

Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet

– vid mätning med nätverks-RTK

Examensarbete av
Jakob Jansson

Gävle 2011

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2011-09-09

Författare Jakob Jansson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 44

LMV-Rapport 2011:2 ISSN 280-5731

Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet

– vid mätning med nätverks-RTK

Examensarbete av
Jakob Jansson

Gävle 2011

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Den här rapporten är resultatet av ett examensarbete beställt av Lantmäteriet. Examensarbetet utfördes under våren 2011 och avslutar en treårig utbildning på Lantmätprogrammet/Teknisk inriktning på Högskolan i Gävle.

Jag vill rikta ett stort tack till Dan Norin och Johan Sunna på Lantmäteriet, som har fungerat som handledare, för stödet och hjälpen som jag har fått under tiden jag har arbetat med mitt examensarbete. Jag vill också passa på att tacka övrig personal på Geodesienheten på Lantmäteriet för stöd och hjälp. Jag vill också tacka Ulrika Ågren som har fungerat som handledare på Högskolan i Gävle.

Gävle, den 9 september 2011

Jakob Jansson

Sammanfattning

Positionsbestämning med hjälp av satelliter kan idag göras med olika metoder. En metod som i realtid ger en mätosäkerhet på centimeter-nivå heter nätverks-RTK. Det som gör att nätverks-RTK ger en låg mätosäkerhet är att de felkällor som påverkar GNSS-mätning reduceras eller elimineras med hjälp av en interpolerad korrektionsmodell vid mottagarens position. Korrektionsmodellen skapas med hjälp av data från de fasta referensstationer som finns i närheten av GNSS-mottagaren. SWEPOS[®] är ett nät av referens-stationer som finns i hela Sverige och erbjuder en nätverks-RTK-tjänst där det kan förväntas en mätosäkerhet på omkring 15 mm (1σ) i plan och omkring 25 mm (1σ) i höjd (över ellipsoiden). Avståndet mellan referensstationerna i nätet är cirka 70 km och för att förbättra mätosäkerheten, tillgängligheten och tillförlitligheten för SWEPOS-användarna har en generell förtätning, av referensstationerna, påbörjats med start i storstadsregionerna. I olika tester och simuleringar har det visats sig att mätosäkerheten minskar i ett område där ett tätare nät har upprättats. Syftet med det här examensarbetet är undersöka vilken mätosäkerhet som kan förväntas i det förtätade nät som upprättats i och omkring Stockholmsområdet. Undersökningen gjordes genom mätning med nätverks-RTK i och i utkanten av Stockholmsområdet på punkter som var lokaliserade på platser med olika långt till de närmaste referensstationerna. Tre stycken punkter ligger i det mest förtätade nätet, en i utkanten och en i standardnätet med cirka 70 km mellan stationerna. Mätningar har även gjorts på ytterligare tre punkter i utkanten av det förtätade nätet eller i närheten till standardnätet. Studien visar att mätosäkerheten blev mindre i ett förtätat nät av referensstationer jämfört med det standardnät som finns i hela Sverige. På de punkter som låg i ett förtätat nät uppnåddes en mätosäkerhet på cirka 7 mm i plan och cirka 8 mm i höjd. Vid den punkt som låg i utkanten blev mätosäkerheten något högre, 8 mm i plan och 11 mm i höjd. Ytterligare något högre, 15 mm i plan och 13 mm i höjd, blev mätosäkerheten vid punkten som låg i standardnätet.

Abstract

Positioning with the help of satellites can be done with several different methods. Network RTK is a method that delivers low uncertainty in measurements performed in real-time. This is possible due to the reduction and elimination of the error sources affecting GNSS measurements. This reduction and elimination is made through the corrections created by the network that is established between the GNSS receiver and the reference stations. SWEPOS® is a network of permanent reference stations that covers the whole of Sweden. The standard distance between the stations is about 70 km, and the expected uncertainty in measurements is about 15 mm (1σ) in plane and about 25 mm (1σ) in (ellipsoid) height. In order to improve the uncertainty, availability and reliability a densification of the SWEPOS network has been made in selected parts of Sweden. In tests and simulations it has been shown that the uncertainty decreases in such a densified network. The purpose of this thesis is to study the uncertainty in the densified network of reference stations established in and in the surroundings of Stockholm. The study was performed with network RTK surveying inside and at the outer edge of the densified network at different points located at different distances to the closest reference stations. Three of the points were in the densified network, one at the outer edge and one in the standard network with the distance of about 70 km between the stations. Measurements have also been carried out on three points in the outer edge and close to the standard network. The results from the measurements show that the uncertainty decreased in the densified net compared to the standard network. The uncertainty became about 7 mm in plane and about 8 mm in height in the densified net. At the point at the outer edge of the densified network the uncertainty became a little higher, 8 mm in plane and 11 mm in height. The uncertainty in the standard network was even higher, 15 mm in plane and 13 mm in height.

Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet

	Förord	5
	Sammanfattning	7
	Abstract	8
1	Introduktion	11
1.1	Bakgrund	12
1.1.1	RTK och nätverks-RTK	13
1.1.2	Felkällor	14
1.1.3	SWEPOS	15
1.2	Syfte	17
1.3	Tidigare studier	17
2	Metod	19
2.1	Testområde	19
2.2	Datainsamling	21
2.3	Analys	23
3	Resultat	25
3.1	Inmätning	25
3.2	Mätosäkerhet	27

4	Diskussion	30
5	Slutsatser	32
	Referenser	33
	Bilaga. Spridning av mätningar kring de kända positionerna i plan och höjd	35

Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet

1 Introduktion

Positionsbestämning med hjälp av satelliter har under de senaste årtionden utvecklats mycket, och flera olika tjänster och metoder har vuxit fram. Global Navigation Satellite Systems (GNSS) är ett samlingsnamn för ett antal satellitsystem där bland annat GPS (Global Positioning System) och Glonass (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) ingår. I framtiden kommer också ett europeiskt system kallat Galileo att finnas tillgängligt för användning.

En position kan idag bestämmas med många olika metoder som till exempel DGPS (Differentiell GPS), statisk mätning och RTK (real-time kinematic)-mätning. Det här examensarbetet kommer att behandla nätverks-RTK som i realtid, med hjälp av omkringliggande referensstationer, kan ge en mätosäkerhet på centimeternivå.

SWEPOS[®] är ett nätverk av referensstationer som finns över hela Sverige där avståndet mellan stationerna är cirka 70 km. På utvalda platser i landet har nätet förtätats och avståndet mellan stationerna minskats ner till cirka 10 km. Dessa förtätningar är gjorda för att förbättra mätosäkerheten, tillgängligheten och tillförlitligheten för användarna. Det har också visat sig i olika tester och simuleringar (se avsnitt 1.3) att ett kortare avstånd mellan stationerna ger en lägre mätosäkerhet, främst i höjd, vid användning av mätning med nätverks-RTK. Syftet med examensarbetet är att undersöka vilken mätosäkerhet som kan förväntas vid mätning med nätverks-RTK i det förtätade nätverket av referensstationer som idag finns i och omkring Stockholm.

I detta kapitel ges en kortare beskrivning av hur GNSS-mätningar generellt fungerar och vilka felkällor som påverkar det slutliga resultatet av en positionsbestämning. Sedan följer en redovisning av den studie som gjorts av mätning med nätverks-RTK i Stockholmsområdet.

I rapporten används termer som är i enlighet med det som föreslås i GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), där uttrycket "osäkerhet" används istället för noggrannhet och precision. I fortsättningen i denna rapport redovisas mätosäkerheterna på 1σ -

nivå, det vill säga att ca 68 % av slumpmässiga fel i mätningar som utförs förväntas ligga under de värden som anges som mätosäkerheter.

1.1 Bakgrund

Mätning med hjälp av olika satellitsystem (GNSS) kan kort förklaras med att med hjälp av satelliter, som går i kända banor runt jorden, bestäms en position på jorden. Det som behövs för att en position ska kunna bestämmas är att veta avståndet till satelliterna och satelliternas position. Avståndet bestäms med hjälp av olika signaler utsända från satelliterna, och inkluderat med dessa signaler kommer ett meddelande som bland annat innehåller information om satelliternas position (Lilje, Engfeldt & Jivall, 2007).

För positionsbestämning finns två metoder, absolut- och relativmätning. Vid absolutmätning bestäms positionen genom avståndsmätning mot minst fyra satelliter med endast en GNSS-mottagare, till skillnad mot relativmätning där positionen bestäms relativt mot en annan GNSS-mottagare placerad på en känd punkt (som också tar emot satellitsignaler, och brukar benämnas referensstation). Relativmätning medför att en position med en lägre osäkerhet kan bestämmas, eftersom det finns skillnader mellan de två punkterna, och den rörliga GNSS-mottagarens position kan korrigeras utifrån dessa skillnader (Misra & Enge, 2006).

De olika möjligheterna till inmätning av en position har medfört att olika metoder har utvecklats och nedan kommer en kort presentation över de huvudsakliga metoder som finns för relativ mätning (Lilje m.fl., 2007):

- Statisk mätning – Vid statisk mätning lagras data från satelliterna under ett tidsintervall, som kan vara allt från ett par minuter till flera dygn. Efterberäkning sker sedan med hjälp av minst en till mottagare med känd position, som lagrade data under samma tidsintervall. Mätosäkerheten vid statisk inmätning beror på hur lång tid mätningen utförs, men vid längre observationstider är det den metod som ger minst osäkerhet.
- DGPS – Differential GPS, en mätningsmetod som använder sig av relativ kodmätning i realtid eller en kodmätning med bärvågsunderstöd för att bestämma avståndet till satelliterna. Relativ kodmätning kan även utföras med efterberäkning. DGPS kan också göras genom mätning mot flera mottagare med kända koordinater, då kallas metoden nätverks-DGPS. Vid DGPS-mätning erhålls inte en lika bra mätosäkerhet som vid statisk mätning eller RTK-mätning.

- Real-Time Kinematic (RTK) och nätverks-RTK – RTK-mätning har likheter med DGPS med den största skillnaden att bärvågsmätning används istället för kodmätning för att bestämma avståndet till satelliterna. En grundligare beskrivning finns nedan eftersom detta examensarbete behandlar denna metodik.

1.1.1 RTK och nätverks-RTK

RTK-mätning är som tidigare nämnts en metod som används med hjälp av relativ bärvågsmätning. Mätningen sker i realtid och kan utföras med hjälp av antingen en referensstation (enkelstations-RTK) eller flera referensstationer (nätverks-RTK). Mellan referensstation och mottagare sänds observationsdata som innehåller korrektioner för de olika felkällorna som påverkar GNSS-mätning. För att det ska vara möjligt att få en position med en osäkerhet på centimeternivå måste först en fixlösning uppnås (Lilje m.fl., 2007).

