

Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS

Examensarbete av
Helena von Malmborg

Gävle 2006

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2006-06-29

Författare Helena von Malmborg

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 46

LMV-Rapport 2006:5 – ISSN 280-5731

Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS

Examensarbete av
Helena von Malmborg

Gävle 2006

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Denna rapport är ett examensarbete vid avdelningen för Geodesi på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm. Examensarbetet har utförts på uppdrag av Geodetiska Utvecklingsenheten på Lantmäteriverket i Gävle. Handledare vid Lantmäteriet har varit Daniel Johansson och Bo Jonsson och vid Kungliga Tekniska Högskolan har Milan Horemuž fungerat som handledare och Lars Sjöberg som examinator.

Jag vill tacka alla mina handledare och övriga anställda på geodesienheten och SWEPOS-driften på Lantmäteriet för hjälp i både teoretiska och praktiska frågor under arbetet. Ett särskilt stort tack till Daniel Johansson för hans vägledning och stöd genom hela arbetet.

Stockholm, mars 2006

Helena von Malmborg

Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS

Förord	I
Sammanfattning	5
Abstract	6
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	7
1.3 Metod och genomförande	7
1.4 Avgränsningar	8
2 Differentiell GPS	8
2.1 Allmänt om Differentiell GPS	8
2.1.1 SWEPOS®	10
2.2 Epos	10
2.3 Nätverks-DGPS	11
2.3.1 Virtuellt referensstation	12
2.3.2 GPSNet och DGPSNet	13
3 Dataöverföringsformat	14
3.1 RTCM	14
3.2 NMEA	15
4 Noggrannhetsangivelser	16
5 Undersökning av prestandan för Epos och nätverks-DGPS	17
5.1 Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS	17
5.1.1 Val av plats för mätning	17
5.1.2 Utrustning	17
5.1.3 Mätningar	18
5.2 Mätmetodik för nätverks-DGPS	19
5.3 Långtidsmätningar med nätverks-DGPS	20

6 Resultat och diskussion	20
6.1 Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS	20
6.1.1 Resultat av jämförelse mellan Epos och nätverks-DGPS	20
6.1.2 Resultat av statisk inmätning av referenspunkten	24
6.2 Resultat av undersökning av mätmetodik	24
6.3 Resultat från långtidsmätningar	25
7 Slutsats och förslag till framtida studier	27
7.1 Slutsats	27
7.2 Förslag till framtida studier	28
Referenser	29
Appendix	30
Appendix 1	31
Appendix 2	32
Appendix 3	33
Appendix 4	34
Appendix 5	37
Appendix 6	38
Appendix 7	39

Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att jämföra prestandan för Epos DGPS-tjänst från Cartesia och Lantmäteriets prototyp-tjänst av nätverks-DGPS. Examensarbetet innefattar även två mindre undersökningar beträffande lämplig mätmetodik för nätverks-DGPS samt jämförelse av nätverks-DGPS med motsvarande tjänst i Norge.

Epos-tjänsten bygger på envägskommunikation, där korrekationer från närmaste referensstation sänds ut via RDS-kanalen på P4 till rovern, medan nätverks-DGPS bygger på VRS-tekniken, där korrektionerna beräknas specifikt för roverns position utifrån ett nätverk av referensstationer.

Insamlingen av mätdata har gjorts enligt Lantmäteriets standard, vilket innebär mätning under sämsta förhållande beträffande baslinje till referensstationer, men under optimala siktförhållanden. Mätningar har utförts simultant med de båda tjänsterna och med likadana instrument. Undersökningen visar tydliga skillnader mellan tjänsternas prestanda både i plan och höjd. Största avvikelse för 95 % av mätningarna är för nätverks-DGPS mellan en tredjedel till hälften så stora i plan och två tredjedelar så stora i höjd som för Epos. I plan uppvisar dock mätningarna med Epos en systematisk avvikelse.

Lämplig mätmetodik för nätverks-DGPS har undersökts beträffande den tid från det att korrekationer börjar tas emot till dess att mätning bör påbörjas, samt hur lång tid en mätning bör pågå. Undersökningen har gjorts genom loggning av positionsdata, där avvikelser, horisontal och vertikal precision samt signal/brusförhållandet har granskats. Undersökningen har inte gett några bevis att en väntetid behövs före mätning eller att mättiden har en effekt på resultatet vid mätning under goda siktförhållanden.

Jämförelse av den svenska nätverks-DGPS-tjänsten med den norska bygger på positionsdata loggad under längre tidsperioder. Undersökningen visar att systemen fungerar förhållandevis lika.

Comparison of Epos and network DGPS

Abstract

The purpose of this thesis is to compare the performance of the Epos DGPS service provided by Cartesia and network DGPS, a prototype service from Lantmäteriet. The thesis also consists of two smaller investigations on a suitable methodology for network DGPS measurements and a comparison of network DGPS with its corresponding service in Norway.

The Epos service is based on a one way communication, where the corrections are sent to the rover from the closest reference station through the RDS Channel on P4. Network DGPS is built on the VRS technique, where the corrections are calculated for the specific position of the rover based on a network of reference stations.

The collection of data is made according to the standard of Lantmäteriet, hence the measurements are made with an optimal view to the satellites and under the worst conditions regarding the baselines to the reference stations. The measurements of the two services are made simultaneous and with identical instruments. The investigation shows clear differences in the performance of the two services considering both horizontal and vertical measurements. The largest deviation from the "true value" for 95 % of the measurements is for network DGPS between one third to half as large in plane and two third as large in height measurement as for Epos. The measurements in plane show however a systematic deviation.

A suitable methodology for network DGPS measurements has been investigated where the time from that the instrument start to receive corrections to that a measurement should be started and the duration of the measurements are looked into.

It focuses on collection of position data, where the deviations in plane and height, the horizontal and vertical precision and the signal to noise ratio has been studied. The investigation has not shown that a certain waiting time is needed before the measurements are initiated or that the measuring time has an effect on the result under clear view conditions.

The comparison of the Swedish Network DGPS service and the Norwegian service is built on series of position data collected during a long period of time. The investigation shows that the two systems works quit similar.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Mätning med differentiell GPS (DGPS-mätning) har idag många olika användningsområden, både till sjöss och på land. I Sverige finns flera olika tjänster från olika aktörer tillgängliga för positionering med DGPS i realtid, till exempel från Lantmäteriet, Cartesia och Sjöfartsverket.

Epos-tjänsten drivs av Cartesia och har en specificerad noggrannhet på ± 2 meter. Tjänsten används idag för de ändamål då en lägre noggrannhet är tillräcklig, till exempel vid jord- och skogsbruk, terrängmätning, för yrkesfordon, datafångst för uppbyggnad av databaser med lägesbunden information etc. På senare år har flera kunder, bland annat från Lantmäterimyndigheten, gått över till nätverks-RTK (RTK = Real Time Kinematic), då en bättre noggrannhet har krävts. Denna tjänst är dyrare än Epos-tjänsten, men ger en betydligt bättre noggrannhet. Ett problem med RTK-tjänsten är att den inte fungerar lika bra som DGPS vid dåliga siktsignalförhållanden, som till exempel i skog, då bärvågs-mätning är känsligare för signalavbrott än kodmätning. Det finns därför önskemål om en DGPS-tjänst med högre noggrannhet.

Lantmäteriet har under fortskridandet av detta examensbete undersökt möjligheterna med nätverks-DGPS från SWEPOS-nätet, genom en prototyp-tjänst för nätverks-DGPS med bättre noggrannhet än Epos-tjänsten och sämre än SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Prototyp-tjänsten för nätverks-DGPS övergick 1 april 2006 till en ordinarie tjänst med namnet SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att göra en jämförelse mellan Epos-tjänsten från Cartesia och prototyp-tjänsten för nätverks-DGPS från Lantmäteriet beträffande prestanda och tillämpning samt en mindre undersökning av lämplig mätmetodik och jämförelse mellan prestandan av Sveriges och Norges nätverks-DGPS-tjänster.

1.3 Metod och genomförande

Tjänsternas prestanda har jämförts beträffande noggrannhet, precision, medelvärde och högsta avvikelse för 68 % respektive 95 % av mätningarna. Ett signifikanstest har gjorts för konstaterade avvikelser mellan de båda tjänsterna. Fältmätningar har genomförts i ett tätt respektive ett glest SWEPOS-nät, vilket motsvarar förhållandet som råder i södra respektive norra Sverige.

Tillämpningen av tjänsterna jämförs beträffande användningsområden, utrustning, användarvänlighet, tillgänglighet och kostnad.

En mätmetodik för nätverks-DGPS-tjänsten undersöks, beträffande tid innan mätning bör påbörjas samt mättid.

Längre loggar med nätverks-DGPS kommer att utföras för att jämföra tjänstens prestanda med ett test av samma tjänst in Norge, där undersökningen har baserats på mätningar under en längre tid.

1.4 Avgränsningar

Tyngdpunkten i examensarbetet ligger i att jämföra prestandan av Epos och nätverks-DGPS. Beskrivning av tillämpning av tjänsterna utgör en mindre del av jämförelsen.

Tjänsterna testas endast under goda satellitsignalförhållanden och med en geodetisk utrustning med mycket hög noggrannhet.

Test av mätmetodik genomförs endast för nätverks-DGPS-tjänsten, då denna tjänst är ny. Mätmetodiken kommer dock att användas för de båda tjänsterna.

2 Differentiell GPS

2.1 Allmänt om Differentiell GPS

Differentiell GPS-mätning (DGPS-mätning) är relativ kodmätning på L1, vilken är en av de två frekvenserna GPS-satelliterna sänder ut och används för att förbättra noggrannheten vid kodmätning. DGPS ger ett medelfel på ca 0,5-5 meter per koordinat (Engfeldt och Jivall, 2003). Vid traditionell DGPS-mätning används två mottagare, varav en är placerad på en punkt med kända koordinater och agerar som referensstation. Genom mätning på den kända positionen kan korrektionsdata beräknas och skickas i realtid eller i efterhand till den rörliga mottagaren, rovern (Sjöberg, 1998; Engfeldt och Jivall, 2003).

För att beräkna korrektionsdata för rovers position, krävs att referensstationen och rovern mäter mot samma satelliter och att satelliterna har samma satellitkonfiguration. Placeringen av referensstationen måste därför vara nära rovern. För att förenkla detta beräknar istället de flesta system korrektioner till pseudoavstånden (se nedan). I detta fall krävs endast att referensstation och rover mäter mot minst fyra satelliter samtidigt. Denna metod är den mest använda idag, då den är mer flexibel och ger bättre noggrannhet. Nackdelen med metoden är att den kräver mer komplicerade beräkningar och algoritmer (Hofmann-Wellenhof et al., 2001). Nedan beskrivs metoden för beräkning av

pseudoavstånden. Samtliga formler är tagna från Hofmann-Wellenhof et al, 2001.

Pseudoavståndet $R_A^j(t_0)$ vid en epok t_0 mellan referensstationen A och satellit j beskrivs enligt:

$$R_A^j(t_0) = \rho_A^j(t_0) + \Delta\rho_A^j(t_0) + \Delta\rho^j(t_0) + \Delta\rho_A(t_0)$$

där $\rho_A^j(t_0)$ är det geometriska avståndet, $\Delta\rho_A^j(t_0)$ radiellt fel beroende av mottagar- och satellitposition och $\Delta\rho^j(t_0)$ respektive $\Delta\rho_A(t_0)$ är satellit- respektive mottagarberoende fel. Avståndskorrekturen (Pseudorange correction) $PRC^j(t_0)$ för satelliten kan då beräknas eftersom det geometriska avståndet är beräknat från den kända positionen och predikterade bandata:

$$PRC^j(t_0) = \rho_A^j(t_0) - R_A^j(t_0) = -\Delta\rho_A^j(t_0) - \Delta\rho^j(t_0) - \Delta\rho_A(t_0)$$

där $R_A^j(t_0)$ är den mätta kvantiteten. Från detta är tidsderivatan eller förändringshastigheten $RRC^j(t_0)$ bestämd vid basstationen. Avståndskorrekturen och förändringshastigheten är överförd från basstationen till rovern B i realtid. Där beräknas avståndskorrekturen för en observationsepok t enligt:

$$PRC^j(t) = PRC^j(t_0) + RRC^j(t_0)(t - t_0)$$

Därefter beräknas pseudoavståndet från satelliten j till rovern B vid epoken (t_0)

$$R_B^j(t_0) = \rho_B^j(t_0) + \Delta\rho_B^j(t_0) + \Delta\rho^j(t_0) + \Delta\rho_B(t_0)$$

Det korrigerade avståndet $R_B^j(t)_{corr}$ fås då ur:

$$R_B^j(t)_{corr} = R_B^j(t) + PRC^j(t) = \rho_B^j(t) + [\Delta\rho_B^j(t) - \Delta\rho_A^j(t)] + [\Delta\rho_B(t) - \Delta\rho_A(t)]$$

Genom att addera korrekturen tar alla satellitberoende fel i klocka och banparametrar ut varandra. Då dessa fel är starkt korrelerade reduceras de radiella banfelen och refraktionen signifikant (Hofmann-Wellenhof et al., 2001).

