

Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK

– virtuell referensstation kontra
nätverksmeddelande

Examensarbete av
Daniel Johansson & Sören Persson

Gävle 2008

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2008-08-19

Författare Daniel Johansson & Sören Persson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 54

LMV-Rapport 2008:4 – ISSN 280-5731

Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK

– virtuell referensstation kontra
nätverksmeddelande

Examensarbete av
Daniel Johansson & Sören Persson

Gävle 2008

L A N T M Ä T E R I E T



Förord

Detta examensarbete på C-nivå avslutar vår utbildning på Geomatikprogrammet med inriktning mot mätningssingenjör vid Högskolan i Gävle. Arbetet har utförts på uppdrag av Geodesienheten på Lantmäteriet i Gävle.

Vi vill tacka våra förträffliga handledare på Lantmäteriet, Dan Norin och Tomas Holmberg, för förstklassig vägledning och samarbete under vårt examensarbete, samt vår handledare Linda Ahlm på Högskolan i Gävle.

Vi vill också rikta vår tacksamhet till Bo Jonsson, Stefan Öberg, Gunnar Hedling, Lars Jämnäs och övrig personal på Geodesienheten och SWEPOS-driften för hjälp, råd och stöd under den trevliga tid vi hade på Lantmäteriet.

Gävle, juni 2008

Daniel Johansson

Sören Persson

Sammanfattning

Vid användning av nätverks-RTK behöver driftcentralen kommunicera med användarens GNSS-mottagare på ett effektivt sätt oberoende av fabrikat. Av den anledningen finns ett standardiserat format för överföring av data som är utvecklat av The Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM). 2006 publicerades version 3.1 som stödjer utsändning av s.k. nätverksmeddelande som innebär att komprimerade observationsdata skickas till mottagaren för beräkning av korrektioner. För att bestämma GNSS-mottagarens position används i dag till största delen tekniken med virtuell referensstation (VRS). Denna teknik används bland annat av SWEPOS som driver en nätverks-RTK-tjänst i Sverige. VRS-tekniken kräver att mottagarens position genom tvåvägskommunikation ska skickas till driftcentralen, där huvuddelen av beräkningarna sker. Nätverksmeddelande har inte funnits i tidigare versioner av RTCM-standarden, men införandet av dem innebär bland annat att korrektioner kan skickas med envägskommunikation och att större delen av beräkningarna kan göras i mottagaren.

Syftet med studien är att göra jämförelser mellan VRS och RTCM 3.1 nätverksmeddelande, med avseende på bland annat mätkvalitet och initialiseringstider. I studien ingick även att undersöka behovet av nätverksmeddelande och hur tekniken fungerar under förflyttning.

I studien användes GNSS-mottagare från Leica och Trimble för att göra upprepade mätningar med dels VRS och dels RTCM 3.1 nätverksmeddelande med s.k. automatisk respektive statisk konfiguration. Statisk konfiguration användes i två olika nät med olika s.k. masterstationer. Ett med SWEPOS-stationen Gävle och ett med SWEPOS-stationen Leksand som masterstation. Totalt 1200 mätningar utfördes på tre väl inmätta punkter under 12 dagar. Vid varje mätning registrerades tiden till fixlösning och mätt position. Mätvärdena bearbetades därefter och analyserades med statistiska metoder.

Resultaten visade bland annat att initialiseringstiden för nätverksmeddelande är något längre än för VRS och att det inte finns någon större skillnad i kvalitetstalen mellan VRS och nätverksmeddelande gällande mätta positioner. Inte heller mellan det automatiska nätet och de statiska näten finns någon större skillnad. 95:e percentilens avvikelser var i plan 25 mm och i höjd 45 mm. De enda resultaten som skiljde sig nämnvärt från övriga var mätningarna med Leica i det statiska nätet med Leksand som masterstation, där Leica hade problem med att få fixlösning. Detta kunde bero på det relativt långa avståndet mellan mätpunkterna och referensstationen i Leksand.