Fördelar med nätverks-RTK

Nätverks-RTK har till skillnad från enkelstations-RTK fördelen att mätningarna ger en bibehållen mätosäkerhet trots ett längre avstånd mellan GNSS-mottagaren och referensstationen samt mellan referensstationerna. Möjligheten till längre avstånd beror på att de korrektionsmodeller, som ett nätverk av referensstationer medför, reducerar mycket av de felkällor som uppstår (Rizos & Han, 2003). De längre avstånden bidrar bland annat till att tillgängligheten för nätverks-RTK blir större än vid enkelstations-RTK-mätningar. En annan stor fördel med mätning med nätverks-RTK är att tillförlitligheten blir större. Ett exempel är att om en station skulle sluta fungera kan de närliggande stationerna fortfarande leverera data till mottagaren och på så vis kan mätningen fortsätta, visserligen med en eventuellt högre mätosäkerhet (Fotopoulos & Cannon, 2001).

VRS och MAC

Hur korrektionerna skickas ut till mottagaren kan ske på olika sätt och med olika metoder. Nedan följer korta beskrivningar av de två huvudsakligen använda metoderna, VRS (Virtuell referensstation) och MAC (Master-Auxiliary Concept) (Janssen, 2009). Framför allt kommer VRS förklaras eftersom det är den metoden används av SWEPOS nätverks-RTK-tjänst.

Vid användning av VRS börjar GNSS-mottagaren med att skicka ut en ungefärlig position till den driftcentral som distribuerar data för hela nätverket. Utifrån den positionen korrigeras felkällorna vid mottagaren från de närmaste referensstationerna. Korrektionerna för positionen skickas ut till mottagaren igen och det skapas en virtuell

referensstation vid den ungefärliga position som först skickades in. Denna virtuella station fungerar sedan som referensstation för korrektionsberäkningar i fortsatta mätningar, och dessa korrektioner skickas kontinuerligt ut till mottagaren. De kommunikationsalternativ som kan användas mellan mottagaren och nätverket är vanligtvis tvåvägskommunikationer som till exempel GSM och GPRS. Tvåvägskommunikationen behövs eftersom det går data både till och från driftcentralen och GNSS-mottagaren (Landau, Vollath & Chen, 2002).

MAC-metoden fungerar istället genom att observationsdata från omkringliggande stationer skickas i ett kompakt format direkt ut till mottagaren. För att inte få för stora datamängder kommer fullständiga observationsdata från endast en huvudstation (master), och från de övriga stationerna (auxiliary) i nätverket kommer endast skillnaderna i observationsdata och koordinater (Janssen, 2009).

1.1.2 Felkällor

Vid positionsbestämning med satellitmätning finns ett antal felkällor som påverkar resultatet. Nedan följer en redovisning med en kort beskrivning över de största felkällorna.

- Fördröjning av satellitsignalerna när dem passerar atmosfären. Den del av atmosfären som fördröjer signalerna mest är jonosfären som ligger på en höjd mellan 50-1000 km från jordytan. Påverkan från jonosfären kan reduceras genom användandet av olika korrektionsmodeller vid mätning, och sådana modeller är beräknade utifrån bland annat solens aktivitet (Misra & Enge, 2006). Trots att dessa korrektioner används, har det visats sig att felkällan inte helt kan uteslutas (Stankov & Jakowski, 2006). Närmare jorden finns troposfären, cirka 8-15 km ovanför jordens yta, som också fördröjer satellitsignalerna. För att minska troposfärens påverkan används modeller som har beräknats fram utifrån väderförhållanden (Alves & Monico, 2010).
- Fel i satelliternas position och klockfel. Positionsfel innebär att den framräknade förutspådda positionen för satelliterna inte stämmer överens med den faktiska. Klockfel uppkommer både i satellitens klocka och mottagarens, och också i skillnaden mellan dem (Misra & Enge, 2006). Vid nätverks-RTK elimineras klockfelets påverkan helt och positionsfelet nästan helt (Emardson, Jarlemark, Bergstrand, Nilsson & Johansson, 2009).

Alla dessa felkällor är något att ta i beaktning när man ska utföra mätningar, men det finns också andra faktorer, mer bundna till själva mätningen på marken. De huvudsakliga faktorerna är flervägsfel (multipath), sikthinder, satellitgeometrin och tidskorrelationer

(klockfelet i mottagaren, som finns med i tidigare beskrivning, anses också vara en markbunden faktor). Flervägsfel innebär att satellitsignalerna reflekteras från närliggande objekt och får en längre sträcka till mottagaren, vilket innebär att mottagaren får fel information om avståndet till satelliterna. Detta fel kan reduceras genom att använda en speciell antenntyp, ställa in elevationsgräns för vilka satellitsignaler mottagaren ska ta emot och/eller att undvika närliggande objekt vid GNSS-mätning (Rao, Sarma & Kumar, 2006). Att mäta på öppna ytor har också fördelen att eventuella sikthinder, som till exempel hus och träd, inte stör eller slår ut signalen från satelliterna (Lilje m.fl., 2007). Hur bra satellitgeometrin är kan ses på DOP (Dilution Of Precision)-talet och då framförallt PDOP (Position Dilution Of Precision)-talet som visar hur bra geometrin är tre dimensioner (Misra & Enge, 2006).

Mätningar som är utförda för nära inpå varandra kan visa sig ha en liten avvikelse från varandra genom att de är korrelerade. Dock kan avvikelsen från den "riktiga" koordinaten vara stor. Korrelerade mätningar påverkas bland annat av flervägsfel, atmosfärsstörningar samt förändringar i satellitgeometrin. För att undvika detta, och få okorrelerade mätningar, bör det vara ett tidsintervall mellan mätningarna (Odolinski, 2010).

1.1.3 SWEPOS

I Sverige finns idag ett nät av fasta referensstationer för GNSS, SWEPOS, som kan erbjuda olika tjänster för både efterberäkning och realtidsberäkning av koordinater (figur 1). Tjänster finns tillgängliga i hela Sverige och används i många olika tillämpningsområden. Exempel på områden där tjänsterna används är vid datainsamling för skapandet av kartor, inmätning av fastigheter, i bygg- och anläggningsindustrin och inom jordbruket. Tjänsterna utnyttjas också för vetenskapliga syften, till exempel för beräkning av landhöjningen och vid meteorologiska mätningar (Norin, Jonsson & Wiklund, 2008). Avståndet mellan referensstationerna i det rikstäckande nätet är cirka 60-70 km och med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst förväntas en mätosäkerhet på cirka 15 mm (1σ) i plan och cirka 25 mm (1σ) i höjd (höjd över ellipsoiden) (Norin, Engfeldt, Öberg & Jämnäs, 2010).

Förtätning av SWEPOS-nätet

SWEPOS har i vissa utvalda delar av Sverige upprättat nya referensstationer för att få ett tätare nät av stationer. Förtätningen utförs för att förbättra mätosäkerheten, tillgängligheten och tillförlitligheten för SWEPOS-användarna. Tidigare har det gjorts så kallade projektpassade förtätningar vid stora infrastrukturprojekt, ett exempel på ett sådant är BanaVäg i Väst, där en ny motorväg och järnväg skulle byggas mellan Göteborg och Trollhättan. Vid denna förtätning minskades avståndet mellan referensstationerna till cirka 10 km. Det har också gjorts mer generella förtätningar, bland annat i Skåne, Göteborgsområdet och Stockholmsområdet. Förtätningen kommer att pågå under ett antal år framöver, och under 2011 är det tänkt att förtätningar ska göras över ett större område i södra Sverige och på enstaka platser i mellersta och norra Sverige (se figur 1).



Figur 1: Karta över SWEPOS-stationer och områden (de inringade) där en förtätning av referensstationer är planerade under 2011 (SWEPOS, 2011).

Förtätningen av nätet har även påskyndats efter att resultatet av en stor studie presenterades 2009. Studien som beställdes av Lantmäteriet och utfördes av SP/Chalmers (CLOSE-projektet, läs mer i kapitel 1.2) visar att mätosäkerheten vid mätning med nätverks-RTK minskar betydligt vid en förtätning av det befintliga nätet.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka om positionsosäkerheten vid mätningar med nätverks-RTK blir lägre i det förtätade nätverket av referensstationer som finns i Stockholmsområdet än i det "standard" nätverk som finns över hela Sverige. Avsikten är också att kontrollera hur simuleringar som gjordes i tidigare undersökningar (CLOSE-studien, se avsnitt 1.3) stämmer överens med mätosäkerheten i praktiken. Det ska undersökas i och omkring Stockholmsområdet eftersom det är ett område där SWEPOS-nätet har förtätats med cirka 10 stationer.

1.3 Tidigare studier

Nedan presenteras resultat från två studier av mätosäkerheten i ett förtätat nät av referensstationer. Den första studien heter CLOSE och genomfördes under 2008 och 2009. Den gick bland annat ut på att hitta lösningar för att uppnå högre kvalitet vid mätningar med nätverks-RTK. Vid detta projekt simulerades (främst för höjdkomponenten) mätosäkerheten (uttryckt som fel) för olika mätningssituationer. De olika situationerna som simulerades var bland annat för full satellitkonstellation (det vill säga när alla satellitsystem är i bruk, GPS, Glonass, Galileo och Compass (ett kinesiskt satellitsystem)) och vid olika avstånd mellan referensstationer (70, 35, 20 och 10 km). Studier och beräkningar av de ingående felkällorna resulterade i en "felbudget", som baserades på standardnätet, det vill säga ett avstånd på cirka 70 km mellan referensstationerna och satellitkonstellationen av GPS och Glonass som den var i augusti 2008. Utifrån felbudgeten skattades mätosäkerheten i plan och höjd med hjälp av felfortplantningslagen.

Studien visar att i ett nätverk med 70 km mellan stationerna och med hösten 2008 års GPS- och Glonass-satellitkonstellation uppnås en positionsosäkerhet på ca 12 mm (1σ) i plan och ca 27 mm (1σ) i höjddled. Det som är intressant för denna studie är framförallt vilken positionsosäkerhet som kan förväntas vid kortare avstånd mellan referensstationer. Nedan följer en tabell som sammanfattar mätosäkerheten för plan respektive höjd vid de olika avstånden (Emardson m.fl., 2009).

Tabell 1: De simulerade positionsosäkerheterna (uttryckta som fel) vid olika avstånd mellan referensstationerna för CLOSE.