Flera olika tjänster för DGPS-mätning i realtid erbjuds i Sverige av olika aktörer. Fasta referensstationer har etablerats på kända positioner. Stationerna tar ständigt emot positionsdata från satelliterna och korrektionsdata beräknas. Ett av dessa nät med fasta referensstationer är SWEPOS[®] som drivs av Lantmäteriet (se avsnitt 2.1.1). Genom att använda tjänster där korrekturen är beräknade från fasta referensstationsnät behöver användaren inte själv etablera en egen referensstation vid mättillfället och behöver därför inte dubbla utrustningar. Dessa tjänster erbjuds till olika priser och med olika noggrannheter. Epos-tjänsten är tidigare jämförd med andra DGPS-tjänster (Rönnberg, 2001). Mätmetodikerna har dock varit olika metodiken som används här och resultaten kan därför inte jämföras

fullt ut. Nätverks-DGPS är tidigare jämförd med nätverks-RTK (Ahrenberg och Olofsson, 2005).

I denna undersökning jämförs endast Epos DGPS-tjänst från Cartesia samt prototyp-tjänsten för nätverks-DGPS från SWEPOS.

2.1.1 SWEPOS®

SWEPOS är ett nationellt nät av fasta referensstationer i Sverige. Referensstationerna tar ständigt emot data från GPS/GLONASS-satelliterna och tillhandahåller GPS-korrekationer för både mätningar i realtid och för efterberäkningar. Data från satelliterna kan användas bland annat för positionering och navigering.

SWEPOS-nätet drivs och vidareutvecklas av Lantmäteriet. Referensstationsnätet finansieras av anslag och användaravgifter och har tre huvudsyften:

- tillhandahålla GPS-data för navigering, positionsbestämning och vetenskapliga ändamål
- realisera det nationella geodetiska referenssystemet SWEREF 99
- övervaka GPS-systemets integritet.

SWEPOS-data fås genom olika tjänster från både Lantmäteriet och andra aktörer (Sjöberg, 1998). För mer information om SWEPOS och olika tjänster se www.swepos.com.

2.2 Epos

Epos är en nationellt täckande DGPS-tjänst som drivs av Cartesia och erbjuder differentiella korrekationer i realtid. Epos kompenserar felet och ger enligt Cartesias produktinformation en riktig position på ± 2 meter. Korrektionerna sänds ut via FM-nätet på P4 och ger därför tjänsten en räckvidd till alla områden där man kan lyssna på P4 i stereo, vilket är stora delar av Sveriges inland. Räckvidden kan dock påverkas av topografin (Sjöfartsverket, 2003).

Cartesia sänder ut differentiella korrekationer i överföringsformatet RTCM SC-104 v. 2.3 (se avsnitt 3.1). Korrektionerna kommer från 12 av de fullständiga referensstationerna i SWEPOS referensstationsnät (se avsnitt 2.1.1) och beräknas för respektive station. Korrektionerna kontrolleras först på SWEPOS driftsledningscentral och skickas sedan vidare till Kaknästornet. Från Kaknästornet distribueras korrektionerna vidare till respektive FM-sändare där de sedan skickas ut till Epos-användarna via RDS-kanalen på P4 i ett frekvensområde på 85-105 MHz. Epos-användaren erhåller alltså korrekationer från den närmsta SWEPOS-station som samlar in data till Epos-tjänsten. Varje FM-sändare förser ett förbestämt område med korrekationer. Information om områdena fås av Cartesia (Sjöfartsverket, 2003; Rönnberg, 2001). Den korrektionsinformation

som sänds ut skickas som RTCM-meddelande typ 1 (Differential GPS Corrections).

Resultatet av den tidigare undersökningen av Epos-tjänsten (Rönnberg, 2001) anger att Epos har en noggrannhet på 6 dm i plan och 9 dm i höjd och att 95 % av mätningarna ligger under 9 dm i plan och 15 dm i höjd. Undersökningen är gjord på platser med goda siktförhållanden och med relativt lång mättid. Rönnberg finner också att vid mätning i skogsmark har ingen försämring i signalkvalitet märkts.

För att kunna använda sig av Epos krävs förutom en enfrekvens GPS-mottagare även en Epos-mottagare med antenn för mottagning av korrektioner samt ett Epos-abonnemang. Abonnemanget kostar för närvarande 5996 kronor per år inklusive distributionskostnad.

Epos är lämpligt för en rad olika användningsområden där ett lägre noggrannhetskrav är acceptabelt. Tjänsten används främst på land men även inom sjöfarten i kustnära områden. På land används tjänsten till stor del inom t.ex. jord- och skogsbruk och terrängmätning (www.cartesia.se).

2.3 Nätverks-DGPS

Nätverks-DGPS fanns i Sverige under detta examensarbets fortskridande ännu bara som en prototyp-tjänst från SWEPOS[®], men prototyp-tjänsten övergick 1 april 2006 till en ordinarie tjänst med namnet SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst. Nätverks-DGPS använder sig av referensstationsnätet SWEPOS (se avsnitt 2.1.1). Genom ständiga mätningar till satelliterna från referensstationerna kan en modell över felkällor beräknas i mjukvaran till nätverksservern. Mjukvaran för nätverks-DGPS heter DGPSNet och är en utvidgning av mjukvaran GPSNet från Trimble Terrasat (se avsnitt 2.3.2). Nätverks-DGPS bygger på en tvåvägskommunikation mellan SWEPOS driftledningscentral och användarens mottagare enligt ett koncept som kallas virtuell referensstation (se avsnitt 2.3.1). Nätverks-DGPS levererar korrektioner i RTCM-format (se avsnitt 3.1).

Prestandan av nätverks-DGPS har undersökts och jämförts med nätverks-RTK (Ahrenberg och Olofsson, 2005). Undersökningen anger en noggrannhet för nätverks-DGPS på 4 dm i plan och 8 dm i höjd och största avvikelse för 95 % av mätningarna på 8 dm i plan och 16 dm i höjd. Studien är gjord på både platser med god sikt samt platser med sikthinder.

Nätverks-DGPS har täckning i hela Sverige. Korrektioner kan tas emot där det finns täckning för mobiltelefoni (GSM/GPRS). På grund av att SWEPOS-nätet är tätare i södra än i norra Sverige, ger mätningar i södra Sverige något bättre noggrannhet. Nätet håller dock på att förtätas och diskussioner pågår även med Norge, Finland

och Danmark om att få tillgång till information från referensstationer i deras nät. Detta för att få bättre noggrannhet, särskilt i gränsområdena. Täckningen för GSM/GPRS är idag något sämre än P4 i fjälltrakterna.

SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst som lanserades 1 april, 2006 kostar 9000:- per år och abonnemang för användare som önskar obegränsad tillgång till data. Vid nytecknande av abonnemang tas en anslutningsavgift ut om 5000 kronor. Distributionskostnad via GSM/GPRS tillkommer. De som idag abonnerar på SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (obegränsad tillgång till data) kan kostnadsfritt få tillgång till korrekationer för nätverks-DGPS. Mer information och aktuella priser hittas på www.swepos.com.

Användningsområdena för nätverks-DGPS är samma som för Epos-tjänsten. Med nätverks-DGPS kan man dock få en bättre position än med Epos. Användaren av nätverks-DGPS vill ha en bättre noggrannhet än vad Epos kan ge men med lägre noggrannhetskrav än vid nätverks-RTK.

2.3.1 Virtuellt referensstation

VRS (Virtual Reference Station) är en teknik som är baserad på att ett nätverk av referensstationer är sammankopplade till ett kontrollcenter. Kontrollcentret samlar all information från mottagarna och bygger upp en databas med korrekationer. För att skapa en virtuellt referensstation krävs att minst tre sammankopplade referensstationer är kopplade till nätverksservern (Landau et al, 2002).

Rovern sänder en approximativ position till kontrollcentret, där mjukvaran till nätverksservern körs. Detta görs via en datalänk, t.ex. mobiltelefon och GSM (Global System for Mobile Communications) eller GPRS (General Packet Radio Service). Positionen sänds via ett standardmeddelande kallat GGA i NMEA-formatet. Formatet är utvecklat av National Marine Electronics Association, NMEA (se avsnitt 3.2) och är tillgängligt på de flesta mottagare. Positionen skickas till kontrollcentret som därefter sänder tillbaka korrekationer för den approximativa positionen i standardformatet RTCM, Radio Technical Commission for Maritime Services (se avsnitt 3.1). Rovern beräknar en DGPS-lösning, uppdaterar sin position och sänder tillbaka den uppdaterade positionen till kontrollcentret och en virtuellt referensstation skapas på denna position. Nätverksservern beräknar därefter RTCM-korrekationer så att det verkar som om referensstationen står på den position där den virtuella referensstationen är beräknad (Landau et al, 2002).

Konceptet med en virtuellt referensstation har stora fördelar då det är problem att sätta upp en egen referensstation på t.ex. svårframkomliga platser som i tät terräng eller på vatten. En användare kan även sänka sina kostnader och arbetsbörda då denne inte behöver dubbel utrustning samt slipper uppföra en egen referensstation.

2.3.2 GPSNet och DGPSNet

GPSNet är den mjukvara till nätverksservern som körs vid SWEPOS driftledningscentral. GPSNet är utvecklad av Trimble Terrasat GmbH. Varje referensstation i SWEPOS-nätet kommunicerar ständigt med driftledningscentralen. GPSNet är kopplad till samtliga referensstationer i nätet och har som huvuduppgift att:

- importera rådata och utföra kvalitetskontroller
- beräkna antenn fascenter korrektioner
- modellera och bestämma systematiska fel
- skapa en virtuell position för rovern
- generera RTCM-data för den virtuella positionen
- överföra RTCM-data till rovern

Mjukvaran till nätverksservern analyserar även ständigt kod- och bärvågsobservationer för att kontinuerligt beräkna flervägsfel, jonosfärsfel, troposfärsfel, fel i banddata och periodobekanta för L1 och L2. Samtliga referensstationer i nätverket används vid beräkning av dessa fel (Landau et al., 2002). För att behandla data i GPSNet används ett matematiskt optimalt Kalmanfilter som behandlar informationen från hela nätverket och modellerar alla relevanta felkällor. Detta beräknar den fullständiga vektorns tillstånd och uppdateras med en hastighet av 1 Hz (Trimble, 2005b).

För att interpolera felen för en virtuell referensstation i mjukvaran på servern används residualerna i de omkringliggande referensstationernas mätningar. Felen interpoleras genom en viktad linjärapproximation och en minsta-kvadrat-sammanställning (Landau et al, 2002).

DGPSNet är en utvidgning av Trimble Terrasats mjukvara GPSNet. Mjukvaran är optimerad för DGPS-nät och tillåter reducering av atmosfärens och satellitbanans effekter. DGPSNet reducerar med hjälp av nätverkspositionering flervägsfel. Med DGPSNet kan man med användning av en frekvens mottagare få en noggrannhet som är bättre än 0,5 m (Landau et al., 2002; Trimble VRS System, 2005d).

GPSNet stödjer NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), som är en teknik för att föra över differentiella GPS-korrektioner över Internet. Tekniken skapades av tyska kartverket (the Federal Agency for Cartography and Geodesy) i samarbete med andra aktörer. NTRIP bygger på Hypertext Transfer Protocol, HTTP, och är optimerad för GNSS dataflöden. (Lenz, 2004; Trimble, 2005a) RTCM kan föras över både med fast internetanslutning samt med GSM, GPRS eller WLAN.

