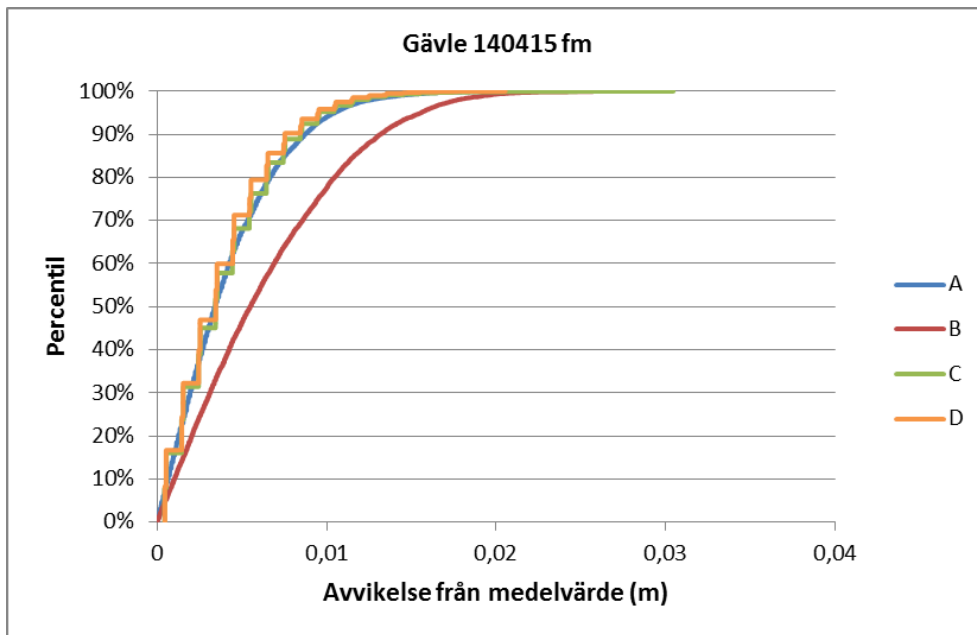
En inställning som missades finns under avancerat där ikonen Magnet Field innehåller inställningar om RTK.

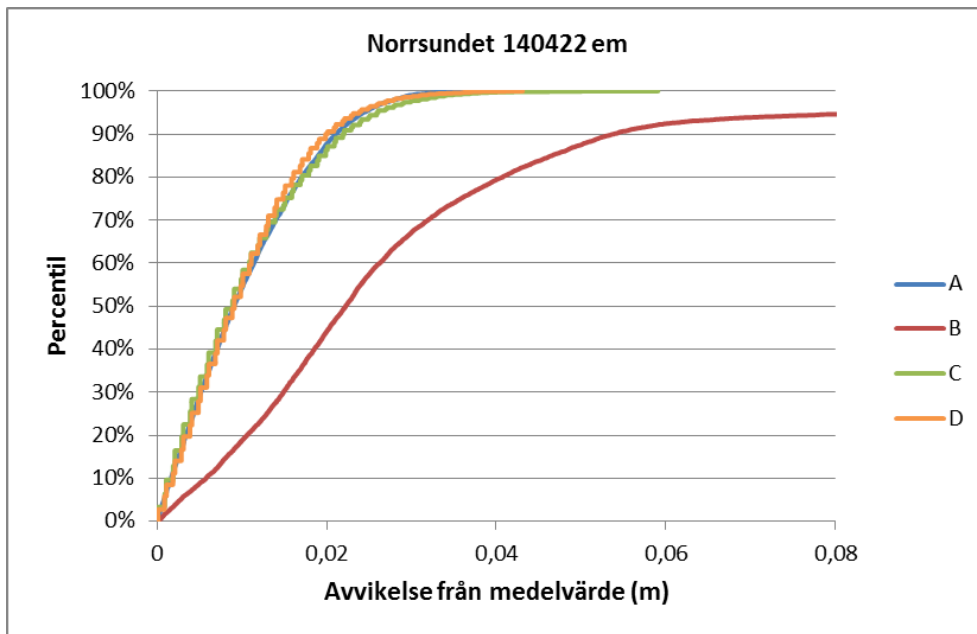
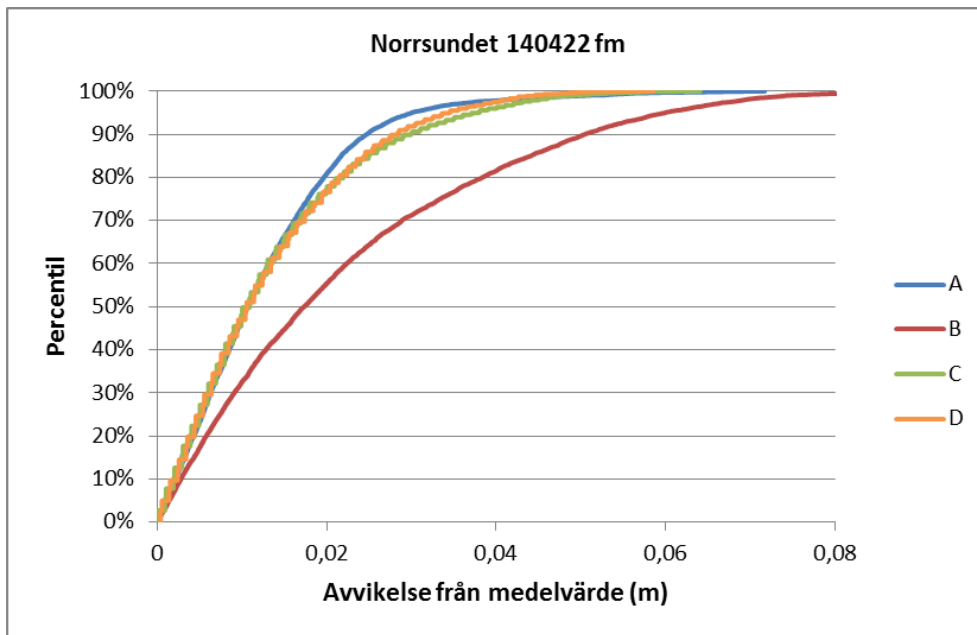
Trimble R8 & R10:

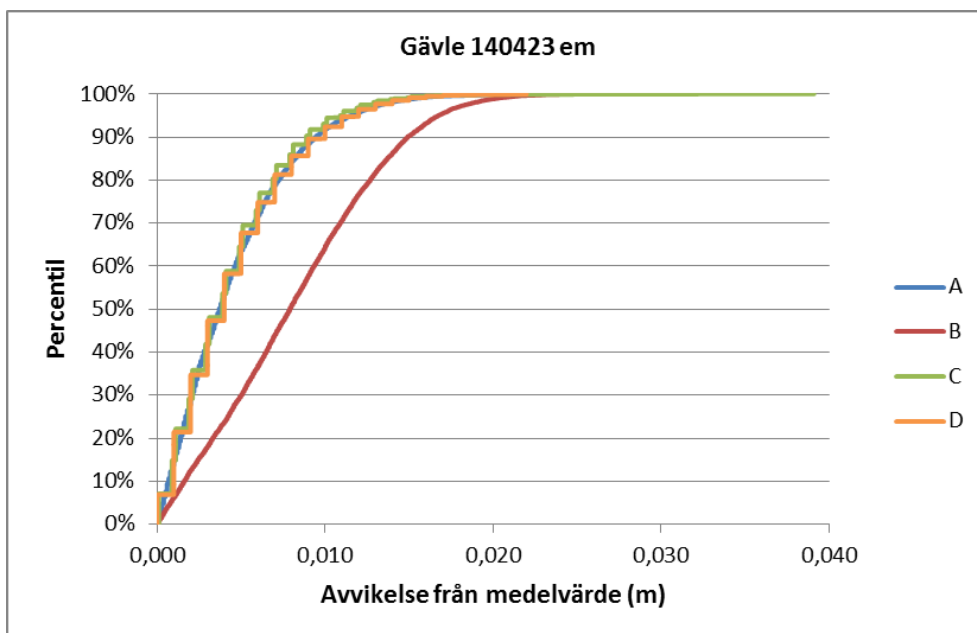
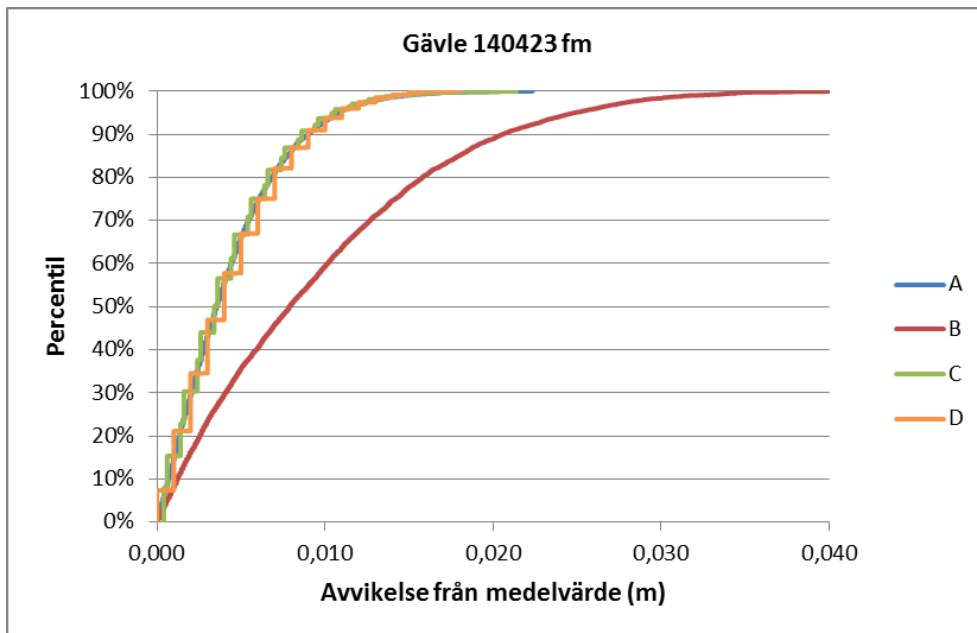
1. I *Inställningar* skapas en mätprofil genom att först välja anslutningspunkt (mountpoint).
2. *Inställningar för rover* där typ av mätning valdes till RTK & lagring för att även få rådataloggning, sedan valdes elevationsvinkel, PDOP-gräns, utsändningsformat och antenn.