Avstånd (km)	Positionsosäkerhet i plan (mm)	Positionsosäkerhet i höjd (mm)
70	12,0	27,3
35	9,2	19,7
20	7,6	15,2
10	6,4	11,1

För verifiering av simuleringarna jämfördes dessa mot empiriska mätningar i samma projekt. Vid mätningen gjordes två uppställningar, där avstånden mellan referensstationerna var cirka 45 respektive 75 km. Dessa mätningar visade att det simulerade värdet låg 1,5 mm lägre i höjd och 2 mm lägre i plan vid det kortare avståndet till stationerna. Vid mätningen med ett avstånd på cirka 75 km hamnade simuleringen 4,7 mm lägre i höjd och 2,6 mm lägre i plan. Det ska också sägas att simuleringarna gjordes utifrån de förutsättningar som gällde vid utförandet av dessa mätningar (Emardson m.fl., 2009).

En annan studie har också gjorts (Odolinski, 2010) med syftet att jämföras mot CLOSE-projektets uppnådda mätosäkerheter. Den studien utfördes i Göteborgsområdet både i ett projektanpassat nät, med ett avstånd på 10-20 km mellan stationerna, och ett standardnät, med ungefär 70 km mellan stationerna. Data har hämtats från monitorstationer som kontinuerligt lagrar RTK-positioner. Resultatet från den här studien visar ingen större avvikelse från de resultat CLOSE-projektet har kommit fram till vare sig i plan eller i höjd.

2 Metod

Det här examensarbetet genomfördes genom användning av mätning med nätverks-RTK i och i utkanten av den förtätning av SWEPOS-nätverket som har gjorts i Stockholmsområdet (figur 2). Mätningarna gjordes på punkter med kända positioner som hade olika avstånd till de närmaste referensstationerna. Efter mätningarna kontrollerades mätosäkerheten genom jämförelse av inmätta koordinater och höjder mot de redan kända koordinaterna och höjderna.



Figur 2: Översiktsskarta över förtätningen av SWEPOS-stationer i Stockholmsområdet (SWEPOS, 2010, bearbetad).

2.1 Testområde

Som kända punkter användes så kallade RIX 95-punkter, punkter som är framtagna vid ett rikstäckande projekt utfört av Lantmäteriet för att bland annat underlätta anslutning av lokala mätningar till rikstäckande referenssystem (Lantmäteriet, 2010). Punkterna togs fram via Digitala Geodetiska Arkiv (DGA) som finns att tillgå på Lantmäteriet. Utifrån lämplighet för GNSS-mätning, såsom sikthinder (träd, hus o.s.v.), och hur punkten låg i förhållande till referensstationerna, valdes lämpliga punkter ut. Hur punkterna var lokaliserade ur transportsynpunkt räknades också in. Punkternas

förhållande till referensstationerna skulle vara ungefär lika långt till de tre närmaste, det vill säga så nära mitten av de trianglar som bildas mellan tre referensstationer. I de områden som hade längst avstånd mellan stationerna (ca 70-50 km) valdes också en punkt som låg närmare en av referensstationerna.

Sammanlagt valdes 8 punkter ut som låg utspridda från Stockholm centrum och cirka 10 mil åt sydväst (Nyköpingstrakten) (se figur 3). Vid en sammanställning kan det ses i tabell 2 att det endast är Lundby och eventuellt Arnö som ligger i standardnätet (cirka 70 km mellan de närmaste referensstationerna), att Almvik samt eventuellt Säby och Hillesta ligger i utkanten av det förtätade nätet (cirka 25 till 40 km mellan stationerna) och att Norsborg, Hägersten och Östberga ligger i det mest förtätade nätet (cirka 10 till 20 km mellan stationerna).



Figur 3: Bild över Södermanland som visar de punkter som valdes ut och mättes in (röda punkter) och referensstationerna (trianglar) i området.

Tabell 2: Information om punkterna och deras lokalisering.

Punkt	Information
Lundby	Ligger mitt i standardnätet där avståndet mellan stationerna är ~70 km.
Arnö	Ligger relativt nära referensstationen Oxelösund och i standardnätet där avståndet mellan stationerna är ~70 km.
Säby	Ligger relativt nära referensstationen Vagnhärad och i utkanten till det förtätade nätet där avståndet mellan stationerna är mellan ~40 och ~70 km.
Hillesta	Ligger nära referensstationen Vagnhärad och i utkanten till det förtätade nätet där avståndet mellan stationerna är mellan ~40 och ~70 km.
Almvik	Ligger i utkanten av det förtätade nätet där avståndet mellan stationerna är ~25 till ~40 km.
Norsborg	Ligger i det förtätade nätet med ett avstånd mellan stationerna på ~15 till ~20 km.
Hägersten	Ligger i det förtätade nätet med ett avstånd mellan stationerna på ~10 till ~15 km.
Östberga	Ligger i det förtätade nätet med ett avstånd mellan stationerna på ~10 till ~15 km.

2.2 Datainsamling

Inmätning av de 8 valda punkterna utfördes mellan den 18 april och den 1 maj 2011 med hjälp av en GNSS-mottagare Trimble R8 model 2 med antenn, monterad på ett stativ med trefot. Innan mätningarna startade kontrollerades och kalibrerades trefoten. Eftersom syftet med undersökningen var att undersöka nätverks-RTK-tjänsten spelade inte valet av vilken sorts GNSS-utrustning som användes någon betydande roll. En uppställning över punkten gjordes (figur 4) och därefter startades mätning med nätverks-RTK med uppkoppling via GPRS. Vid 7 olika uppkopplingsförsök fungerade GPRS dåligt och då användes istället GSM-uppkoppling.



Figur 4: En typisk uppställning över en av de kända punkterna (i detta fall Östberga).

Det referenssystem som valdes var SWEREF 99 TM, och för att utesluta felet som uppkommer vid mätning med en geoidmodell sparades mätningarna direkt som höjder över ellipsoiden i det geodetiska referenssystemet SWEREF 99 (Ågren, 2009). Mätningen utfördes med satellitsystemen GPS och Glonass, eftersom man då får ett bra antal satelliter och en bra spridning på dem. Elevationsgränsen bestämdes till 13 grader därför att det har visat sig att uteslutandet av satellitsignaler från lägre elevationsvinkel ger ett mer optimalt resultat (Emardson m.fl., 2009). En maximal tid för initialisering till fixlösning bestämdes till 180 sekunder, och mätningar som överskred det uteslöts direkt vid inmätningen, och en ny inmätning gjordes med en ny uppkoppling. Denna tid bestämdes för att om initialiseringstiden blir för lång finns risken att kvalitén på mätningen försämras (Norin m.fl., 2010). Tidtagningen startade från det att rätt anslutningspunkt valts, tills det att initialiseringen var klar. Vid GSM-uppkoppling mättes tiden direkt från uppringning. Ett maximalt tal för PDOP bestämdes till 4, eftersom värden över detta indikerar på att satellitgeometrin är dålig och mätningen kan bli av dålig kvalitet.

Varje lagring av en mätning gjordes som medeltalet av 5 mäta positioner eftersom detta bland annat medför att ett kortvågigt brus som finns till en viss del försvinner (Norin m.fl., 2010). Efter att en mätning lagrats startades GNSS-mottagaren om, och en ny inmätning gjordes. Omstarten av mottagaren och ny initialisering gjordes för att varje lagrad mätning skulle vara oberoende av varandra och detta upprepades så att en omgång med 5-6 stycken medeltalsbildade inmätningar gjordes vid varje besök av en känd punkt. För att få mätningar som är oberoende av varandra och väl spridda i tid, besöktes varje punkt vid olika tider på dagen och på olika dagar. Det gjordes i så stor utsträckning det gick, men under slutet av mätperioden gjordes besök på varje känd punkt med ett

mellanrum på ca 25 min. Detta innebar att tidsintervallet mellan första inmätningen vid första omgången och den sista inmätningen vid andra omgången blir cirka 40 minuter. Valet av tidsintervallet gjordes för att ta hänsyn till de tidskorrelationer som sker efter cirka 17 minuter för plankoordinater och cirka 37 minuter för höjdkoordinater i ett nät med ungefär 70 km avstånd (Odolinski, 2011).

En punkt (Hägersten) visade sig vara obrukbar på grund av en parkbänk hade gjutits fast ovanför den. För att få en känd position på den platsen behövde därför en ny punkt mätas in. Det kunde göras strax intill den obrukbara RIX 95-punkten som funnits där sedan tidigare. Den nya punkten mättes in statistiskt i 3 timmar med lagring varje 15:e sekund och beräknades sedan med SWEPOS Beräkningstjänst. För denna mätning användes samma GNSS-utrustning som vid RTK-mätningen och resultatet vid beräkningen låg innanför de rekommendationer som finns för SWEPOS Beräkningstjänst (SWEPOS, 2005).

2.3 Analys

De gjorda inmätningarna analyserades genom en jämförelse och kontroll mot redan kända koordinater. Analysen skedde genom uträkningar i programmet Microsoft Excel. Följande beräkningar gjordes:

– Standardosäkerhet: för att se hur mätningarna sprider sig kring mätningarnas medelvärde:

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

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

– Kvadratisk medelvärde (RMS, root-mean square): för att få fram den kvadratiske medelavvikelsen från den kända positionen:

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

där x är den inmätta koordinaten, x_{SANT} är den redan kända koordinaten och n är antalet mätningar.

– Medelavvikelsen från det kända värdet:

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

där x är den inmätta koordinaten, x_{SANT} är den redan kända koordinaten och n är antalet mätningar.

Ovanstående beräkningar utfördes på koordinaterna N (norr), E (öst) och h (höjd över ellipsoiden). När det gäller plana koordinater, är det också av intresse att beräkna en radiell standardosäkerhet eller avvikelse för varje punkt:

$$u(plan) = \sqrt{u(N)^2 + u(E)^2} \quad (4)$$

där $u(N)$ och $u(E)$ är radiell standardosäkerhet i norr respektive öst. Radiell avvikelse beräknas på ett liknande sätt, utom att avvikelserna från kända koordinater används istället för standardosäkerheter.

För att utesluta eventuella grova fel bestämdes att mätningar som stack ut väsentligt mycket mot övriga inte skulle redovisas i resultatet. Mätosäkerheten är uppskattad till 15 mm (1σ) för plan respektive 25 mm (1σ) för höjd efter de riktlinjer som finns för SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (Norin m.fl., 2010). Detta är dock riktlinjer för det nationella nätet som har ett avstånd på cirka 70 km mellan referensstationerna, därför har det uppskattats nya gränsvärden för ett tätare nät. Efter antagande bestämdes generella värden för mätosäkerheten gällande i hela det aktuella mätområdet till cirka 11 mm (1σ) för plan respektive cirka 17 mm (1σ) för höjd. Enligt GUM bör en toleransgräns ligga på 3σ (Persson, 2010). Det medför att värden över $3 \cdot 11 = \sim 33$ mm i plan och $3 \cdot 17 = \sim 51$ mm i höjd bör betraktas som för avstickande och uteslutas i denna studie.