3 Dataöverföringsformat

För att möjliggöra överföring av korrektioner, startpositioner samt göra det lättare vid beräkningar har olika standardformat arbetats fram. Många tillverkare av mottagare arbetar med egna format, men har möjlighet att konvertera dessa till standardformaten. Nedan presenteras kort om några de vanligaste.

3.1 RTCM

1985 arbetades ett standarddataformat fram för överföringen av korrektioner. Formatet arbetades fram av the Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104 som består av tillverkare, säljare och användare inom bland annat marin radiokommunikation och radionavigering. Formatet kallas kort RTCM SC-104 eller bara RTCM (www.rtcn.org).

Olika versioner av formatet används för olika typer av mätningar. Idag (mars 2006) används i Sverige RTCM v. 2.3 för mätningar med differentiell-GPS och för RTK det mer kompakta formatet RTCM v. 3.0. RTCM-formatet består av 64 meddelanden, där de flesta ännu är odefinierade.

Tabell 3.1: *Urväl av meddelandetyper i RTCM 2.3 (Seber, 2003).*

Message type number	Current status	Title
1	Fixed	Differential GPS Correction
2	Fixed	Delta Differential Corrections
3	Fixed	Reference Stations Parameters
18	Fixed	RTK Uncorrected Carrier Phases
19	Fixed	RTK Uncorrected Pseudoranges
20	Fixed	RTK Carrier Phase Corrections
21	Fixed	RTK High precision Pseudorange Corrections
31	Tentative	Differential GLONASS Corrections
32	Tentative	Differential GLONASS Reference Stations Parameters
37	Tentative	GNSS System Time Offset
59	Fixed	User Defined

Beroende av tjänst används olika meddelandetyper. För Epos-tjänsten används endast de differentiella GPS-korrektionerna i meddelandetyper 1. Vid mätning med nätverks-DGPS skickas meddelande 1 och 31 som är GPS respektive GLONASS korrektionerna. Dessutom skickas även meddelande 3, stationskoordinaterna, meddelande 22, noggrannare stations-koordinater samt meddelande 23 och 24 som är antenninformation och koordinater. Med GPSNet skickas även alltid meddelande 59 som innehåller en nätverkskorrektion för mätning med virtuell referensstation.

För mer information om RTCM och formatets olika versioner se de officiella dokumenten från RTCM Special Commission 104, www.rtcn.org.

3.2 NMEA

NMEA står för National Marine Electronics Association och är en organisation som består av olika intressenter inom elektronisk marin utrustning. NMEA arbetar med att ta fram standarder och gränssnitt för kommunikation mellan marina instrument (www.nmea.org).

NMEA-0183 är en standard för gränssnitt mellan elektronisk marin utrustning. Detta gränssnitt används av GPS-mottagaren att kommunicera till andra externa instrument och utrustningar, till exempel SWEPOS driftcentral eller en dator, och låta annan utrustning använda sig av data insamlad eller beräknad av GPS mottagaren. Meddelandena skickas antingen via modem eller kan fås genom mottagarens serieport. Meddelandena varierar något i namn och innehåll beroende av instrument och instrumenttillverkare, men GGA meddelandet går att leverera från nästan alla instrument. Nedan presenteras de NMEA-meddelanden som går att få ut från Trimble R7.

Tabell 3.2: Sammanfattning av NMEA-meddelanden i Trimble R7 (Trimble, 2005c).

AVR	Time, yaw, tilt, range, mode, PDOP, and number of SVs for Moving Baseline RTK
GGA	Time, position, and fix related data
GSA	GNSS DOP and active satellites
GST	Position error statistics
GSV	Number of SVs in view, PRN, elevation,
HDT	Heading from True North
PTNL,GGK	Time, position, position type and DOP
PTNL,GGK_SYNC	Time, synchronized position, position type and DOP values
PTNL,PJK	Local coordinate position output
PTNL,PJT	Projection type
PTNL,VGK	Time, locator vector, type and DOP values
PTNL,VHD	Heading Information
ROT	Rate of turn
VTG	Actual track made good and speed over
ZDA	UTC day, month, and year, and local time

4 Noggrannhetsangivelser

Medelvärde, standardavvikelse och RMS (root mean square) är de noggrannhetsangivelser som används i den här undersökningen för att mäta prestandan på de olika tjänsterna. Tjänsterna jämförs även genom största avvikelse från sant värde för 68 % respektive 95 % av mätningarna. Värdena har fått fram genom att mätningarna sorterats från minsta till största avvikelse och högsta avvikelse noterats vid 68 % och 95 % av mätningarna. Största avvikelsen för 68 % av alla mätningar och anger om mätningarna är normaldistribuerade runt det sanna värdet samma som standardavvikelsen (σ) och vid 95 % av mätningarna dubbla standardavvikelsen (2σ) (Fan, 2003). Samtliga noggrannhetsangivelser är beräknade för både plan och höjd. Ett signifikanstest görs för avvikelserna i longitud, latitud och höjd för att undersöka om systematiska fel kan förekomma.

Medelvärdet anger avvikelsen av de mätta värdenas medelvärde i förhållande till det sanna värdet:

$$X_{medel} = \frac{\sum x_i}{n}$$

där x_i är mätning nummer i , och n är totala antalet mätningar. (Ahrenberg och Olofsson, 2005) Standardavvikelsen σ beskriver spridningen av mätningarna runt mätningarnas medelvärde och beskriver alltså mätningarnas precision:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$$

där v_i är mätningens avvikelse från medelvärdet och n är antalet mätningar. Mätningarna antas vara oberoende normaldistribuerade variabler med samma standardavvikelse (Fan, 2003). RMS är spridningen av mätningarna runt det sanna värdet och är ett mått på noggrannheten, det genomsnittliga felet, i mätningarna:

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

där ε är avvikelsen från det sanna värdet och n är antalet mätningar (Fan, 2003).

Ett signifikanstest görs för att undersöka om mätningarnas medelvärde, \bar{x} , är statistiskt lika med det sanna värdet, μ . I detta test görs signifikanstestet på avvikelserna, vilket ger att \bar{x} är medelvärdet av avvikelserna och μ lika med noll. Då standardavvikelsen inte är känd utan beräknad från mätningarna görs ett t-test. Med en 5 % risknivå sätts här nollhypotesen, H_0 , till att medelvärdet av avvikelserna är lika med noll och den alternativa hypotesen, H_1 , att medelvärdet av avvikelserna är skilt från noll. För risknivå α med $(n-$

1) frihetsgrader, där n är antalet mätningar, fås kan c_2 beräknas enligt:

$$c_2 = t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

Om $|\bar{x} - \mu| < c_2$ kan H_0 accepteras på en 5 % risknivå (Fan, 2003).

5 Undersökning av prestandan för Epos och nätverks-DGPS

Tyngdpunkten på undersökningen har varit att göra en jämförelse mellan Epos-tjänsten från Cartesia samt nätverks-DGPS-tjänsten från Lantmäteriet. Två mindre undersökningar har även utförts, en där mätmetodiken för nätverks-DGPS har granskats samt en där längre loggar med nätverks-DGPS har analyserats för en jämförelse av prestandan med nätverks-DGPS i Norge.

5.1 Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS

Jämförelsen av Epos DGPS-tjänst från Cartesia och Lantmäteriets prototyp-tjänst för nätverks-DGPS har gjorts genom att ett antal mätningar med de båda tjänsterna gjorts simultant med två likadana fältutrustningar. Mätningarna har gjorts med normal mätmetodik för en vanlig användare (se avsnitt 5.2 och 6.2) för att få fram den prestanda som den vanliga användaren kan förvänta sig.

5.1.1 Val av plats för mätning

Tjänsterna har endast jämförts på en punkt med goda siktförhållanden till satelliterna. Placeringen av punkten har valts så långt bort som möjligt både från den Epos-station, där Epos-korrektionerna sänds ut, samt från de SWEPOS-stationer som sänder ut nätverks-DGPS-korrektioner. Mätningarna är alltså gjorda under optimala mätförhållanden för sikt till satelliterna, men under sämsta mätförhållande med avseende på referensstationernas lägen. Punkten är RIX 95-punkt 1156890 och är belägen i utkanten av Skinnskatteberg, ca 125 km från Epos-stationen i Karlstad och mitt emellan fyra referensstationer för SWEPOS.

5.1.2 Utrustning

Mätningarna har gjorts med en GPS-antenn av typ Trimble Zephyr samt två Trimble R7 (v. 2.01) med tillhörande fältdator (ACU) med mjukvaran Survey Controller (v. 11.20). Antennen Trimble Zephyr är en högprecisionsantenn med en låg effekt av flervägssignaler. Trimble R7 är en geodetisk mottagare med mycket hög inre

noggrannhet (www.trimble.com instrumentbeskrivningar). För korrektioner till Epos-tjänsten har en rundstrålande FM-antenn och Epos-mottagare av typ RXMAR 1 använts och till nätverks-DGPS-tjänsten har korrektioner mottagits via mobiltelefon och GPRS. Epos mottagaren ställdes med hjälp av programmet RTCM Win v. 3.2 in på att ta emot korrektioner från FM-sändaren i Västerås på 100,5 MHz.

5.1.3 Mätningar

RIX 95-punkten har kontrollerats med statisk mätning. Tre mätningar har gjorts av punktens position på mellan fem till sju timmar vardera. Positionerna för de tre mätningarna har sedan beräknats med SWEPOS beräkningstjänst och en position har beräknats genom ett viktat medelvärde av mätningarna.

För att DGPS-tjänsterna ska kunna jämföras med varandra har mätningarna med de båda tjänsterna gjorts simultant med två likadana fältutrustningar kopplade till samma antenn. Genom att mäta simultant kan fel vid olikheter i satellitgeometri, väderförhållanden, etc. uteslutas vid jämförelse av tjänsterna. Varje enskild mätning har skett under fem epoker med en elevationsgräns på 13 grader och PDOP-gräns 6. Mätningarna har utförts oberoende av varandra då mottagarna har stängts av och GPRS-modemet kopplats ner mellan varje mätning.

De båda tjänsterna jämförs under två olika förhållanden. Det ena under förhållandet som råder i södra Sverige, där stationsavståndet är ca 70 km och det andra under förhållandet som råder i norra Sverige, där stationsavståndet är ca 200 km. Vid det första förhållandet har samtliga referensstationer i SWEPOS-nätet använts. Vid det glesare förhållandet har situationen i norra Sverige simulerats genom att endast de fundamentala referensstationerna i SWEPOS-nätet har använts.

Ett färre antal mätningar har även gjorts för att simulera mätningar vid sämre satellittillgång. Simuleringen har gjorts genom att samtliga satelliter i norr, på en azimuth under ca plus/minus 90 grader från norr och en elevation under ca 30 grader, har tagits bort. Mätningar togs då det fanns sikt till fem sex satelliter. Vid endast sikt mot 4 satelliter togs inga mätningar. Mätningarna utfördes i det normala referensstationsnätet och visar ett ungefärligt förhållande då sikten till antennen är skymd från norr. Då signalen i verkligheten kan gå runt föremål, studsas eller tränga sig igenom träd till en viss del visar det här testet endast ett ungefärligt förhållande vid skymd sikt.

Resultatet av jämförelsen visas i avsnitt 6.1 samt appendix 1-3.