Abstract

When using network RTK the control centre needs to communicate with the user's GNSS receivers in an efficient manner regardless of the brand of equipment. For this reason, a standardized format for transmission of data has been developed by The Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM). In 2006 the version 3.1 was released which supports broadcasting of network RTK messages which means that the compressed observation data are sent to the rover for calculation of corrections. Today the most used concept to determine the position of the rover is the Virtual Reference Station (VRS). SWEPOS, which provides a network RTK service in Sweden, is based on the VRS concept. The concept requires that the position of the rover should be sent to the control centre, where most of the calculations are made. Network RTK messages are not present in earlier versions of the RTCM standard, but their introduction means that corrections can be sent with one-way communication and that most of the calculations can be made in the rover.

The purpose of the study is to make comparisons between the VRS and RTCM 3.1 network RTK messages regarding the measurement quality and the time for initialization. The study also included to examine the need for network RTK messages and how the technology works while continuously moving the rover.

The study used GNSS receivers from Leica and Trimble to make repeated measurements with VRS and with RTCM 3.1 with automatic and static configurations. Static configuration was used in two different networks, one in which the SWEPOS station Gävle and one in which the SWEPOS station Leksand were used as master station respectively. Totally 1200 measurements were carried out on three known points in 12 days. At each measurement the time for initialization and the measured position was registered. The results were then processed and analysed using statistical methods.

The results showed that the times for initialization regarding network RTK messages are slightly longer than for VRS and that there is no obvious difference in quality between the VRS and network RTK messages regarding the measured positions. The difference between the automatic network and the static network is not noticeable either. 95th percentile discrepancies were 25 mm horizontally and 45 mm vertically. The only results that clearly differed from the rest of the measurements were those with Leica in the static network with Leksand as master station, where Leica had problems to resolve the ambiguities.

Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK

	Förord	5
	Sammanfattning	7
	Abstract	8
1	Introduktion	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Syfte	12
2	GNSS-mätning med nätverks-RTK	13
2.1	Faktorer som påverkar GNSS-mätningar	14
2.2	RTK	15
2.3	Satellitgeometri kontra signalkvalitet	15
2.4	Kommunikation	16
2.5	RTCM-formatet	17
2.6	Virtuell referensstation, VRS	17
2.7	Ytkorrektionsparametrar (FKP)	18
2.8	RTCM 3.1 Nätverksmeddelande	18
2.9	Nätverks-RTK under förflyttning	20
2.10	State Space Representation	20
2.11	SWEPOS	21
3	Metod	23
3.1	Databehandling	27
3.1.1	Felteori	27
3.1.1.1	Riktighet	28
3.1.1.2	Precision	29
3.1.1.3	Noggrannhet	29
3.1.1.4	Avvikelse på olika nivåer	29
3.2	Förflytningsförsök	30
4	Resultat	31
4.1	Mätnoggrannhet	31

4.2	Initialiseringstider och andel lyckade initialiseringar	33
4.3	Resultat för respektive fabrikat	34
4.3.1	Mätnoggrannhet	34
4.3.2	Initialiseringstider och andel lyckade initialiseringar	36
4.3.3	Förflyttningstest	37
5	Diskussion	38
5.1	Förflyttningsförsök	40
5.2	Framtiden	40
6	Slutsatser och framtida studier	42
	Referenser	43
	Bilaga A - Planavvikelser	45
	Bilaga B – Höjdavvikelser	47
	Bilaga C – Kumulativ fördelning av avvikelser	49
	Bilaga D – Initialiseringstider	50
	Bilaga E - Mätschema	51

Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Noggrannhet och precision på mätningar med hjälp av Global Navigation Satellite Systems (GNSS) är inom vissa områden mycket viktigt. Det kan vara inom lantmäteri, byggmätning, för maskinstyrning eller för insamling av kartdata. För att få bra noggrannhet på mäta positioner krävs relativa mätningar med två GNSS-mottagare varav den ena finns på en punkt med känd position, en s.k. referensstation. Den andra GNSS-mottagaren kan då användas för inmätning eller utsättning genom att använda data om satellit-signalerna från referensstationen. Dessa data eller korrektioner kan sändas ut och mätning och beräkning sker då i realtid. Om en sådan realtidsmätning görs med en noggrannhet på centimeternivå och med en rörlig mottagare kallas tekniken för Real Time Kinematic (RTK). För det mesta används nätverks-RTK för mätningar som har sådana noggrannhetskrav. Då beräknas korrektioner med hjälp av data från ett flertal fasta referensstationer i rikstäckande eller lokala nätverk. I Sverige finns SWEPOS som drivs av Lantmäteriet och en av deras tjänster är att sända ut korrektioner till användare av nätverks-RTK.