3 Resultat

3.1 Inmätning

De 8 punkterna som valdes ut besöktes minst 5 och högst 7 gånger med så stor spridning över mätperioden som möjligt. Antalet lagrade mätningar på varje punkt visas i tabell 3. Där visas också hur många mätningar som uteslutits på grund av toleransgränsen beskriven i avsnitt 2.3. En hel mätningsomgång på punkten Hägersten har också uteslutits på grund av avvikande resultat, se vidare i kapitel 4 om en diskussion kring den omgången.

Tabell 3: Antal lagrade mätningar vid varje punkt, antal mätningar som uteslutits och medeltiden för initialiseringen vid varje punkt (endast GPRS, då GSM-uppkoppling endast användes ett fåtal gånger och initialiseringstiden inte mättes på samma sätt som vid GPRS).

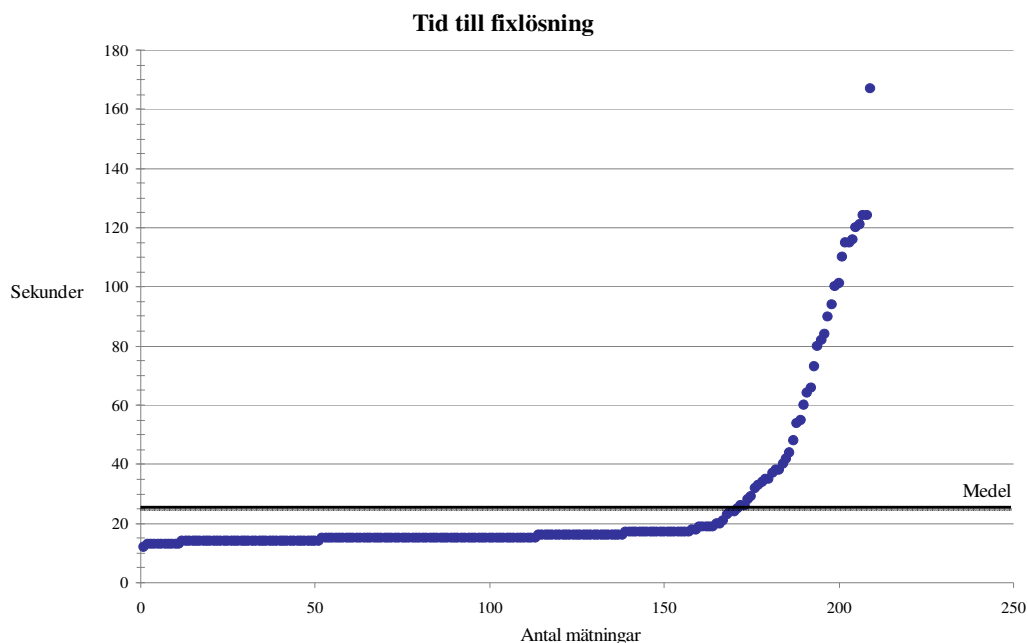
Punkt	Antal lagrade mätningar	Antal uteslutna mätningar	Initialiseringstid (Medelvärde) (sekunder)
Lundby	25	1	16
Arnö	25	-	18
Säby	26	1	35
Hillesta	26	-	29
Almvik	25	1	21
Norsborg	30	-	29
Hägersten	35	7	35
Östberga	25	-	15
Totalt	217	10	25 (Medeltid för alla mätningar)

Alla punkter visade sig ha god lämplighet för att utföra satellitmätning på. Fyra av dem låg på höga och öppna kullar/berg, medan övriga låg i en öppen terräng som i en hage eller ute på en åker (figur 5).



Figur 5: Typiskt utseende för punkter som låg på kullar/berg (till vänster) och punkter som låg på en åker/hage (till höger).

Initialiseringstiden var i genomsnitt 25 sekunder för de inmätningar som gjordes med användning av GPRS (se tabell 3 och figur 6). Det var endast ett fåtal mätningar som gjordes med GSM och initialiseringstiden för de mätningarna var något längre. Vid ett tiotal mätningar erhöles ingen fixlösning innan den maximala tiden som hade bestämts till 180 sekunder. Vid de tillfällena utfördes ingen mätning, utan GNSS-mottagaren startades om och en ny uppkoppling gjordes (ominitialisering).



Figur 6: Tiden till fixlösning (initialiseringstiden) för de mätningar som gjordes med GPRS. Det svarta strecket visar medeltiden till fixlösning för alla mätningar som gjordes med GPRS.

3.2 Mätosäkerhet

Standardosäkerheter, RMS-värden och medelavvikelser för samtliga punkter beräknades enligt (1) - (4) och redovisas här i tabell 4-6.

Tabell 4 visar spridningar kring mätningarnas medelvärden, tabell 5 visar kvadratiska medelavvikelser från kända koordinater och tabell 6 visar medelavvikelser från kända koordinater. I tabell 4 redovisas också avståndet till närmaste referensstation eftersom det kan vara av intresse. En tydligare redovisning av hur standardosäkerheten i plan och höjd påverkades av avståndet till närmaste referensstation görs i figur 7 och 8. Punkternas lägen framgår av figur 3 i avsnitt 2.1.

Tabell 4: Standardosäkerheten i plan och höjd för varje punkt samt avståndet till närmaste referensstation.

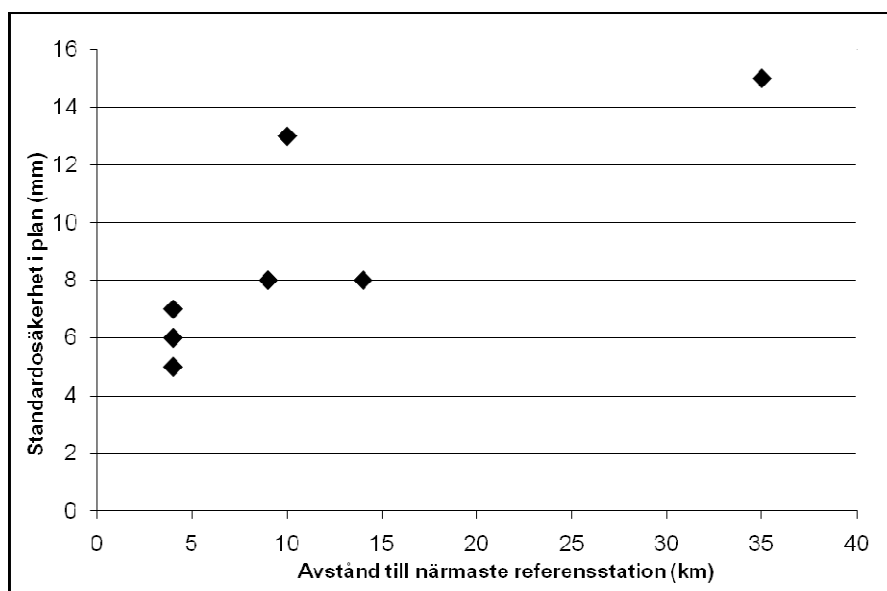
Punkt	Plan (mm)	Höjd (mm)	Avstånd till närmaste referensstation (km)
Lundby	15	13	35
Arnö	8	15	9
Säby	13	15	10
Hillesta	5	14	4
Almvik	8	11	14
Norsborg	8	7	9
Hägersten	7	9	4
Östberga	6	9	4

Tabell 5: RMS-värdet i plan och höjd för varje punkt.

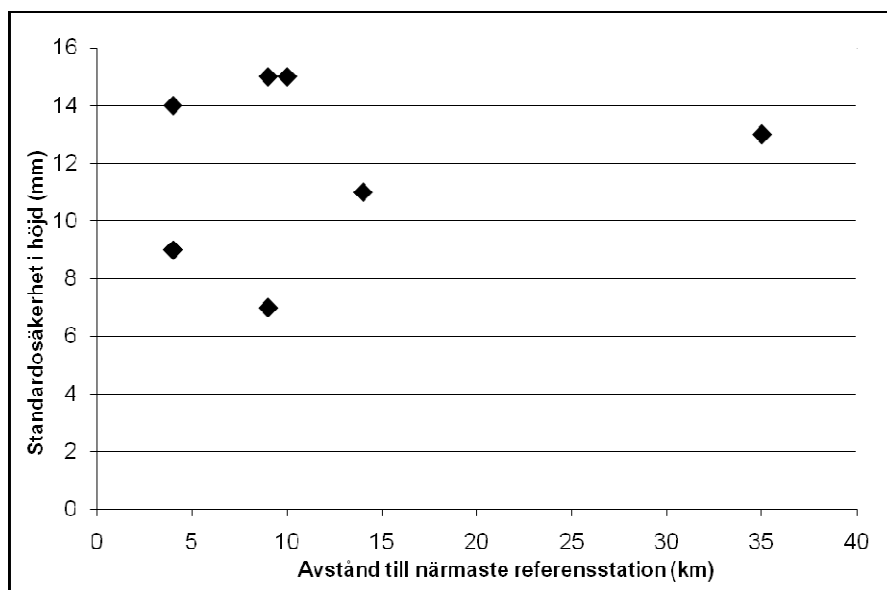
Punkt	Plan (mm)	Höjd (mm)
Lundby	15	14
Arnö	9	17
Säby	16	18
Hillesta	7	16
Almvik	8	11
Norsborg	10	12
Hägersten	9	12
Östberga	7	19

Tabell 6: Medelavvikelsen i plan och höjd för varje punkt.

Punkt	Plan (mm)	Höjd (mm)
Lundby	3	6
Arnö	5	8
Säby	10	11
Hillesta	5	9
Almvik	2	1
Norsborg	6	10
Hägersten	7	8
Östberga	4	16



Figur 7: Standardosäkerheten i plan mot avståndet till närmaste referensstation.



Figur 8: Standardosäkerheten i höjd mot avståndet till närmaste referensstation.

En sammanfattning av resultaten för de olika näten presenteras i tabell 7. För att visa ett resultat som inte påverkas av systematiska fel används standardosäkerheten i tabellen, eftersom standardosäkerheten visar mätningarnas spridning kring mätningarnas medelvärde. Vid analysen av resultatet framgick det nämligen att det fanns vissa systematiska avvikelser från kända koordinater på några av de inmätta punkterna.

Tabell 7: Standardosäkerheten i plan och höjd för varje typ av nät.