5.2 Mätmetodik för nätverks-DGPS

Då nätverks-DGPS under examensarbetet ännu var en prototyp-tjänst har ännu inte någon mätmetodik för tjänsten undersökts. I detta test har faktorerna av betydelsen av väntetiden, från det att instrumentet startas upp och korrektionsdata börjar tas emot i mottagaren till dess att mätningen påbörjas, samt betydelsen av mättiden för varje enskild mätning. Resultatet ligger till grund för den väntetid och mättid som används vid fältstudien av jämförelsen mellan nätverks-DGPS och Epos. Tester har endast gjorts med nätverks-DGPS-tjänsten, men mätmetodiken kommer att användas på samma sätt även med Epos-tjänsten

Faktorerna som har undersökts för att bestämma mätmetodiken är avvikelserna från sant värde i höjd och den radiellt i plan. Hänsyn har även tagits till antalet satelliter och satellitkonfigurationen vid loggningstillfället. Undersökningen har även innefattats av registrering av SNR (Signal to Noise Ratio), dvs. signal-brusförhållandet från satelliterna samt den horisontala och vertikala precisionen. SNR beskriver signalstyrkan i förhållande till bruset. Förhållandet mäts i dB och beräknas som:

$$SNR = 20 \log_{10} \left(\frac{S_s}{S_b} \right)$$

S_s = signal styrka (Volt)

S_b = brusets styrka (Volt)

Den horisontala och vertikala precisionen går att utläsa i fältdatorn under mätning och beskriver mottagarens inre precision. Precisionsvärdena är beräknade enligt följande:

$$\text{Horisontal precision} = HDOP \times RMS \times 3,0$$

$$\text{Vertikal precision} = VDOP \times RMS \times 3,0$$

RMS är RMS-lösningen för fasobservationer på L1 i meter där ca 70 % av positionsfixarna blir hittade. Precisionsvärdena är skalade till ett 99 % konfidensintervall genom att multipliceras med 3 (Trimble, 2001). HDOP (Horizontal Dilution of Precision) och VDOP (Vertical Dilution of Precision) är mått på satellitkonfigurationen horisontalt och vertikalt. RMS-lösningen beskriver enligt mottagarens referensmanul förhållandet vid fasobservationer, men genom erfarenhet från mätningar indikerar precisionsvärdena även mätresultatet vid kodmätning.

Mätningarna har utförts på taket till Lantmäteribyggnaden i Gävle under goda siktförhållanden åt samtliga håll och med samma antenn (Trimble Zephyr) samt med ett liknande instrument (mottagare: Trimble 5700 firmware v. 2.24, fältdator (ACU) med Survey Controller v. 11.10) som använts under fältstudien. Korrektioner har tagits emot via GPRS med mobiltelefon. NMEA-meddelanden för önskade undersökningsområden loggades i 10 minuters intervall.

Instrumentet stängdes av mellan varje loggning för att få oberoende mätresultat. Loggade NMEA-meddelanden är GGA, GSA, GST och GSV (se avsnitt 3.2).

Resultatet av undersökningen av mätmetodiken redovisas i avsnitt 6.2 och appendix 4.

5.3 Långtidsmätningar med nätverks-DGPS

I Norge har prestandan av nätverks-DGPS med DGPSNet (se avsnitt 2.3.2) undersökts genom att längre mätningar har gjorts. I den undersökningen analyserades hur stor betydelsen av avståndet till närmsta referensstation har på mätningen. Mätningarna gjordes på olika punkter i det norska referensnätet under längre tidsperioder, en del upp till tolv timmar (Statens Kartverk, 2005). För att möjliggöra en jämförelse med prestandan av nätverks-DGPS i Sverige och i Norge har två längre loggar av data gjorts på ca 12 respektive 9 timmar.

Mätningarna har skett genom att NMEA-meddelandena GGA, GSA och GST (se avsnitt 3.2) har loggats varje sekund. Samma instrument som vid testerna av mätmetodiken och en Ashtech Dorne Margolin T antenn har använts.

Vid analysen av resultatet undersöks förhållandet då alla observationer tas med samt förhållandet då samtliga observationer som gjorts vid ett PDOP-värde på över 6 tagits bort. Resultatet redovisas i avsnitt 6.2 och appendix 5-7.

6 Resultat och diskussion

Medelvärde, standardavvikelse och RMS (root mean square) har beräknats för longitud, latitud och höjd för samtliga mätningar, samt största avvikelse från sant värde i höjd och radiellt i plan för 68 % respektive 95 % av mätningarna. Ett signifikanstest görs för avvikelserna i longitud, latitud och höjd för att undersöka om systematiska fel kan förekomma (se kapitel 4).

6.1 Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS

6.1.1 Resultat av jämförelse mellan Epos och nätverks-DGPS

I undersökningen har 420 mätningar gjorts i det täta SWEPOS-nätet, 380 mätningar i det glesa referensnätet samt 120 mätningar vid färre satelliter. Inga outliers (grova fel) har observerats bland mätningarna och därför har samtliga mätningar tagits med i beräkningarna av resultatet.

I tabell 6.1 redovisas resultatet från undersökningen. Det framkommer tydliga skillnader mellan de båda tjänsterna, där nätverks-DGPS visar betydligt bättre prestanda i både plan och höjd under alla tre mätförhållandena. I resultatet av mätningarna gjorda med de båda tjänsterna kan utläsas att vid mätningar i ett tätt SWEPOS-nät kan man förvänta en maximal avvikelse för 95 % av mätningarna på drygt 3 dm i plan och 6 dm i höjd för nätverks-DGPS och 8-9 dm i plan och drygt 10 dm i höjd för Epos. Vid jämförelsen då nätverks-DGPS mättes i ett glesare SWEPOS-nät, erhöles för 95 % av mätningarna en maximal avvikelse på 4 dm i plan och 6 dm i höjd. Detta visar att avvikelsen vid mätning i ett glesare SWEPOS-nät inte försämrar mätningens noggrannhet markant för nätverks-DGPS. De mätningar som utförts då antalet satelliter reducerats, har på 95 %-nivån en avvikelse på 5 dm i plan och 10 dm i höjd för nätverks-DGPS och 10 dm i plan och 17 dm i höjd för Epos. Undersökningen visar att mätningarnas noggrannhet inte försämras avsevärt i plan vid skymd sikt, särskilt inte Epos där avvikelserna har ökat en knapp decimeter. I höjd har avvikelserna ökat mer, men Epos ligger fortfarande under sin specificerade noggrannhet på 2 meter.

Signifikanstestet (se kapitel 4) som gjorts på en 5 % risknivå för avvikelserna i longitud, latitud och höjd för båda tjänsterna under de tre olika förhållandena visar att systematiska fel endast kan uteslutas i latitud vid mätning med nätverks-DGPS i ett tätt SWEPOS-nät samt i latitud vid mätning med Epos där en reduktion av satelliter har gjorts. Skillnaderna är dock inte så stora att testen kan anses tillräckligt tillförlitligt för att systematiska fel helt ska kunna uteslutas.

Tabell 6.1: Resultat av mätningar i tätt och glest SWEPOS-nät samt vid mätning med reducering av antalet satelliter. Samtliga värden är angivna i mm.

		Tätt SWEPOS-nät		Glest SWEPOS-nät		Reduktion av satelliter	
		Nätverks-DGPS	Epos	Nätverks-DGPS	Epos	Nätverks-DGPS	Epos
Avvikelse på 68 %-nivån	Plan	186	643	235	616	352	454
	Höjd	238	416	267	453	583	748
Avvikelse på 95 %-nivån	Plan	341	938	423	793	520	974
	Höjd	616	1036	600	1054	951	1688
Medelvärde	Longitud	-21	-408	-47	-376	-12	-141
	Latitud	-5	257	-37	182	48	-2
	Plan	22	483	60	418	49	141
	Höjd	144	-58	70	58	112	525
Standardavvikelse	Longitud	119	254	145	223	172	288
	Latitud	145	221	160	193	276	377
	Plan	188	337	216	295	325	475
	Höjd	266	491	293	514	505	685
RMS	Longitud	120	480	152	437	171	320
	Latitud	145	339	164	236	279	376
	Plan	188	588	224	497	327	494
	Höjd	302	494	301	516	515	861

Resultatet av denna undersökning bygger endast på mätningar gjorda på en punkt med goda siktförhållanden och med ett geodetiskt instrument med mycket hög inre noggrannhet samt en högprecisionsantenn. Även om mätningarna är gjorda under sämsta förhållande med avseende på baslinje har övriga mätförhållandena varit optimala. Vid mätning med ett mer normalt instrument för mätningar med DGPS kan en lägre noggrannhet förväntas. Denna undersökning visar därför mer skillnaderna i prestanda mellan Epos och nätverks-DGPS än den prestanda en normal användare bör förvänta sig.

I en tidigare undersökning (Rönnberg, 2001) jämfördes Epos med andra DGPS-tjänster. Denna undersökning anger för 95 % av mätningarna en maximal avvikelse på 9 dm i plan och 15 dm i höjd. Undersökningen gav alltså ungefär samma avvikelse i plan som den här undersökningen men betydligt högre avvikelse i höjd. I Rönnbergs undersökning gjordes varje mätning i 15 minuter där positionsdata lagrades varje sekund. Loggningen av positionsdata gjordes även av Rönnberg i terräng med fri sikt. Orsaken till att avvikelsen i höjd skiljer sig markant från denna undersökning beror troligen på skillnader i de använda GPS-mottagarna och mätmetodik.

Ahrenberg och Olofsson (2005) undersökte nätverks-DGPS och fick för 95 % av mätningarna en avvikelse på knappt 8 dm i plan och 16 dm i höjd. Skillnaden i avvikelse mellan Ahrenberg och Olofssons undersökning med denna beror på att deras undersökning byggde på data insamlade på platser både med fri sikt och där sikten är skyddad. De använde sig även av en mottagare (Trimble GeoXT) med lägre noggrannhet än vad som använts i denna undersökning.

Anmärkningsvärt är att Epos-tjänsten ser ut att ha ett systematiskt fel i plan vilket också tydligt ses i signifikanstestet. Felet gör dock inte att avvikelserna överstiger noggrannhetsangivelsen för tjänsten. Det systematiska felet kan utläsas i tabell 6.1 samt appendix 1-3 där medelvärden som anger avvikelsen av de mätta värdenas medelvärde i förhållande till det sanna värdet ligger runt 5 dm i plan. Medelvärdena i höjd ligger betydligt bättre runt de sanna värdena, därav gav för 68 % av mätningarna en avvikelse på 2 dm mer i plan än i höjd. Orsaken till det systematiska felet är dock inte undersökt i denna rapport men kan bero på att avståndet till den referensstationen som korrektionerna har beräknats från har varit långt och att felet kan vara avståndsberoende. Positionen för referensstationen kan ha haft en annan atmosfär och jonosfär vid mättillfället och korrektionerna har därför inte varit optimerade för den atmosfär och jonosfär som existerat på mätplatsen. Mätningarna är även endast gjorda under dagtid och under tio dagar i sträck, vilket kan ha medfört att atmosfären kan ha varit liknande vid alla mättillfällen.

6.1.2 Resultat av statisk inmätning av referenspunkten

Resultatet från den statiska inmätningen av den punkt som används som referenspunkt i undersökningen, ger att avvikelsen av positionen vid den statiska mätningen inte avviker signifikant från den position som angivits i punktbeskrivningen i RIX 95-arkivet. Avvikelsen är 9 mm i plan och 50 mm i höjd i SWEREF 99. Då punkten är markerad med ett järnrör i berg antas markeringen inte ha flyttats. Koordinaterna som anges i punktbeskrivningen för RIX 95-punkten har använts som sanna värden.

6.2 Resultat av undersökning av mätmetodik

Mätmetodiken i denna undersökning har endast syftat på den väntetid från det att korrektioner börjar tas emot till det att en mätning bör påbörjas, samt hur lång tid varje mätning bör göras. Undersökning av PDOP-mask etc. har inte undersökt.

Undersökningen bygger endast på ett fåtal mätningar och endast under goda siktförhållanden. Mätningarna har gjorts i tio minuters intervall där positionsdata har loggats varje sekund. Grafer från mätningarna presenteras i appendix 4 där de första 3 minuterarna av varje loggning är presenterade. Graferna visar avvikelsen i höjd (i mm) och den radiella avvikelsen i plan (i mm) samt den vertikala och horisontala precisionen. Två av loggningarna har uteslutits ur undersökningen. Vid den ena av de borttagna loggningarna skedde ett satellithopp i början av loggningen, vilket utgjorde ett stort hopp i mätningen och är därför inte relevant för undersökningen. Den andra borttagna loggningen hade ett PDOP värde på 11 vilket gav avvikelser på 1,5 m i plan och 4 m i höjd. En mätning skulle inte göras under sådana omständigheter och tog därför bort.