För utsändning av data till mottagarna från SWEPOS används GSM-nätet, antingen genom uppringda uppkopplingar eller över Internet med General Packet Radio Service (GPRS). Då möjliggörs användningen av de tekniker som kräver tvåvägskommunikation. En av dem är virtuell referensstation (VRS) som innebär att mottagarens position sänds in till nätverkets driftcentral som skapar en virtuell referensstation i närheten av mottagaren för att baslinjen (avståndet mellan referensstation och mottagare) ska bli så kort som möjligt för snabb och noggrann positionsberäkning.

För att underlätta användandet av olika fabrikat av GNSS-mottagare sker överföringen av datameddelande från driftcentralen med ett standardiserat format, the Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM), som definierar hur data ska skickas. För närvarande används två versioner, RTCM 2.3 och 3.0. Version 3.1 som stödjer s.k. nätverksmeddelande har nyligen tillkommit, bland

annat för att kunna skicka observationsdata från nätverket med envägskommunikation.

1.2 Syfte

I det här examensarbetet studeras de tekniker inom nätverks-RTK som används idag för att leverera korrektioner till användarna och de alternativ som utvecklats på senare år för att förbättra satellitpositioneringens användning och kvalitet. Examensarbetets syfte är att göra jämförelser mellan och analyser av två sådana tekniker. Den ena är tekniken med virtuell referensstation som tillämpar tvåvägskommunikation och är den metod som används i dagsläget i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Den andra tekniken använder det nya standardformatet RTCM 3.1 nätverksmeddelande och den undersöktes i tre olika varianter. Båda teknikerna undersöktes med de två fabrikat av GNSS-mottagare som idag stödjer RTCM 3.1 med nätverksmeddelanden.

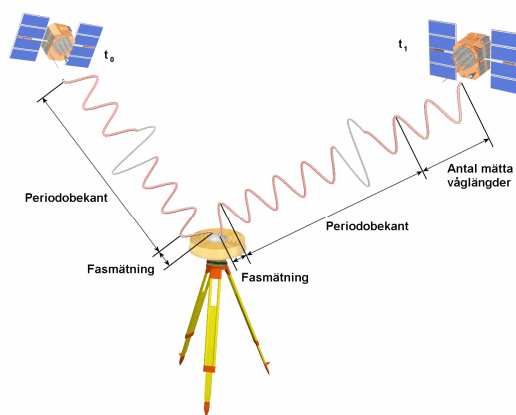
Målet är att få svar på följande frågor utifrån ett användarperspektiv:

- Vilken noggrannhet och precision kan uppnås med de olika koncepten?
- Hur lång är initialiseringstiden för de olika koncepten?
- Hur fungerar nätverks-RTK med VRS respektive nätverksmeddelande vid förflyttning längre sträckor?
- Kommer det att finnas ett behov av RTCM 3.1 nätverksmeddelande?

2 GNSS-mätning med nätverks-RTK

En GNSS-mottagares position bestäms initialt genom att avståndet till minst tre satelliter (plus ytterligare en för korrektion av mottagarens klocka) beräknas genom tiden det tar för varje satellitsignal att nå mottagaren. För att mäta tiden det tar för signalen att gå från satellit till mottagare används en kod som skickas med signalen. Metoden kallas kodmätning och tillsammans med information om satelliternas position, som beräknas ur banddata-informationen i satellitmeddelandet, kan mottagarens position bestämmas med hjälp av inbindning.