Typ av nät	Plan (mm)	Höjd (mm)
Standardnät (~70 km) (Lundby)	15	13
Utkanten av det förtätade nätet (~25 – 40 km) (Almvik)	8	11
Förtätat nät (~10 – 20 km) (Hägersten, Norsborg, Östberga)	6-8	7-9

4 Diskussion

Jämförelse mellan de inmätta och de kända positionerna visar att det finns avvikelser som tyder på systematiska fel (ses också tydligt i bilagan). Framförallt är avvikelsen tydlig i höjddled och det kan bero på att RIX 95-punkterna är inmätta med GPS under en kortare observationstid och utjämnade i SWEREF 99, med andra GPS-inmätta punkter som fasta. Eventuellt innebär det att RIX 95-punkterna generellt kan skilja sig något mot de höjder man får vid nätverks-RTK. Ett annat sätt att upptäcka dessa systematiska fel är genom att titta på skillnaden mellan RMS och standardosäkerheten (jämför tabell 4 och 5), eftersom RMS-uträkningen grundas på skillnaden mellan inmätningen och den kända punkten medan standardosäkerheten grundas på skillnaden mellan mätningarna och deras medelvärde.

Tabell 7 visar att standardosäkerheten i höjd avtar ju tätare nätet med referensstationer är. I den här studien visar det sig att standardosäkerheten i höjd minskar med cirka 5 mm i höjd från standardnätet till det mest förtätade nätet (punkten Lundby i standardnätet fick dock klart lägre värde än vad som var förväntat baserat på tidigare studier, varför en större minskning är rimlig). Det kan också ses att vid utkanten av det förtätade nätet blev standardosäkerheten något högre än i det mest förtätade och något lägre än i standardnätet (se tabell 7).

Vid granskning av standardosäkerheter i plan kan det ses en trend att avståndet till närmaste referensstation påverkar mätosäkerheten vid mätning med nätverks-RTK (se figur 7). Det är alltså inte bara där nätet är tätare som osäkerheten minskar, utan också vid de mätningar som utförts närmare en av referensstationerna i standardnätet och på gränsen till det förtätade nätet. Någon sådan trend kan inte ses i höjd (figur 8).

Det visade sig vara relativt stora avvikelser i en mätomgång på den statistiskt inmätta punkten Hägersten. Det var framförallt väldigt utstickande avvikelser i höjd- och norrkoordinaterna. I höjd har den en avvikelse på cirka 3-7 cm åt samma riktning, och i norr 1-3,5 cm åt samma riktning. En klar indikation på dålig mätning var att vid den första mätningen i den omgången låg kvalitetstalen i GNSS-utrustningen på 3,4 cm plan och 6,9 cm i höjd, emellertid hade resterande mätningar i omgången bra kvalitetstal. Dessa kvalitetstal är baserade på flera olika faktorer och är en indikation på vilken mätosäkerhet som kan förväntas. När kvalitetstalen är så pass höga ska det självklart leda till att inmätningen inte skulle ha accepterats överhuvudtaget vid mätningstillfället, därför uteslöts den inmätningen senare i resultatberäkningarna i stället. Eventuellt har hela den avvikande mätningomgången påverkats av den första

mätningen även om mottagaren initialiserades om, och på grund av detta har en uteslutning av hela den omgången gjorts. Någon annan direkt orsak till att den omgången stack ut så mycket har inte hittats, och en mätning som gjordes cirka 30 minuter senare visade inte samma stora avvikelse. Bland annat kontrollerades om någon av de närliggande SWEPOS-stationerna varit inaktiv under inmätningstiden, och det visade sig att alla hade varit aktiva och fungerat som vanligt.

Noterbart är att några inmätningar sticker ut betydligt i jämförelse med andra mätningar vid samma punkt och tillfälle. Eftersom det endast är 25-30 inmätningar vid varje plats påverkas hela resultatet betydligt av dessa mätningar. Vid uteslutningen som gjordes av de inmätningar som inte låg innanför toleransen försvann en mätning vardera på punkterna Lundby, Säby, Almvik och Hägersten (förutom den omgång som helt uteslöts). Vid några av dessa inmätningar visade det sig även här att kvalitetstalet i GNSS-mottagaren var dåligt, vilket är en tydlig indikation på att de mätningarna var dåliga.

5 Slutsatser

Syftet med detta projekt var att undersöka hur mätosäkerheten ser ut i det förtätade nätet av SWEPOS-referensstationer som finns i Stockholmsområdet. Undersökningen visar att en mätosäkerhet på 6-8 mm i plan och 7-9 mm i höjd uppnåddes i det förtätade nätet under de förutsättningar som rådde vid mätningarnas genomförande. Vid utkanten av det förtätade nätet blev mätosäkerheten något högre, 11 mm i höjd men liknande, 8 mm i plan, för att sedan öka ytterligare i standardnätet. Som synes i resultattabellerna finns det ytterligare punkter i både standardnätet och i utkanten av det förtätade nätet. Då dessa punkter har mätts in med andra förutsättningar, då de ligger nära en referensstation, har de punkterna inte beaktats i slutsatsen.

Vid en jämförelse mellan de resultat som påvisades i detta projekt och de resultat som framgick av simuleringen i CLOSE-projektet kan det sägas att de överstämmer till en viss del. Standardosäkerheten 7-9 mm i höjd i ett förtätat nät är visserligen lite lägre, eftersom simuleringen visade en mätosäkerhet (uttryckt som fel) på 11,1 mm. I plan däremot visar sig standardosäkerheten på majoriteten av punkterna vara lite högre, och vid en punkt ungefär samma, 6-8 mm jämfört med 6,4 mm i simuleringen. De resultat som framgick av detta projekt kan också jämföras med de resultat Odolinski (2010) kom fram till i sin studie, det vill säga att det finns en liten skillnad i höjd mot CLOSE-projektet, medan i plan är resultatet nästan samma.

Referenser

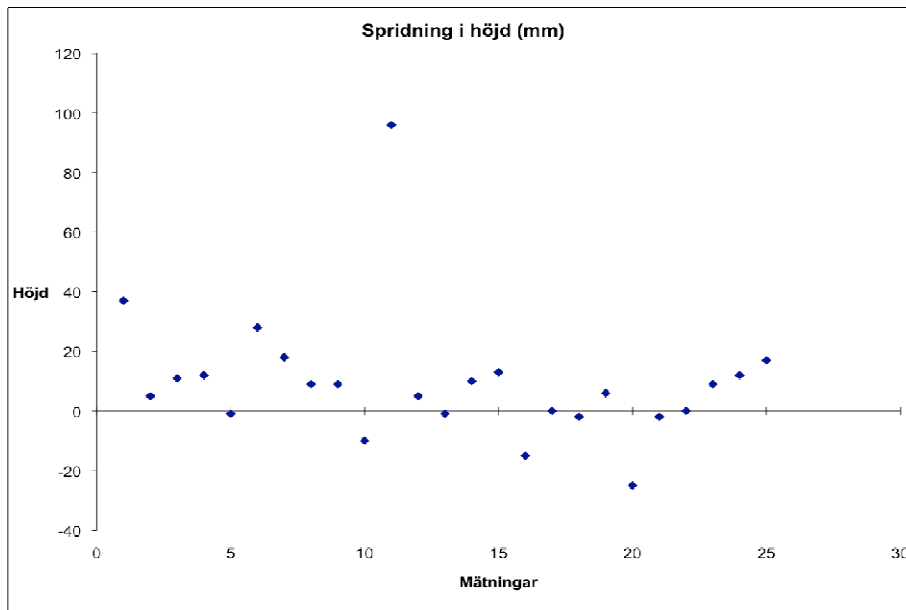
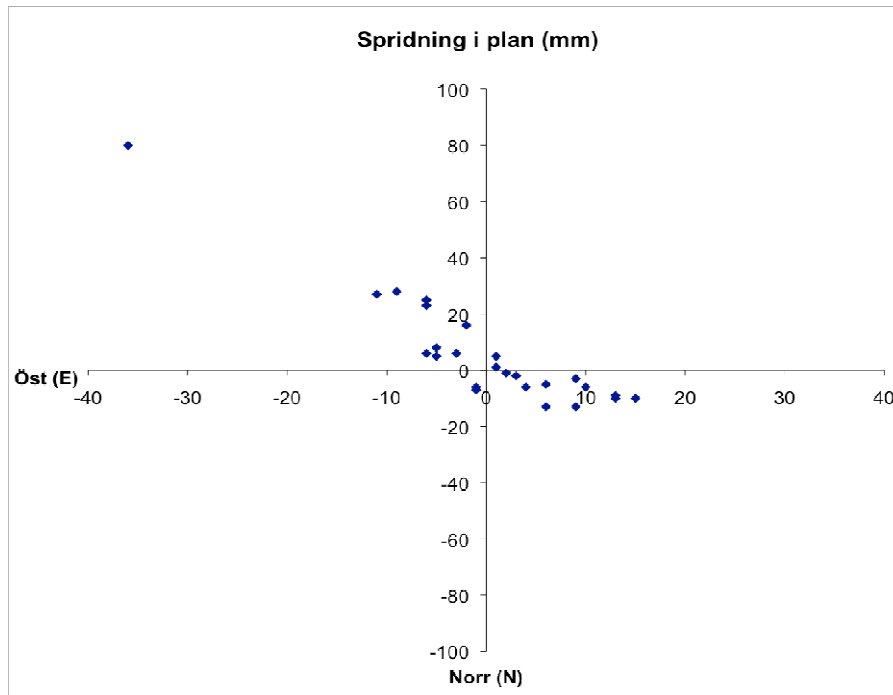
- Alves, D.B.M. & Monico, J.F.G. (2010). GPS/VRS positioning using atmospheric modeling. *GPS Solutions*, Online först, doi: 10.1007/s10291-010-0187-3.
- Emardson, R., Jarlemark, P., Bergstrand, S., Nilsson, T. & Johansson, J. (2009). Measurement Accuracy in Network-RTK. SP Technical Research Institute of Sweden, SP report 2009:23. Från: [http://www-v2.sp.se/publ/user/default.aspx?RapportId=10](http://www.v2.sp.se/publ/user/default.aspx?RapportId=10)
- Fotopoulos, G. & Cannon, M.E. (2001). An overview of multi-reference station methods for cm-level positioning, *GPS Solutions*, 4(3), 1-10. doi: 10.1007/PL00012849
- Janssen, V. (2009, December, 1-3). *A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK*. Working paper presented at: International Global Navigation Satellite Systems Society, Symposium, Queensland, Australia. Hämtad 24 mars, 2011 från <http://eprints.utas.edu.au/9530/>.
- Landau, H., Vollath, U. & Chen, X. (2002). Virtual Reference Station Systems. *Journal of Positioning Systems*, 1 (2), 137-143.
- Lantmäteriet (2010). *RIX 95-projektet*. Hämtad 5 maj 2011, från Lantmäteriet, http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=12881
- Lilje, C., Engfeldt, A. & Jivall, L. (2007). *Introduktion till GNSS* (Geodesi och Geografiska informationssystem, 2007:11). Hämtad 5 maj 2011, från Lantmäteriet, http://lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=2688
- Misra, P. & Enge, P. (2006). *Global positioning system: Signals, measurement and performance*. Lincoln: Ganga-Jamuna Press.
- Norin, D., Engfeldt, A., Öberg, S. & Jämtnäs, L. (2010). *Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst* (Geodesi och Geografiska informationssystem, 2006:2). Hämtad 11 april 2011, från Lantmäteriet, http://lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=2688
- Norin, D., Jonsson, B. & Wiklund, P. (2008, Juni, 14-19). *SWEPOS™ and its GNSS-based Positioning Services*. Working paper presented at: FIG Working Week 2008. Stockholm, Sverige. Hämtad 21 mars, 2011 från <http://www.fig.net/pub/fig2008/techprog.htm>.
- Odolinski, R. (2010). *Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK*. (Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:2). Hämtad 23 maj 2011, från Lantmäteriet, http://lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=2688