Genom att studera de faktorer som undersökts i detta test har inga indikationer på att en viss väntetid före mätning behövs för att positionen ska stabiliseras. I några av loggningarna ser det ut som att positionen stabiliseras, men tittar man på en längre tidsserie ändras positionerna igen. Det går inte heller att utläsa något mönster i när positionen ändras inom en och samma mätning. Stora skillnader i positionen kan utläsas beroende av satellitkonstellationen. De loggningar då PDOP är lågt har en betydligt lägre avvikelse och positionen hålls även mer stabil under hela loggningen, särskilt i höjd. Den horisontala och vertikala precisionen, som kan utläsas på instrumentet, ger en viss antydning på hur noggrann mätningen blir, men kan inte användas som en referens när en mätning bör påbörjas. Precisionstalen ger även en bra indikation av HDOP och VDOP, vilket kan vara bra i de fall då HDOP och VDOP skiljer sig markant från varandra. Signal/brusförhållandet gav inte heller någon antydning på hur lång tid man bör vänta för en mätning. Däremot syns

tydligt att bruset är avsevärt större vid låga elevationer än vid höga, beroende bl.a. på att troposfärsrefraktionen är högre för lägre satelliter.

Genom beräkningar av standardavvikelse och noggrannhet för olika tidsintervall och vid olika starttider efter att korrekationer börjar tas emot, finns inget som pekar på att en längre mättid ger en bättre position vid normala mättider. Positionen ändrar sig under längre tidsintervall men inte betydande under korta perioder som vid en mätning på under en minut.

Resultatet från undersökningen av mätmetodikerna användes vid jämförelsen av Epos och nätverks-DGPS, även om undersökningen endast innefattat tester med nätverks-DGPS. Med anledning av resultatet från undersökningen av mätmetodikerna användes ingen speciell väntetid före mätning vid fältmätningarna. Mätning gjordes under 5 epoker vilket är Trimbles ”default värde” för mottagaren. En elevationsgräns på 13 grader används för att minska effekten av bruset från satelliter på en mycket låg elevation samt en PDOP-mask på PDOP 6.

Under fältmätningen noterades att vid mätning med nätverks-DGPS kan det dröja, från några sekunder till en halv minut, innan PDOP-masken börjar fungera och satelliterna får den korrekta satellitkonstellation som råder. Problemet har endast uppstått vid mätning med nätverks-DGPS och inte med Epos och uppkommer vid ca 10-20 procent av mätningarna. Orsaken till detta är inte utredd men kan bero på att RTCM-meddelandet 59 som innehåller nätverkskorrektionen för mätning med VRS endast skickas var 9 sekund. En rekommendation är därför att vänta 15-30 sekunder innan mätningen påbörjas.

6.3 Resultat från långtidsmätningar

Från de två längre mätningarna på ca 14 respektive ca 7 timmar har prestandan för nätverks-DGPS beräknats. Inga outliers (grova fel) har noterats eller tagits bort från beräkningarna. Kvalitetstalen har beräknats under två förhållanden, både under förhållandet då alla mätningar har tagits med, samt under förhållandet med ett maximalt PDOP-värde på 6. Vid mätningen på 7 timmar gjordes inga observationer då PDOP var under 6, därav har ingen reducering av data utförts.

Största avvikelse i plan och höjd för 68 % respektive 95 % mätningarna samt hur många procent av mätningarna vars avvikelse är mindre än 0,5 m i plan och 1 m i höjd presenteras i tabell 6.2 och appendix 5-7. I tabellen kan utläsas en maximal avvikelse för 95 % av mätningarna på ca 7-9 dm i höjd och 2-4 dm i höjd. Andelen mätningar som är mindre än 0,5 m i plan och 1 m i höjd är 98,0-99,8 respektive 96,5-98,3 %.

Tabell 6.2: Största avvikelser på 68 %- resp. 95 %-nivån i mm, samt andel observationer mindre än 0,5 m i plan och 1 m i höjd.

	Plan (14h)	Höjd (14h)	Plan (14h) red	Höjd (14h) red	Plan (7h)	Höjd (7h)
68 %-nivå	213	414	216	384	146	280
95 %-nivå	368	922	339	809	228	656
Andel obs < 0,5 m	98,0 %		99,8%		99,6 %	
Andel obs < 1 m		96,5 %		99,4 %		98,3 %

Medelvärde, standardavvikelse och RMS för longitud, latitud, radiellt i plan och höjd presenteras i tabell 6.3 nedan. Diagram för avvikelserna i plan och höjd presenteras i appendix 5-7. Tabellen visar både en standardavvikelse och RMS på under 2 dm i plan och 4 dm i höjd. Signifikanstestet för avvikelserna i longitud, latitud och höjd visar att systematiska fel inte kan uteslutas med en 5 % risknivå.

Tabell 6.3: Medelvärde, Standardavvikelse och RMS för samtliga mätningar. Samtliga värden anges i mm.

		14 timmars	14 timmars logg	7 timmars logg
Medelvärde	Latitud	-28	-37	19
	Longitud	35	39	-6
	Plan	45	54	20
	Höjd	104	130	68
Standardavvikelse	Latitud	157	185	101
	Longitud	98	101	101
	Plan	185	211	143
	Höjd	382	454	338
RMS	Latitud	160	188	102
	Longitud	104	108	101
	Plan	191	217	144
	Höjd	395	473	345

De längre loggningarna visar liknande avvikelser för 95 % av mätningarna som vid mätningarna som gjorts med normal mätmetodik, där varje mätning är gjord i 5 epoker och positionen är

beräknad i mottagaren. Detta visar att längre mätningar inte ger en signifikant bättre avvikelse än kortare mätningar. Längre mätningar påverkas stort av satellithopp. Då en satellit försvinner, ökar avvikelsen markant, särskilt i höjd. En mätning kan därför inte ses som tillförlitlig under ett sådant förhållande. Detta kan utläsas ur graferna i appendix 5-7.

I det norska testet av nätverks-DGPS med DGPSNet har avståndsberoendet av referensstationerna jämförts. Tjänsten prestanda redovisades som andelen observationer med avvikelser under 0,5 m i plan och 1 m i höjd. Loggningsserierna visar resultat på mellan 89,4 % och 100 % i plan och mellan 87,94 % och 100 %. De sämre värdena har fått då ett annat instrument än det som använts i detta test och då baslinjerna till närmsta mottagare varit långt. Loggningarna av positionsdata har i detta test gjorts från en av SWEPOS-stationerna. Tittar man på de loggningar av data som gjorts i det norska testet, där mycket kort baslinje till närmsta referensstation har förekommit och liknande instrument använts visar det att minst 99,5 % av avvikelserna är mindre än 0,5 meter i plan och 1 meter i höjd. Detta visar på något bättre positionsmätningar än i det svenska testet. Det norska testet visar även på ett RMS-värde på någon decimeter lägre än det svenska. Denna undersökning bygger på mycket få observationer och systemens prestanda visar inte på så pass stora olikheter att någon slutsats kan dras att det finns någon skillnad. Det norska testet visar på något mindre avvikelser än det svenska men inget avgörande som bevisar en skillnad mellan systemen.

7 Slutsats och förslag till framtida studier

7.1 Slutsats

Resultatet av undersökningen visar att mätning med nätverks-DGPS ger en betydligt bättre noggrannhet både i plan och i höjd än vid mätning med Epos. I plan uppvisar dock mätningarna med Epos en systematisk avvikelse. Nätverks-DGPS kostar dock mer och har något sämre täckning, speciellt i fjälltrakterna. Då nätverks-DGPS prestanda är högre än för Epos kan man få en bättre noggrannhet i de områden med skymd sikt, där man inte kan mäta med RTK. Om mätningen med nätverks-DGPS görs i ett tätt eller glest nät har en mindre betydelse på noggrannheten.

Undersökningen har inte kunnat påvisa att en viss väntetid innan mätning bör användas vid mätning med nätverks-DGPS under goda siktförhållanden. Vissa problem har dock uppkommit, där satellitkonfigurationen haft problem att stabiliseras i instrumentet vid uppstartning. En väntetid på ca 15-30 sekunder är därför att rekommendera. Mättiden påverkar inte resultatet markant vid

mätning under goda siktförhållanden. Tiden rekommenderas därför till instrumentleverantörens rekommenderade mättid. Ingen undersökning har gjorts vid sämre siktförhållanden.

De längre loggningarna av positionsdata med nätverks-DGPS visar i jämförelse med test av nätverks-DGPS i Norge att systemen fungerar förhållandevis lika. Den norska undersökningen visar något bättre prestanda men skillnaden mellan undersökningarna är inte signifikant.

7.2 Förslag till framtida studier

En fortsättning av jämförelsen av Epos och nätverks-DGPS kan vara att undersöka tjänsterna på andra platser med olika baslinjer samt olika siktförhållanden. Undersökningen har endast gjorts med en geodetisk tvåfrekvensmottagare. Mätningar med en mottagare som vanligare används vid mätning med DGPS bör användas för att få fram prestandan för tjänsterna som en normal användare kan förvänta sig.

En undersökning av orsaken till det systematiska felet i Epos-tjänsten kan utföras genom längre loggningar av data under hela dygn och under olika dagar. Mätningar kan även göras på olika avstånd från referensstationen för att se om felet är avståndsberoende.

Orsaken till att PDOP-masken inte fungerar direkt då korrektionerna börjar tas emot vid nätverks-DGPS borde få en förklaring.

Referenser

- Ahrenberg M och Olofsson A (2005), En noggrannhetsjämförelse mellan nätverks-RTK och nätverks-DGPS, LMV-rapport 2005:03, Gävle
- Cartesia, Så fungerar Epos, www.cartesia.se, senast besökt 2006-01-20
- Cartesia, Så används Epos, www.cartesia.se, senast besökt 2006-01-20
- Engfeldt A och Jivall L (2003), Så fungerar GNSS, LMV-rapport 2003:10, Gävle
- Fan H (2003), Theory of Errors and Least Squares Adjustment, Stockholm
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J (2001), GPS Theory and Practice, Wien-New York
- Landau H, Vollath U, Chen X (2002), Virtual Reference Station Systems, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 1, No. 2
- Lenz E (2004), Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)-Application and Benefit in Modern Surveying Systems
- National Marine Electronics Association www.nmea.org, senast besökt 2006-02-25
- Radio Technical Commission for Maritime Services, www.rtcn.org, senast besökt 2006-02-25
- Rönnerberg A (2001), Undersökning av tjänster för differentiell GPS, LMV-rapport 2001:10, Gävle
- Seber G (2003), Satellite Geodesy, Berlin-New York
- Sjöberg L E (1998), Positionsbestämning med GPS, KTH, Stockholm
- Sjöfartsverket (2003), Radionavigeringsplan för Sverige 2003
- Statens Kartverk (2005), DGPSNet test av ulike RTCM generatorer, Internt PM Statens Kartverk, Hønefoss
- Trimble (2001), Trimble Survey Controller Reference manual, Vol. 1
- Trimble (2005a), GPSNet Software Technical notes, www.trimble.com, senast besökt 2006-01-31
- Trimble (2005b), Support of network formats by Trimble GPSNet network for RTK Solution, www.trimble.com senast besökt 2006-01-31
- Trimble (2005c), Trimble R7/R8 GPS Receiver, User Guide
- Trimble (2005d), Trimble Virtual Reference Station (VRS) System, www.trimble.com senast besökt 2006-01-31

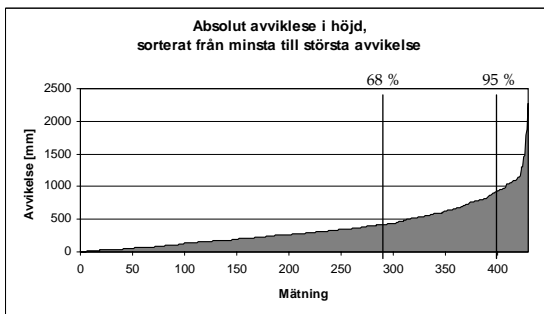
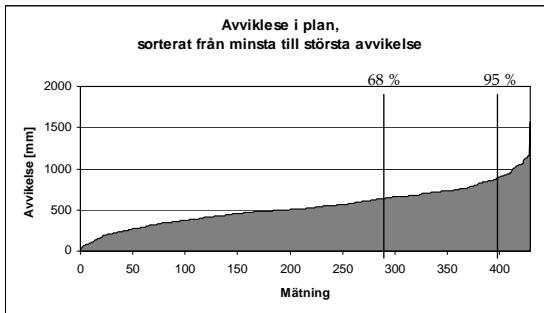
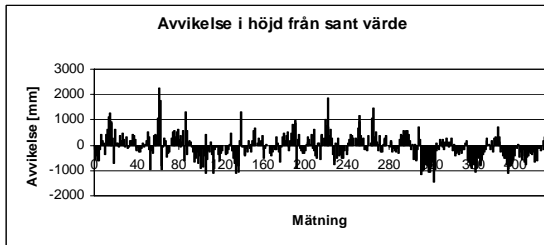
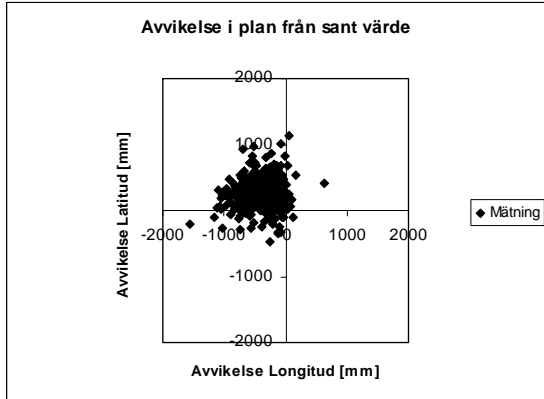
Appendix

1. Avvikelse i plan och höjd för Epos och nätverks-DGPS vid mätning med i tätt SWEPOS-nät.
2. Avvikelse i plan och höjd för Epos och nätverks-DGPS vid mätning med i glest SWEPOS-nät
3. Avvikelse i plan och höjd för Epos och nätverks-DGPS vid mätning med reducering av antalet satelliter.
4. Loggningar för undersökning av mätmetodik för nätverks-DGPS
5. Avvikelser i höjd och plan vid 12 timmars loggningen med nätverks-DGPS.
6. Avvikelser i höjd och plan vid 12 timmars loggningen med nätverks-DGPS, då informationen är rensad
7. Avvikelser i höjd och plan vid 9 timmars loggningen med nätverks-DGPS.