Avståndet mellan satellit och mottagare kan även bestämmas av fasförskjutningen mellan den mottagargenererade bärvågssignalen och bärvågen från satelliten plus antalet hela våglängder under en viss tidsrymd (epok). Delen av våglängden mäts genom att beräkna fasförskjutningen på signalen som kopieras i mottagaren. Metoden kallas bärvågsmätning och mottagaren ger en s.k. flytlösning fram tills att antalet hela våglängder, periodobekanta, är fixerade till heltal. Heltalslösning kan fås på flera sätt, till exempel genom att mäta under flera epoker (figur 1) eller med relativ mätning med två mottagare. Med realtidsmätning löses periodobekanta under en s.k. initialisering. Om mottagaren är initialiserad så har den fått en fixlösning med centimeterprecision, att jämföra med en flytlösning som ger en precision på ungefär en meter på mätning över en epok.



Figur 1: Bärvågsmätning mot en satellit under två epoker.

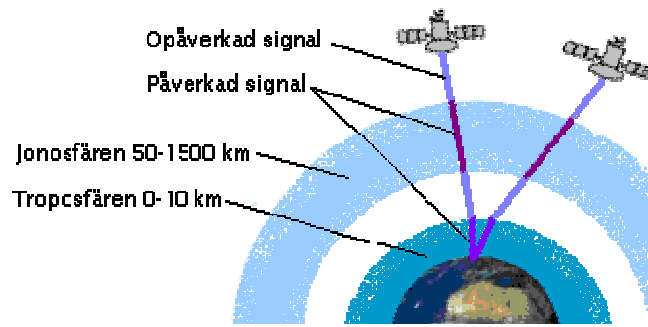
Den enklaste metoden för GNSS-mätning kallas absolut positionsbestämning och då används bara en mottagare och kodmätning. Om en viss tillämpning behöver en bättre noggrannhet kan relativ positionsbestämning användas. Det finns i huvudsak två metoder för relativ positionsbestämning i realtid, dels differentiell GNSS (DGNSS) som utnyttjar kodmätning, dels RTK som använder bärvågsmätning. RTK står för Real Time Kinematic och innebär att

mottagaren är rörlig och att mätningen sker i realtid. Den bättre noggrannheten fås genom att både lösa periodobekanta och reducera de flesta av felkällorna som påverkar mätningarna.

2.1 Faktorer som påverkar GNSS-mätningar

Korrektionerna som ska läggas på de mätta avstånden mellan en satellit och basstationen respektive mottagaren beräknas av de felkällor som påverkar mätningarna. Dessa kan vara:

- Banfel. I signalen från satelliten finns framräknade banparametrar som predikterar var satelliten kommer att befinna sig vid en viss tidpunkt, även kallat bandata. Banfelet är skillnaden mellan bandata och satellitens faktiska position.
- Klockfel. Satelliten har precisa atomklockor, men dessa kan ändå orsaka fel i avståndsmätningen eftersom den kräver noggrann tidsmätning. Även klockan i mottagaren kan bidra till fel i mätningen.
- Jonosfären. Bär vågens hastighet påverkas av frekvensen och antalet fria elektroner i jonosfären. Elektronerna frigörs av solstrålningen och antalet styrs därmed av intensiteten på solaktiviteten. Jonosfären är alltså ett dispersivt, frekvensberoende, medium. Jonosfärsfelet kan bestämmas genom att skicka ut två signaler med olika frekvens från satelliten, för GPS L1 och L2 (Misra & Enge, 2006).
- Troposfären. Felet är icke-dispersivt och beror på molekyler i troposfären. Den största delen (ca 90 %) är den stabilare torra delen och kan korrigeras med hjälp av modeller som beräknas av lufttryck- och temperaturmätningar (figur 2) (Misra & Enge, 2006). Resten är den våta delen som utgörs av vattenånga och som är svårast att modellera eftersom den förändras av det lokala vädret.
- Flervägsfel. När signalen blir fördröjd på grund av att den "studsar" mellan olika objekt på väg till mottagaren. Felkällan kan delvis reduceras med en antenn med jordplan eller med en s.k. choke ring-antenn för att hindra signaler som når antennen från fel riktning (Lilje, Engfeldt & Jivall, 2007; Jämtnäs & Ahlm, 2005).