- Odolinski, R. (2011). Temporal correlation for network RTK positioning. *GPS solutions*, Online först, doi: 10.1007/s10291-011-0213-0.
- Persson, C.G. (2010). *Några vanliga fördelningar – från ett GUM-perspektiv*. Hämtad 23 maj 2011, från Lantmäteriet, http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=15968
- Rao, B.R.K., Sarma, A. D. & Kumar, Y.R. (2006). Technique to reduce multipath GPS signals, *Current science*, 90(2), 207-211.
- Rizos, C. & Han, S. (2003). Reference station network based RTK systems-concepts and progress. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 8(2b), 566-574. doi: 10.1007/BF02899820
- Stankov, S.M. & Jakowski, N. (2006). Ionospheric effects on GNSS reference network integrity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 69(5-6), 485-499.
- SWEPOS (2010). *Nätverks-RTK: Planerad förtätning i Stockholmsområdet*. Hämtad 23 maj 2011, från SWEPOS, http://swepos.lmv.lm.se/natverksrtk/sthlm_fortatning/sthlm_fortatning.htm
- SWEPOS (2011). *Nätverks-RTK: Förtätning 2011*. Hämtad 23 maj 2011, från SWEPOS, http://swepos.lmv.lm.se/natverksrtk/netvrktjanst.htm#fortatning_2011
- Ågren, J. (2009). *Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70* (Geodesi och Geografiska informationssystem, 2009:1). Hämtad 3 maj 2011, från Lantmäteriet, http://lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=2688

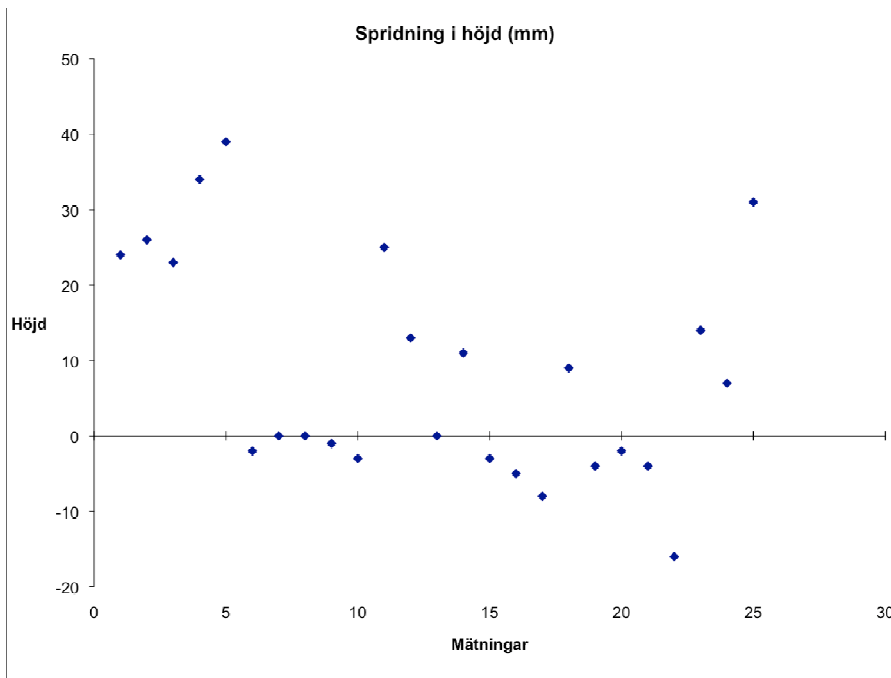
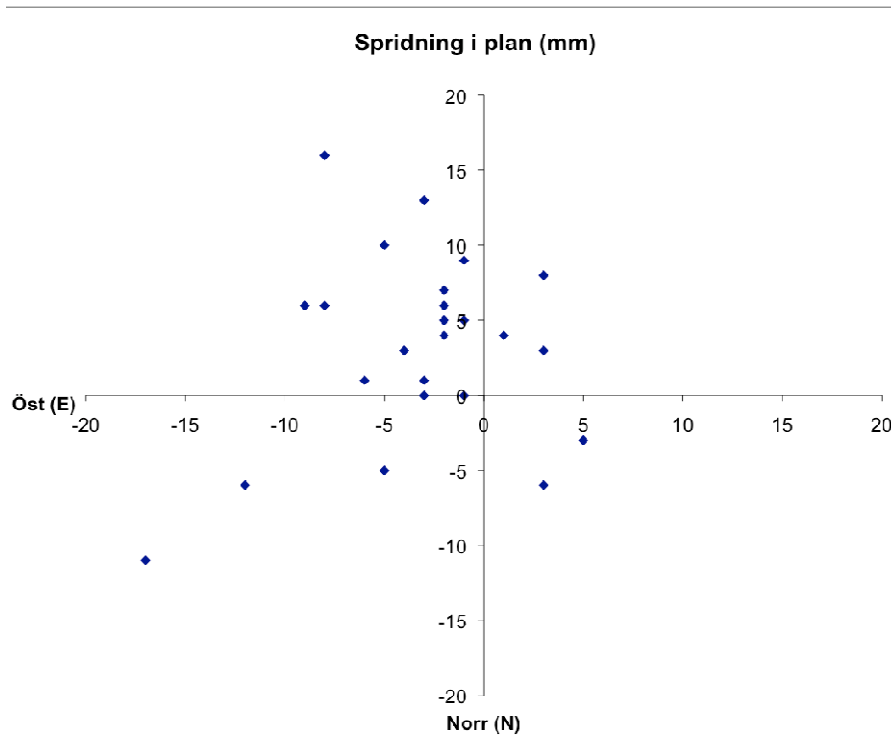
Bilaga. Spridning av mätningar kring de kända positionerna i plan och höjd

I bilagan presenteras inmätningarnas spridning i plan och höjd kring de kända positionerna. Här ses tydligt de systematiska avvikelserna som finns vid varje punkt.

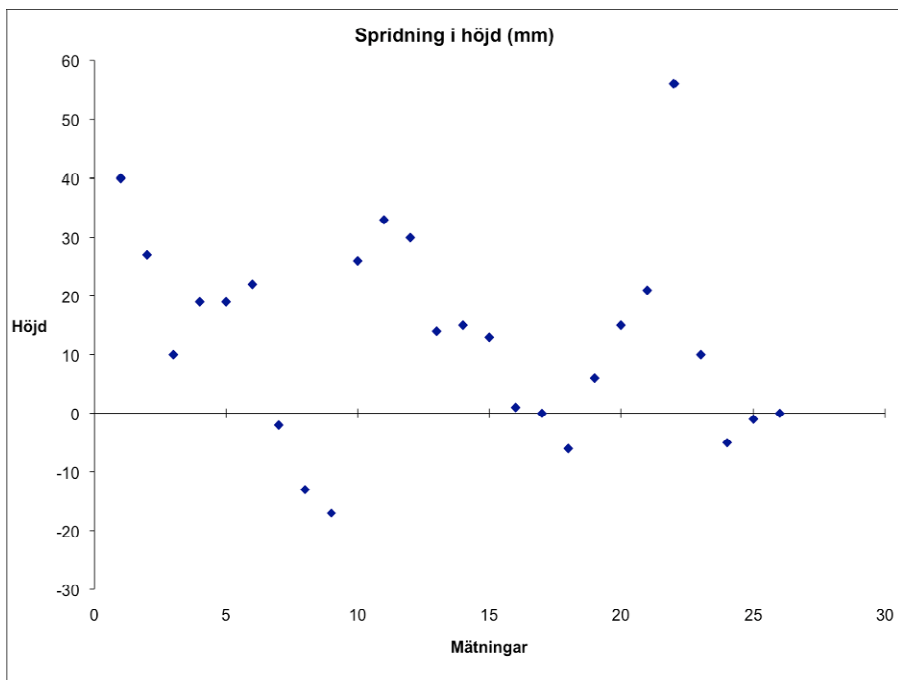
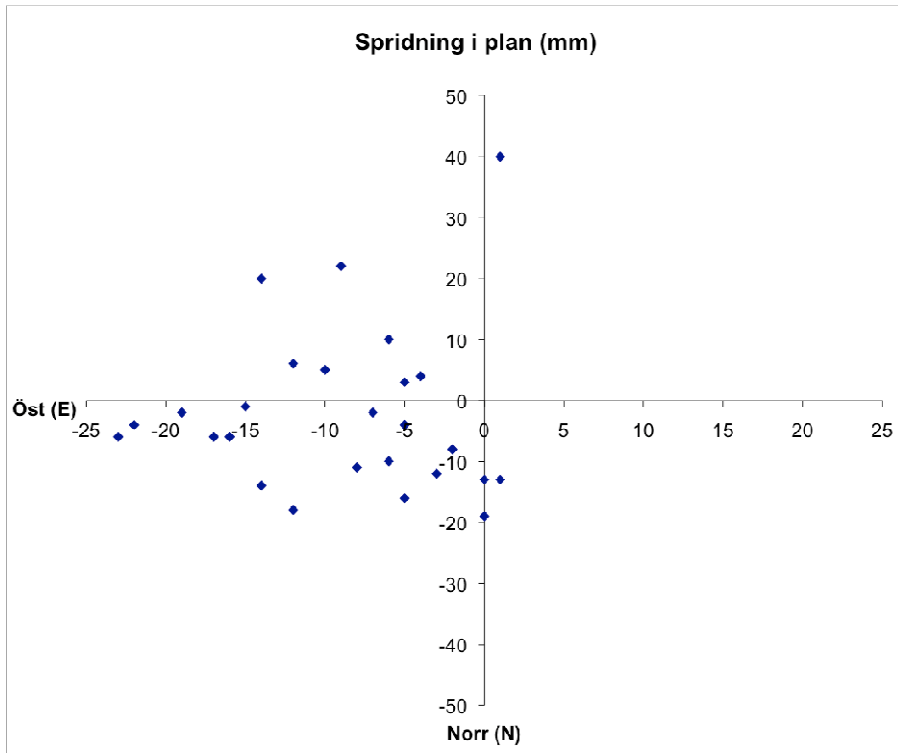
Lundby