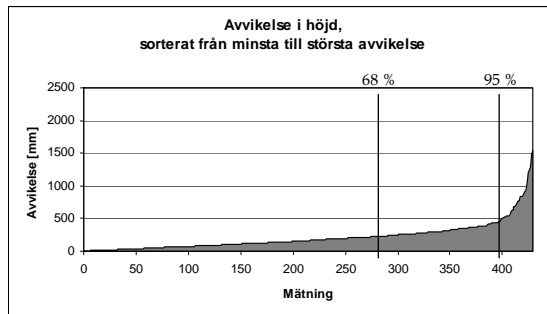
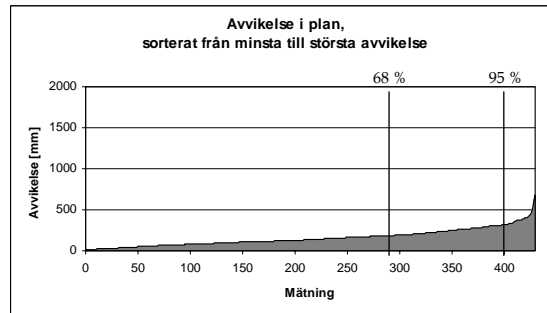
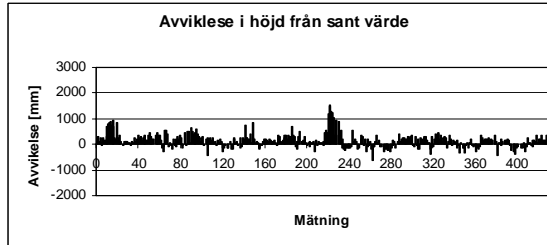
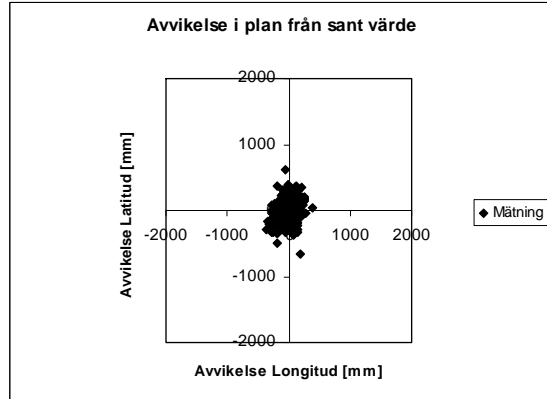
Appendix 1

Avvikelse i plan och höjd för Epos och nätverks-DGPS vid mätning med i tätt SWEPOS-nät.

Epos



Nätverks-DGPS

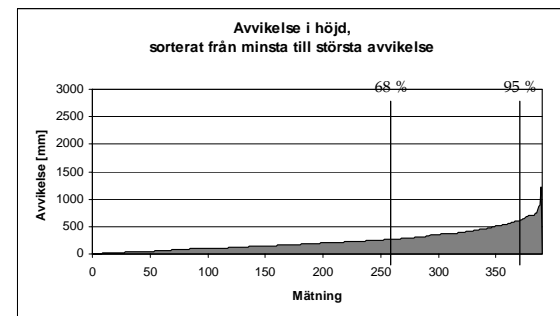
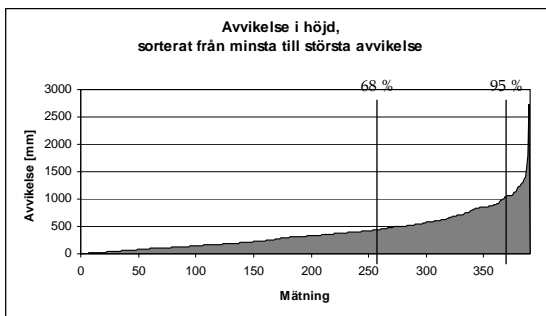
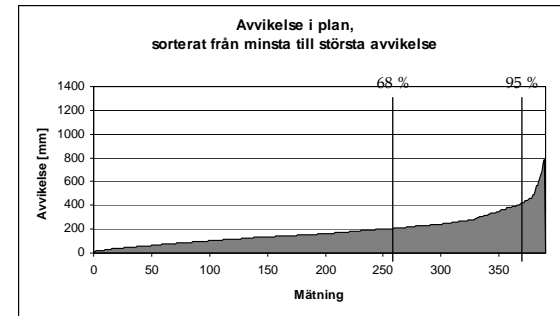
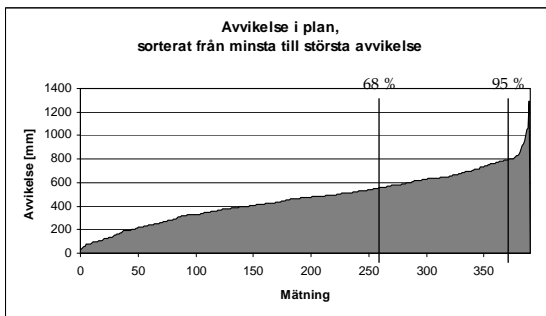
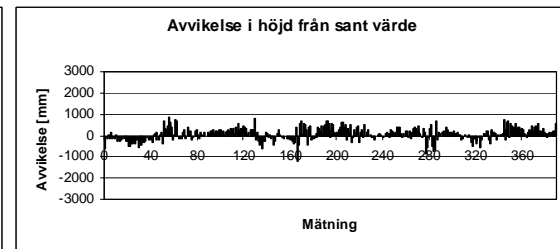
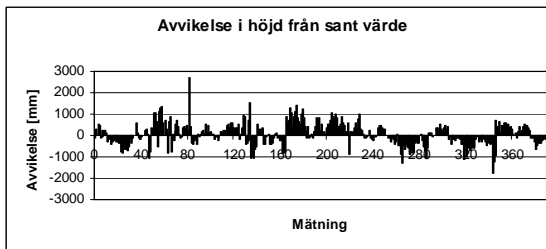
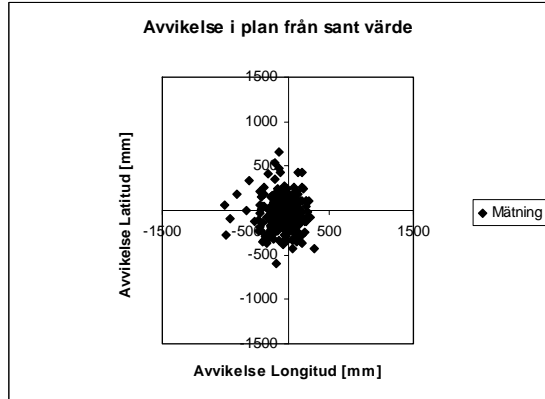
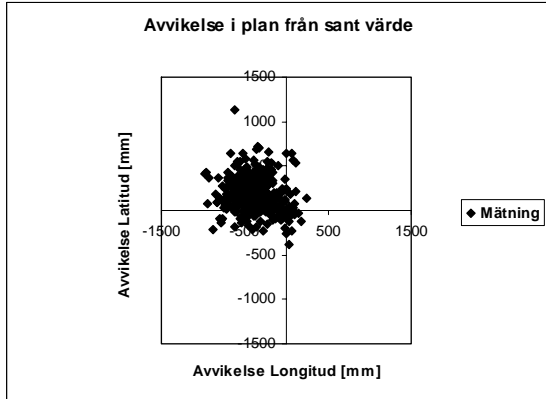


Appendix 2

Avvikelse i plan och höjd för Epos och nätverks-DGPS vid mätning i glest SWEPOS-nät.

Epos

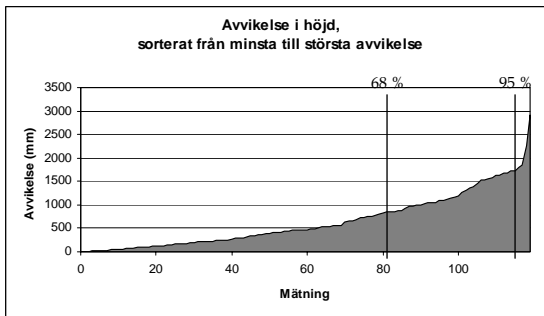
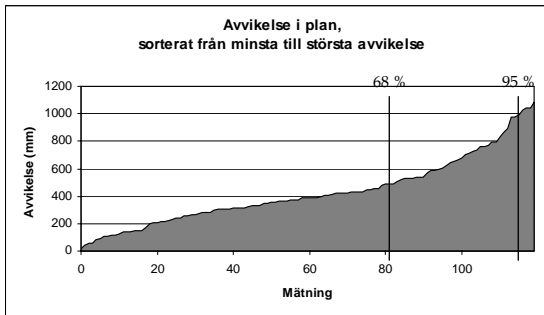
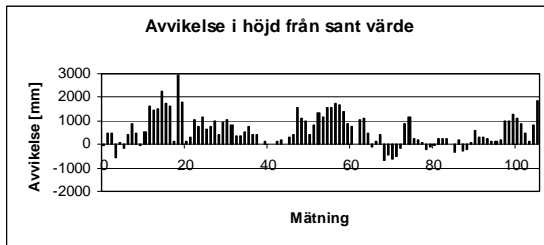
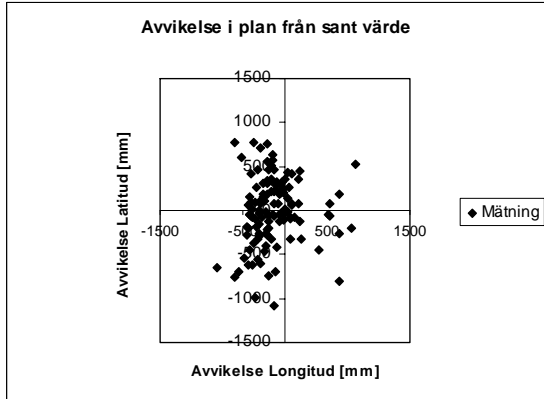
Nätverks-DGPS



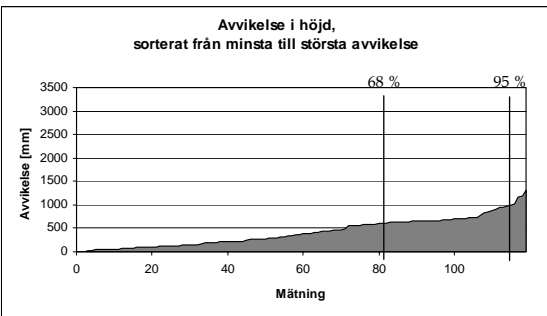
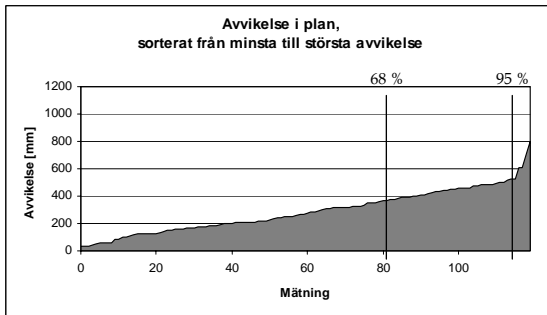
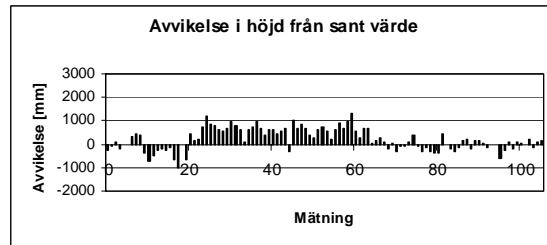
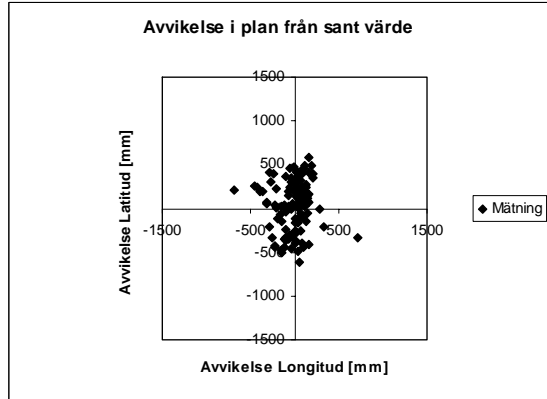
Appendix 3

Avvikelse i plan och höjd för Epos och nätverks-DGPS vid mätning med reducering av antalet satelliter.