Figur 2: Atmosfärens påverkan på satellitsignalen.

2.2 RTK

Det finns flera metoder för att eliminera eller reducera felkällor. Med RTK innebär det att en referensstation på en känd punkt tar emot signaler från flera (minst fem) satelliter som är gemensamma med en rörlig mottagare som befinner sig i närheten. Referensstationen skickar observationsdata eller beräknade korrektioner till mottagaren med till exempel radiolänk. Med hjälp av dessa kan mottagaren efter lösning av periodobekanta beräkna sin position med centimeter-noggrannhet.

En förutsättning för att kunna beräkna avståndet mellan satellit och mottagare med tillräcklig noggrannhet (centimeternivå) och få fixlösning inom rimlig tid är att atmosfärsförhållandena inte skiljer sig åt för mycket vid referensstationer respektive mottagare. Det innebär att avståndet mellan referensstationer och mottagare inte bör överstiga 10-20 km (Jämtnäs & Ahlm, 2005). För att kunna öka baslängderna och slippa att använda en egen basstation kan nätverks-RTK användas. Nätverks-RTK bygger på en teknik med fasta referensstationer i ett nätverk. Med hjälp av flera samverkande referensstationer runt mottagaren kan systematiska banfel och atmosfärsfel kartläggas och användas för att korrigera mätningar. För att kunna beräkna och förutse nödvändiga korrektioner skapas yttäckande modeller av banfel och atmosfärsfel. Nätverket sköts av en operatör som beräknar och skickar ut data genom en nätverks-RTK-tjänst. I Sverige finns SWEPOS, som är ett i stort sett riktäckande nät av referensstationer.

2.3 Satellitgeometri kontra signalkvalitet

Tillgången på satelliter har betydelse för möjligheten att kunna mäta eftersom det krävs minst fyra satelliter för att beräkna en position. För att positionsbestämningen ska bli så bra som möjligt bör satelliterna vara utspridda över himlen för en bra geometri.

Normalt används en elevationsgräns på 10-15 grader över horisonten vid mätning för att undvika de lågt stående satelliterna. Låg elevationsvinkel innebär att signalkvaliteten blir sämre eftersom

signalens väg genom atmosfären blir längre och att fler hinder (t.ex. träd) måste passeras. Det som talar emot att räkna bort de lågt stående satelliterna är att den inbördes geometriska konfigurationen, det vill säga spridningen av satelliterna över himlen, blir sämre. Det värde som beskriver denna är det s.k. Dilution Of Precision-värdet (DOP). Ett lågt DOP-värde är detsamma som en bra konfiguration. Det finns flera olika DOP-tal som beror på vilka obekanta som ingår. Position DOP-värdet (PDOP) motsvarar till exempel tre obekanta positionskoordinater.

2.4 Kommunikation

Kommunikationen mellan servern på nätverks-RTK-tjänstens driftcentral och mottagaren kan ske antingen genom envägskommunikation (eng. unidirectional eller broadcast solution) eller tvåvägskommunikation (eng. bidirectional) varav den senare är det hittills vanligaste sättet (Lilje, Engfeldt & Jivall, 2007). Det finns olika tekniker som använder sig av dessa kommunikationsmetoder och ibland kan båda metoderna användas och ibland bara en av dem. De metoder som förklaras närmare i avsnitt 2.6-2.8 är dels VRS som måste använda tvåvägskommunikation och dels FKP och MAC som kan använda båda. Alla metoderna använder sig av ett standardiserat överföringsformat, RTCM, vilket beskrivs i följande avsnitt. Ytterligare ett alternativ för nätverks-RTK, state-space, behandlas i avsnitt 2.10.

För kommunikationen mellan driftcentralen och mottagaren kan ett flertal olika tekniker användas, till exempel mobiltelefonnätet i form av GSM eller som Internetuppkoppling (GPRS). GPRS står för General Packet Radio Service och innebär att data skickas i diskreta mängder. Om envägskommunikation är tillräckligt kan radioutsändning vara ett alternativ.