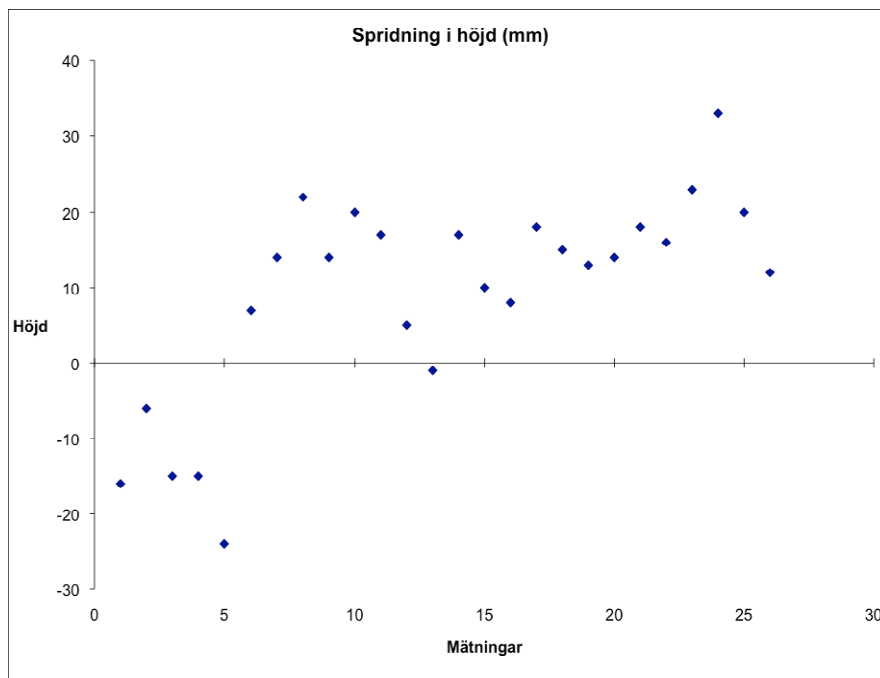
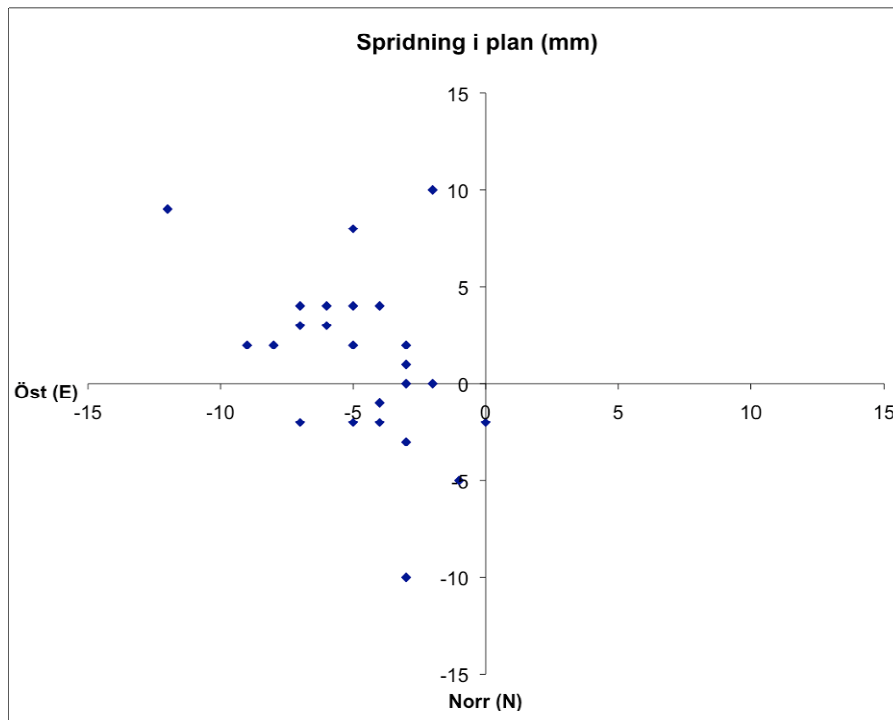
Arnö



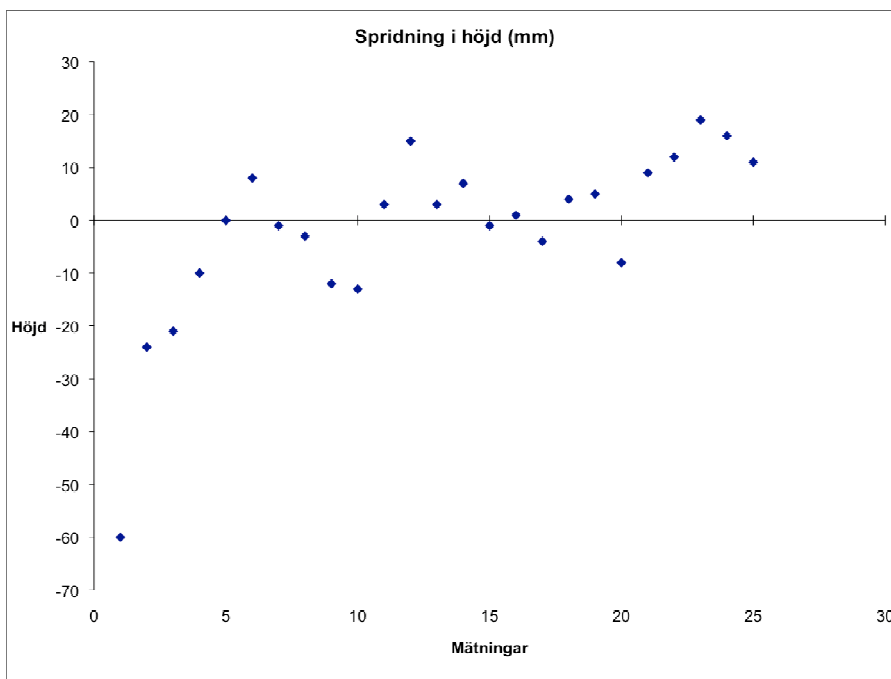
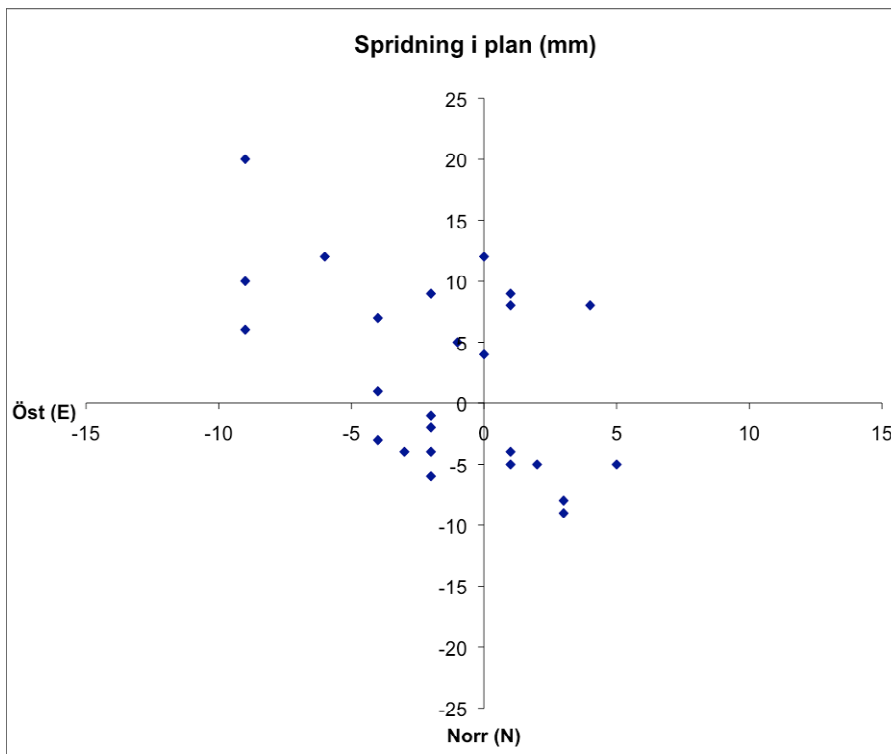
Säby