3. Inställningar görs i *Rover radio* där metod väljs till mobilt Internet, under GNSS-kontakt editeras anslutningspunkt så att rätt uppringningsprofil erhålls.
4. I *Kontinuerlig punktmätning* görs inställningar för QC (quality control).
5. I *Generell mätning* skapas ett nytt jobb.
6. Under *Instrument* ställs GNSS-funktioner in, vilken rover som ska anslutas med Bluetooth och under *Starta mätning* väljs mätprofil.
7. Börja jobba genom mätning och kontinuerlig detaljmätning.

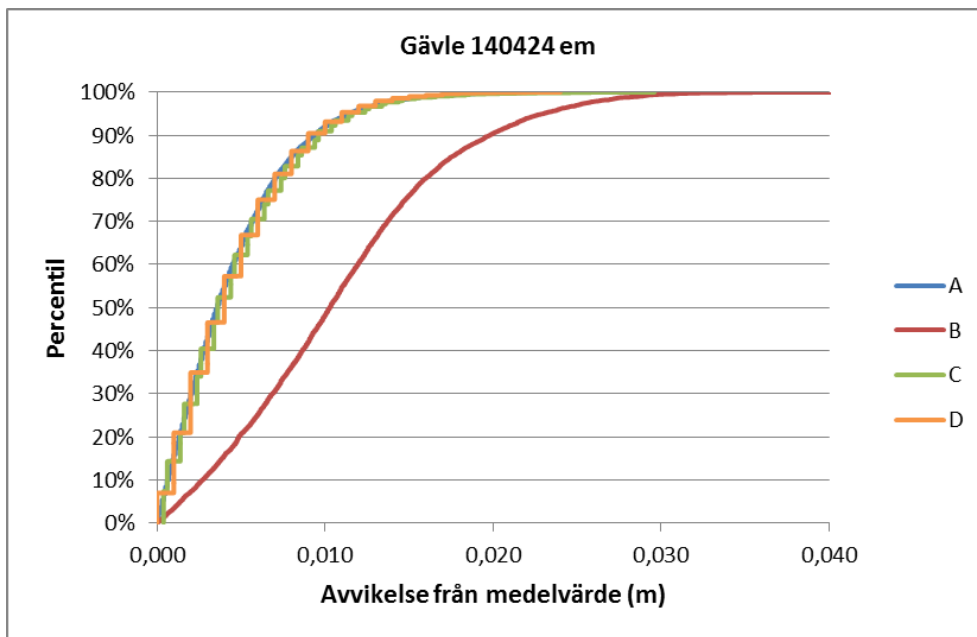
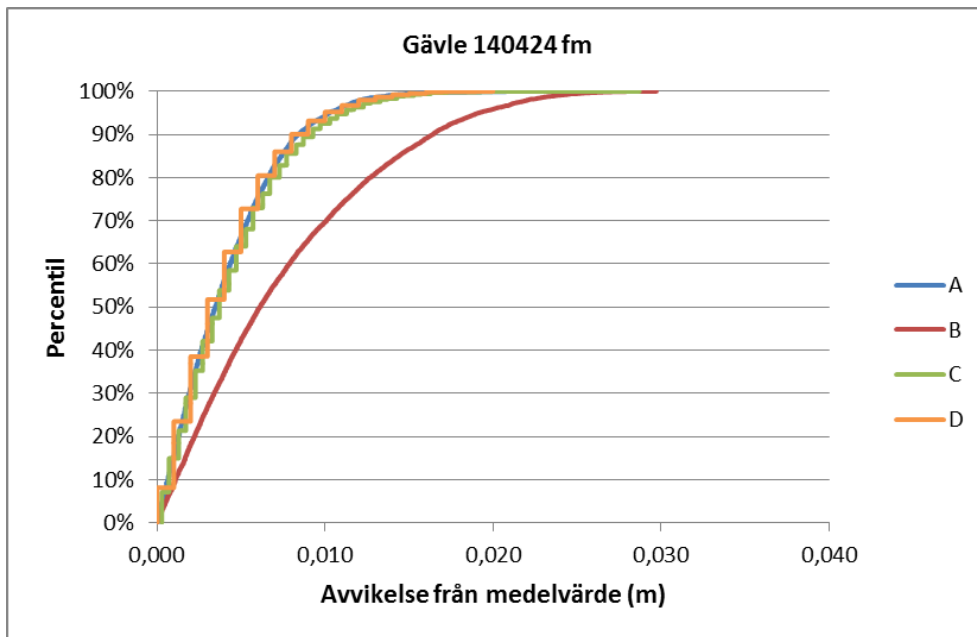
Bilaga 2 - Avvikelser från medelvärdet

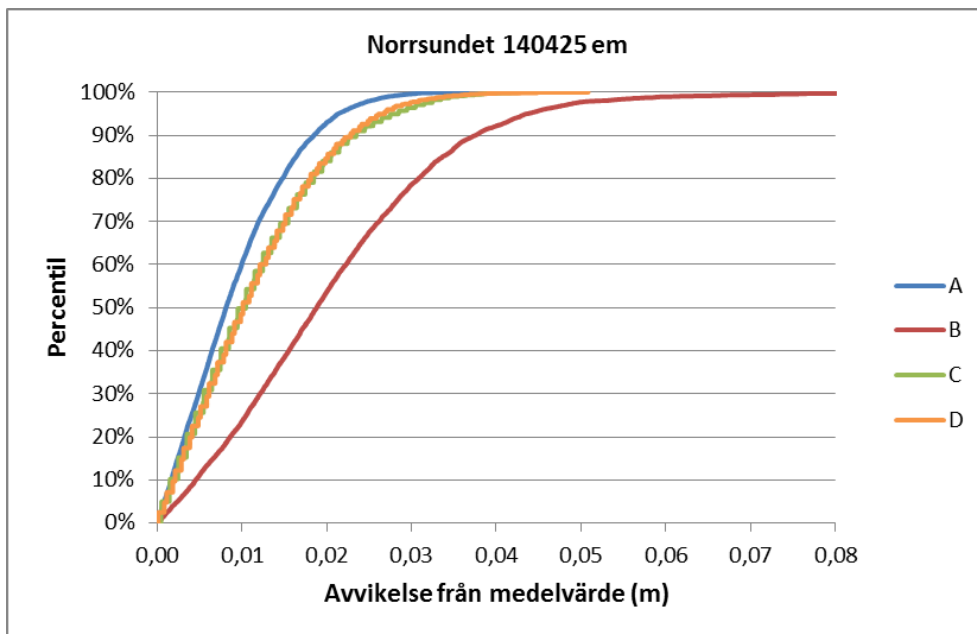
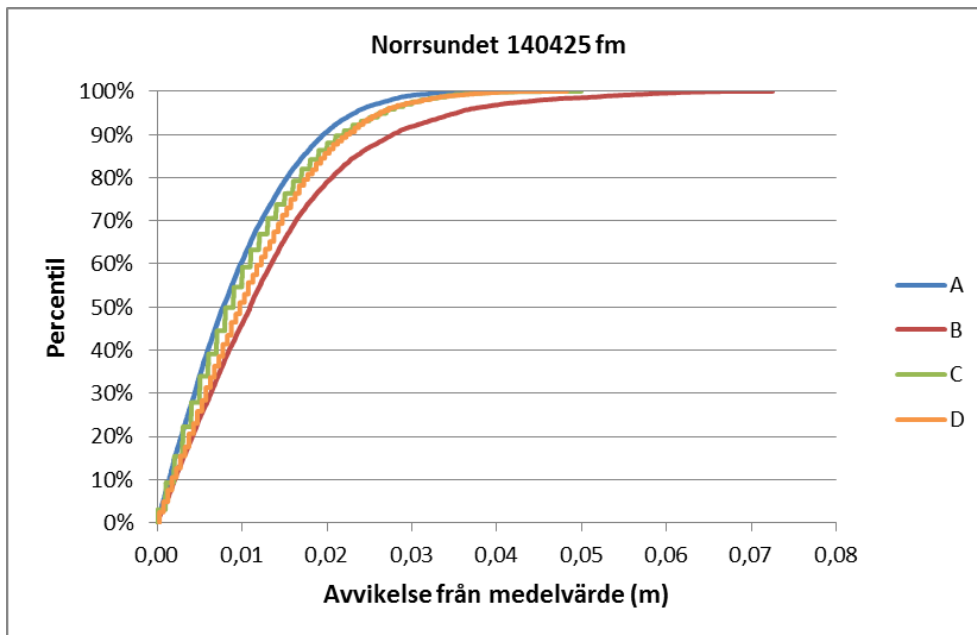












Rapporter i geodesi och geografiska informations-system från Lantmäteriet

- 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 koordinat-system i plan och höjd.
- 2010:1 Reit Bo-Gunnar: Om geodetiska transformationer (finns även på engelska med titeln On geodetic transformations).
- 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.
- 2010:7 Lord Jonas: Test av GNSS-mottagare från DataGrid.
- 2010:11 Ågren Jonas & Engberg Lars E: Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden.
- 2011:2 Jansson Jakob: Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet – vid mätning med nätverks-RTK.
- 2011:3 Liu Ke: A study of the possibilities to connect local levelling networks to the Swedish height system RH 2000 using GNSS.
- 2012:3 Lundell Rebecka: Undersökning av nätverks-RTK-meddelande tillsammans med olika GNSS-mottagare – vid nätverks-RTK-mätning i SWEPOS nät av fasta referensstationer.
- 2014:2 Vestøl Olav, Eriksson Per-Ola, Jepsen Casper, Keller Kristian, Mäkinen Jaakko, Saaranen Veikko, Valsson Guðmundur, Hoftuft Olav: Review of current and near-future levelling technology – a study project within the NKG working group of Geoid and Height Systems.
- 2014:5 Ohlsson Kent: Studie av mätosäkerhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK i SWEPOS 35 km-nät.

LANTMÄTERIET



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