Epos



Nätverks-DGPS

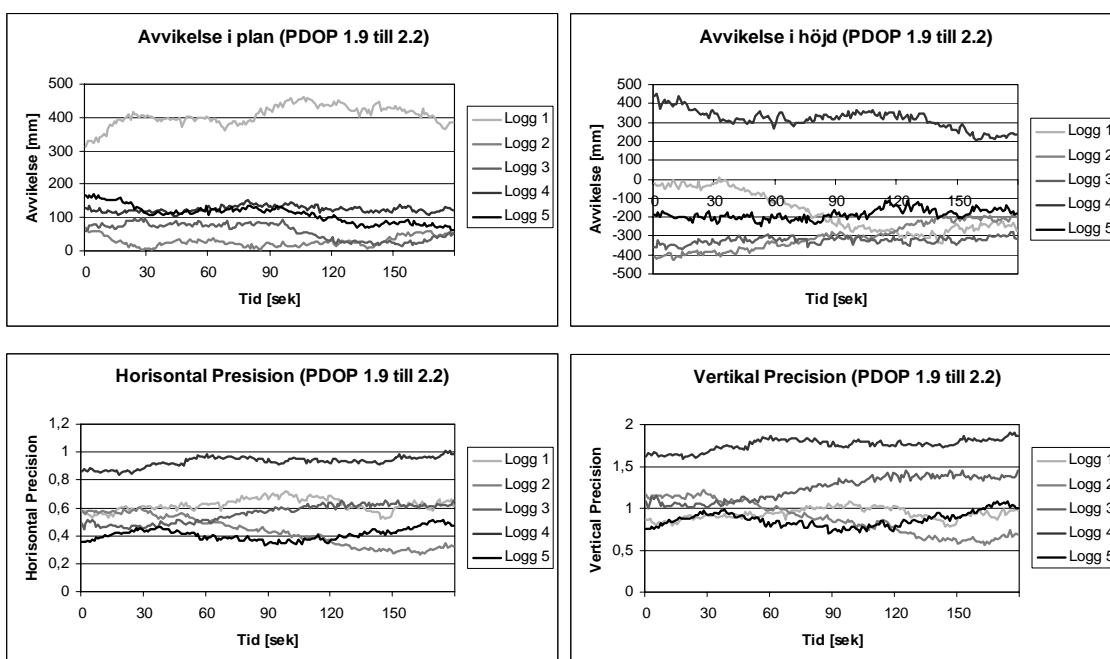


Appendix 4

Loggningar för undersökning av mätmetodik för nätverks-DGPS

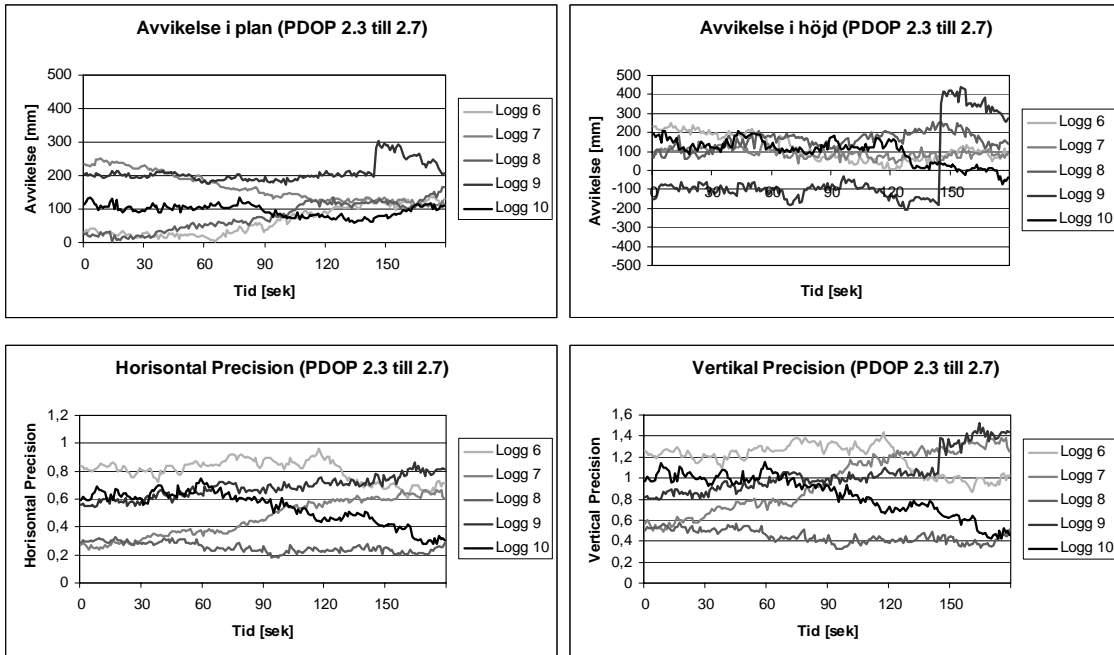
Resultatet av mätningarna gjorda för undersökning av mätmetodik för nätverks-DGPS. Graferna visar avvikelserna i plan och höjd samt den horisontala och vertikala precisionen. Loggarna är grupperade i för PDOP 1,9 till 2,2, PDOP 2,3 till 2,7 och PDOP 3,1 till 4,7. Tabellen visar tillhörande information för loggarna.

PDOP 1.9 till 2.2



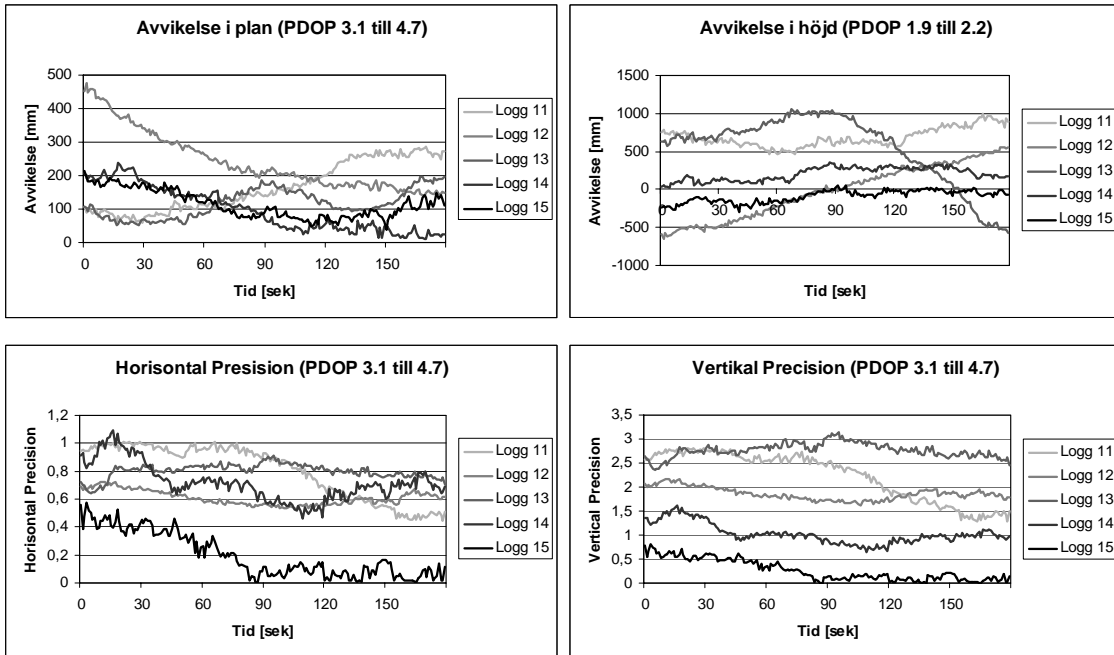
Logg	SVs	PDOP	HDOP	VDOP
1	6	2,5	1,4	2,1
2	7	2,2	1,2	1,8
3	8	2,1	0,9	1,8
4	9	2,2	0,9	2
5	8	1,9	0,9	1,7

PDOP 2.3 till 2.7



Logg	SVs	PDOP	HDOP	VDOP
6	8	2,1	0,9	1,9
7	7	2,5	1,1	2,3
8	7	2,5	1,2	2,1
9	7 (6)	2,3 (3,5)	1,3 (1,7)	1,9 (3,0)
10	6	2,7	1,5	2,3

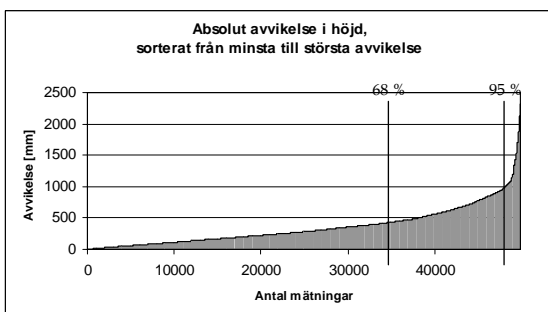
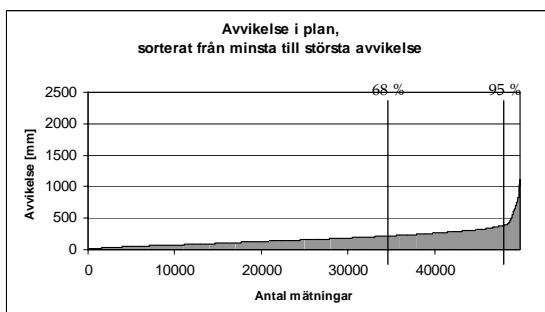
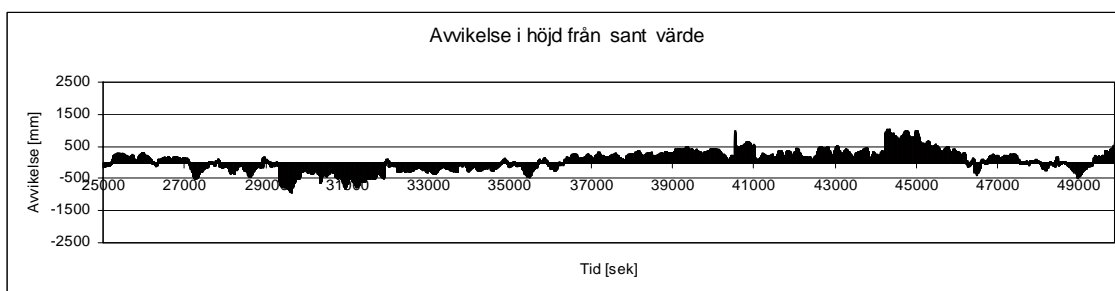
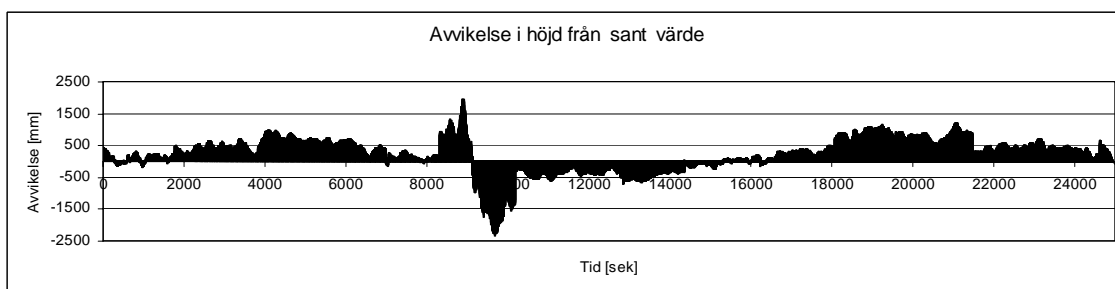
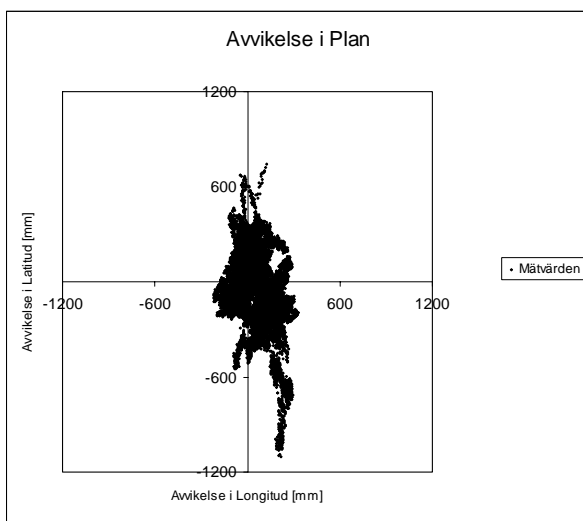
PDOP 3.1 till 4.7