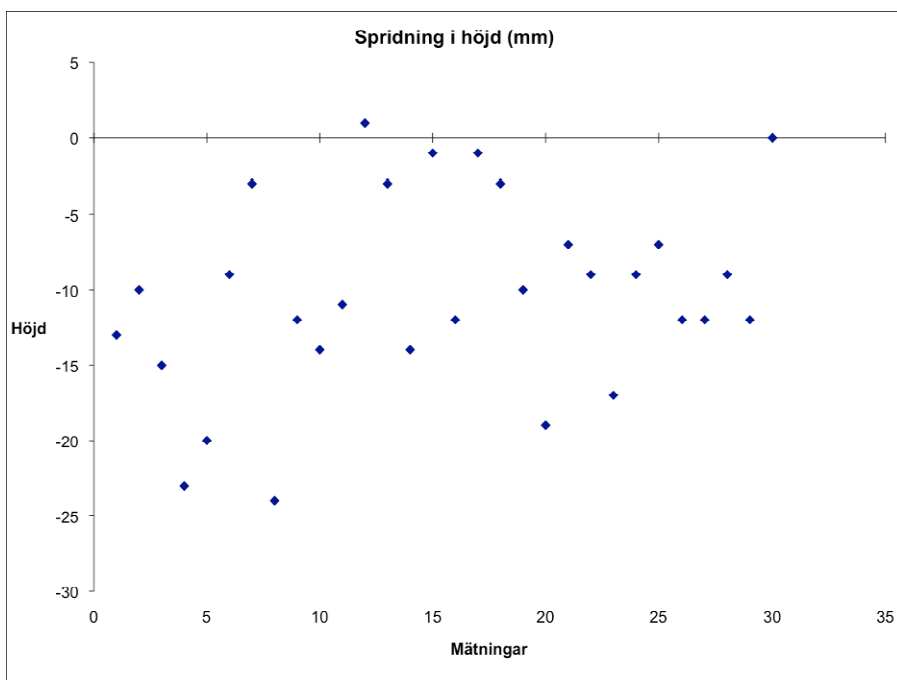
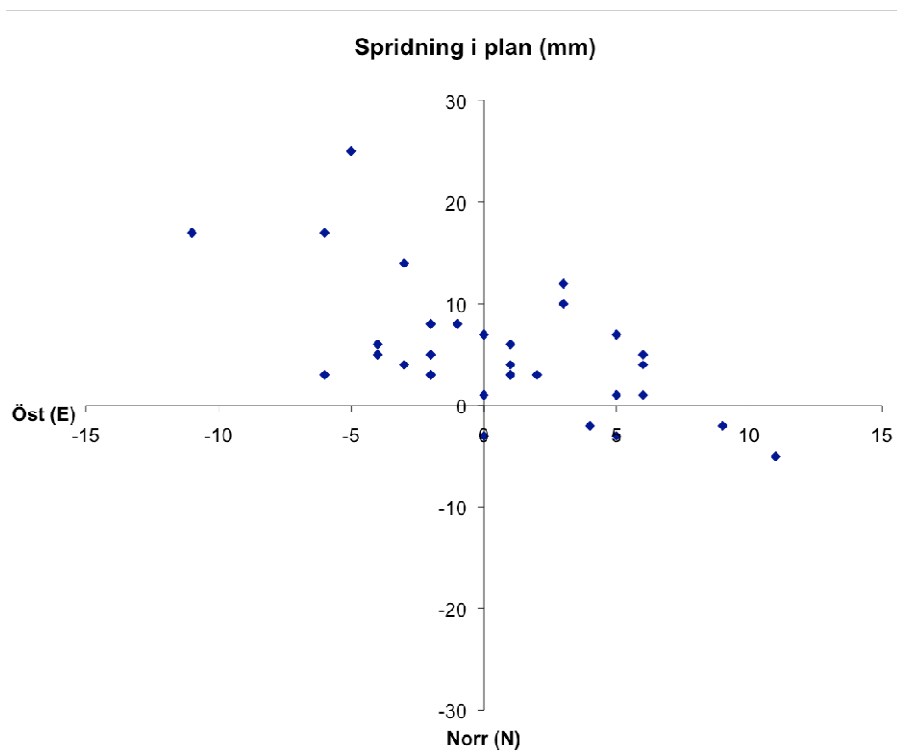
Hillesta



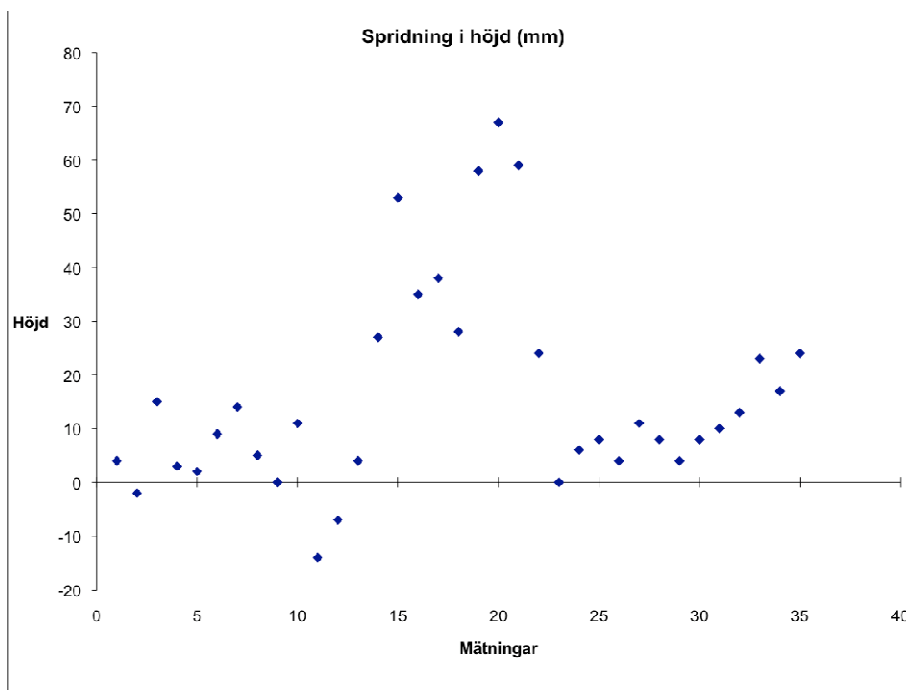
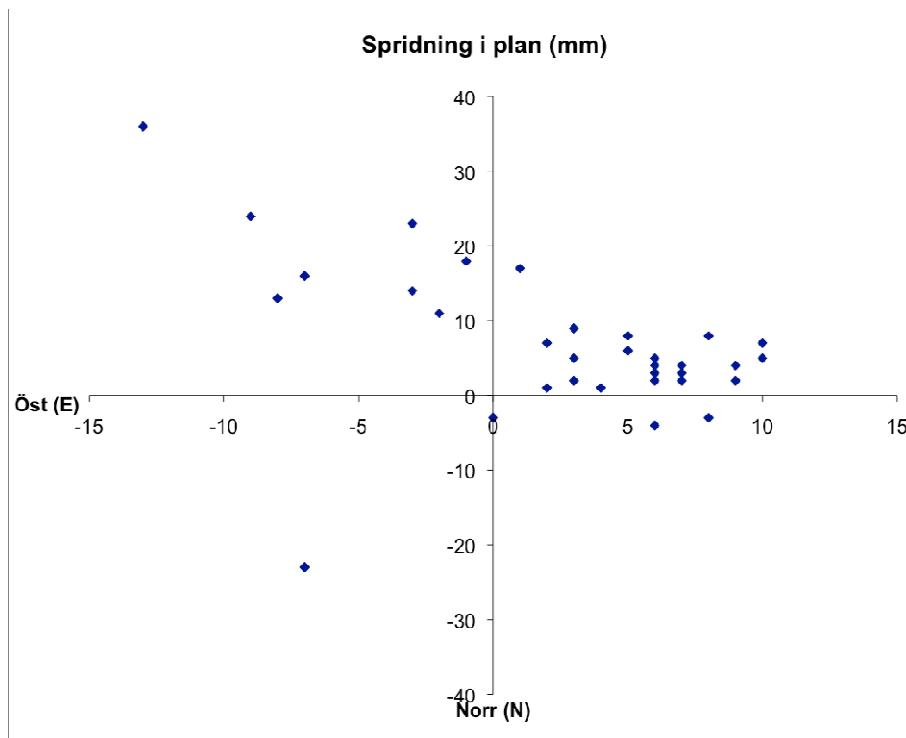
Almvik



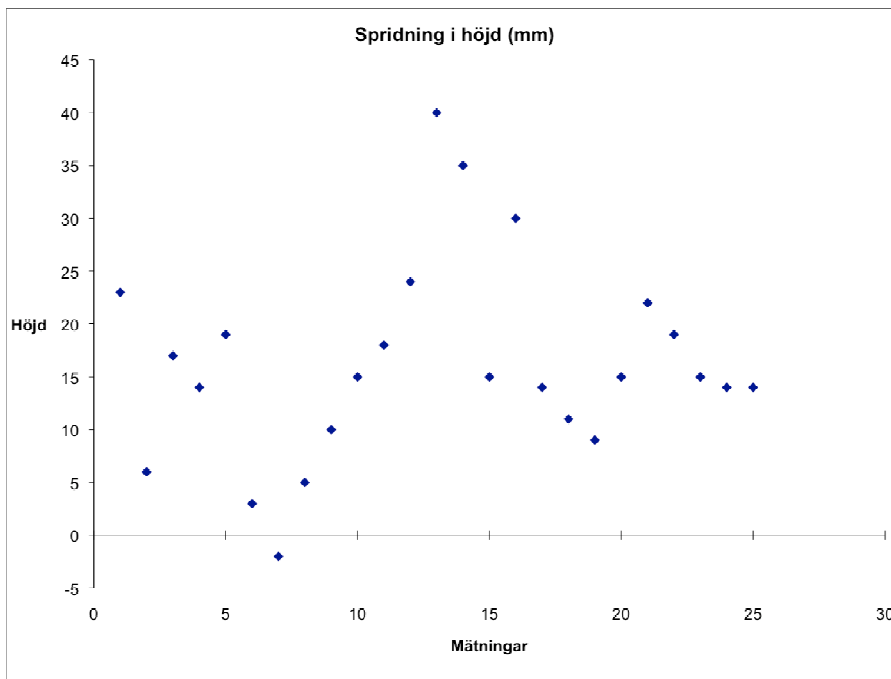
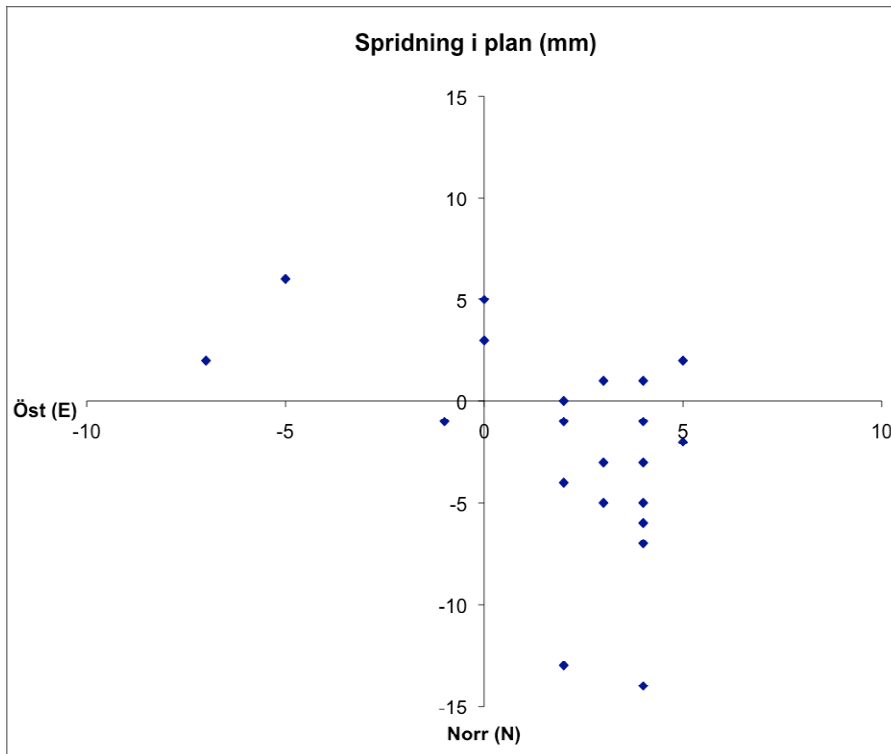
Norsborg



Hägersten



Östberga



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 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 & Illersta Jenny: Restfelshantering med Natural Neighbour och TRIAD vid byte av koordinatsystem 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.

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