Logg	SVs	PDOP	HDOP	VDOP
11	7	4,1-4,7	4-4,8	3,8-4,4
12	8	3,1-3,3	1	3-3,2
13	8	4,6	1,3	4,5
14	6	3,8	2,2	3,1
15	5	3,8	2,2	3

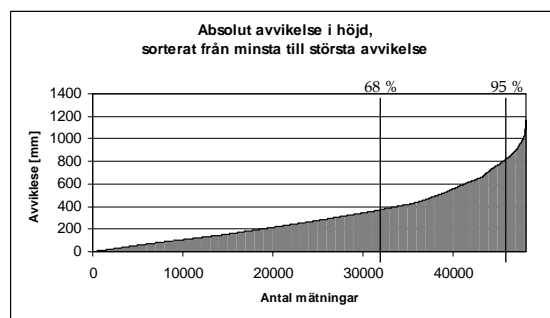
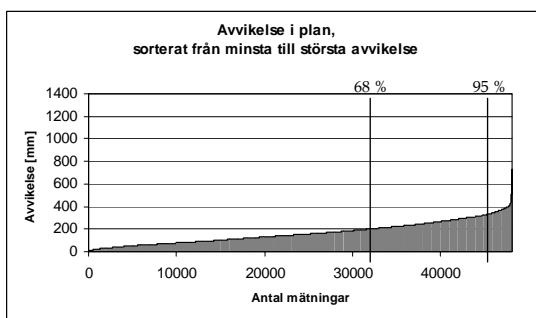
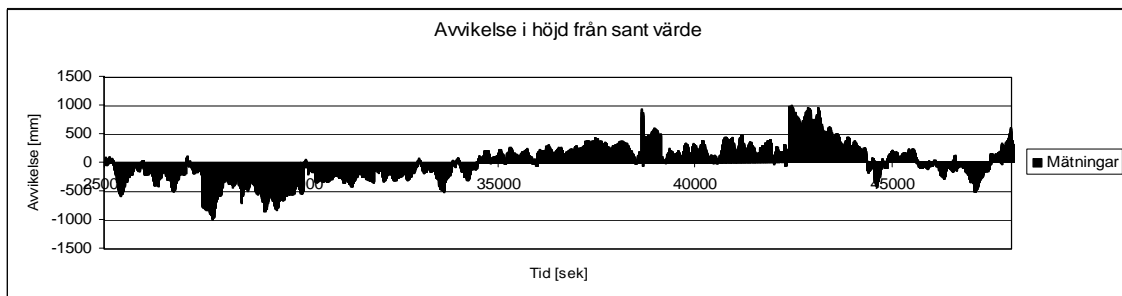
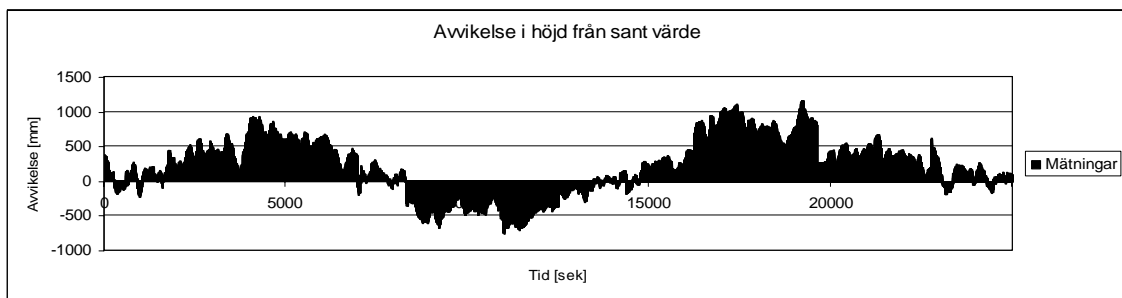
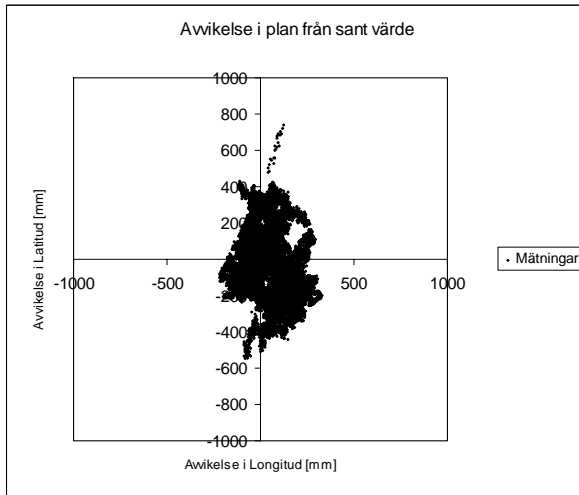
Appendix 5

Avvikelser i höjd och plan vid 14 timmars loggning med nätverks-DGPS.



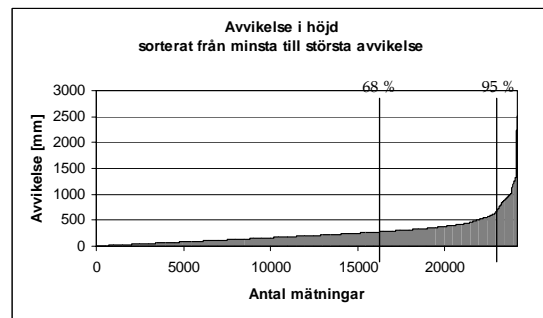
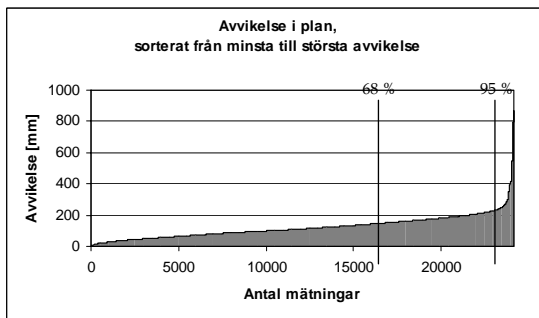
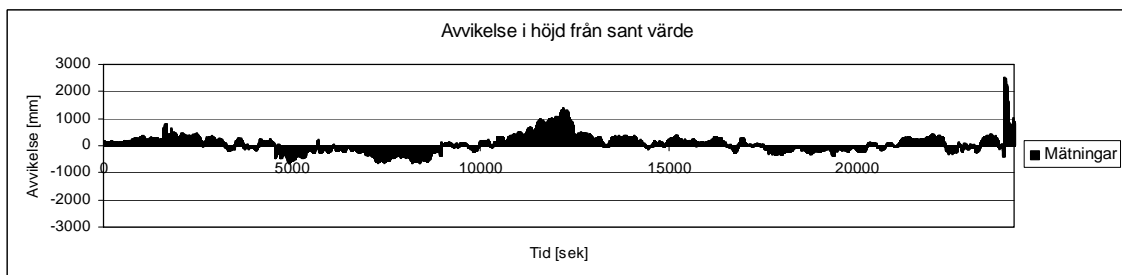
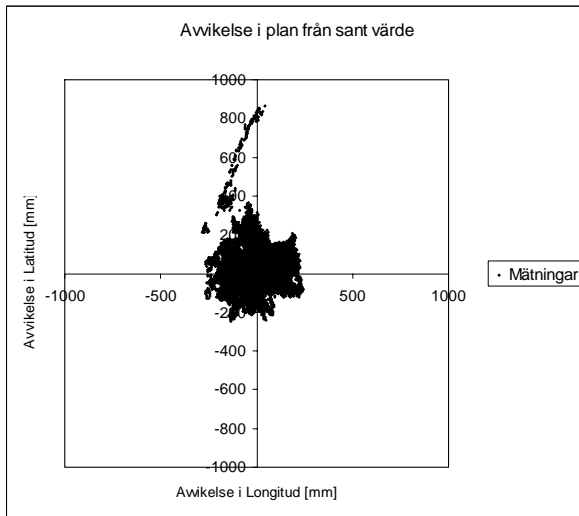
Appendix 6

Avvikelser i höjd och plan vid 14 timmars loggning med nätverks-DGPS där alla observationer då PDOP är större än 6 är bortreducerade.



Appendix 7

Avvikelser i höjd och plan vid 7 timmars-loggningen.



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2003:10 Engfeldt Andreas & Jivall Lotti: Så fungerar GNSS.
- 2003:11 Alm Malin & Munsin Anna-Stina: Traditionell RTK kontra nätverks-RTK - en noggrannhetsjämförelse.
- 2003:12 Jonsson Albert & Nordling Anders: Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät.
- 2004:1 Peterzon Martin: Distribution of GPS-data via Internet.
- 2004:4 Andersson Maria: Deformationer av fasta geometrier - en metodstudie.
- 2004:7 Valdimarsson Runar Gisli: Interpolationsmetoder för restfelshantering i höjddled vid höjdmätning med GPS.
- 2004:11 Kempe Christina: Väst-RTK - nätverks-RTK i produktionstest i västra Sverige.
- 2004:12 Johansson Daniel: SKAN-RTK - 2 - nätverks-RTK i produktionstest i södra Sverige.
- 2004:13 Wiklund Peter: "Position Stockholm-Mälaren - 2" - nätverks-RTK i produktionstest.
- 2004:16 Andersson Therese & Torngren Julia: Traditionell RTK och nätverks-RTK - en jämförelsestudie.
- 2005:3 Ahrenberg Magnus & Olofsson Andreas: En noggrannhetsjämförelse mellan nätverks-RTK och nätverks-DGPS.
- 2005:4 Jämtnäs Lars & Ahlm Linda: Fältstudie av Internet-distribuerad nätverks-RTK.
- 2005:5 Engfeldt Andreas (ed.): Network RTK in northern and central Europe.
- 2005:7 Jivall Lotti, Lidberg Martin, Nørbech Torbjørn, Weber Mette: Processing of the NKG 2003 GPS campaign.
- 2005:8 Eriksson Merja & Hedlund Gunilla: Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS.
- 2006:2 Norin Dan, Engfeldt Andreas, Johansson Daniel, Lilje Christina: Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst
- 2006:3 Klang Dan & Burman Helén: En ny svensk höjddmodell laserskanning, Testprojekt Falun.
- 2006:4 Klang Dan: KRIS-GIS® projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdd modeller.

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