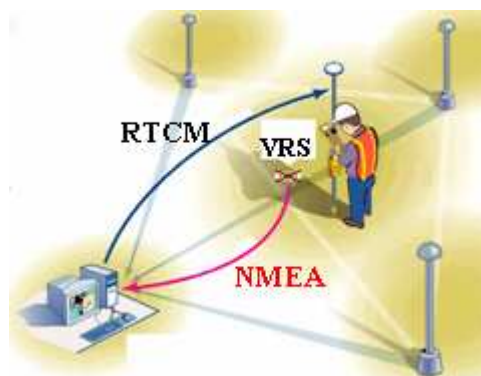
För att kunna skicka GNSS-data över Internet används det vanliga TCP/IP-protokollet eller det för RTCM-formatet utvecklade Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP). NTRIP-systemet består av NtripSources (referensstationerna), NtripServers (överför data från NtripSources till NtripCaster), NtripCaster (delar och sänder ut data) och NtripClients (hämtar data från valfri NtripSource via NtripCaster) (Jämtnäs & Ahlm, 2005). Vid nätverks-RTK utnyttjas alla referensstationer och dessa kopplas till NtripCaster som skapar en s.k. anslutningspunkt för varje konfiguration eller teknik. Alla anslutningspunkter hanteras i källdatabaser som hämtas av användaren vid uppkoppling till NtripCaster. Det gör att användaren kan välja vilken konfiguration eller teknik som ska utnyttjas genom att välja anslutningspunkt ur källdatabasen.

2.5 RTCM-formatet

Formatet för överföringen av korrektionsmeddelande från servern till mottagaren är standardiserat genom rekommendationer från en samarbetskommitté, The Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM). Den senaste versionen är RTCM 3.1, eller RTCM standard 10403.1 som är hela beteckningen. Den publicerades i oktober 2006 av RTCM:s special kommitté nr. 104 och standarden stödjer användning av s.k. nätverksmeddelande, vilket innebär att observationsdata skickas komprimerat till mottagarna. Den är en utveckling av RTCM 3.0, som tillkom för att de tidigare versionerna av RTCM-formatet använde stor bandbredd, var ineffektiva och var i första hand gjorda för enkelstations-RTK och differentiell GNSS (RTCM, 2006). Versioner fr.o.m. 3.0 stödjer nätverks-RTK och ska bättre kunna anpassas till nya situationer. Dessutom ska det vara fabriksoberoende så att det ska kunna användas av alla tillverkare. Behovet av överföringskapacitet har reducerats genom att standarden utnyttjar mindre bandbredd. Lin (2006) skriver att RTCM 3.0 kan överföra komprimerad data i form av differenser mellan satellitsignalens L1 pseudoavstånd och övriga L1- och L2-signaler istället för absoluta data.

2.6 Virtuell referensstation, VRS

Eftersom nätverks-RTK använder tvåvägskommunikation innebär det att den rörliga mottagaren kopplas upp till ett mobilt nätverk, t.ex. GSM eller GPRS, och skickar sin ungefärliga position till servern på driftcentralen. Det sker genom National Marine Electronics Association-formatet (NMEA-formatet), som är ett standardiserat format för överföring av data mellan elektronisk utrustning. Servern beräknar en interpolerad korrektionsmodell för mottagarens position genom att använda data från referensstationerna och en virtuell referensstation skapas i närheten av mottagaren (figur 3). Mottagaren använder sedan VRS:ens position som referensstation och nätverksservern skickar korrektionsmodellen gällande VRS:ens position till mottagaren (Landau, Vollath & Chen, 2002). Metoden använder antingen standardformatet RTCM i version 2.3 eller senare, eller Trimbles Compact Measurement Record (CMR) för att överföra data till mottagaren.



Figur 3: *Nätverks-RTK med VRS-teknik (Landau, Vollath & Chen, 2002).*

2.7 Ytkorrektionsparametrar (FKP)

Ett annat sätt att distribuera korrektioner till mottagaren är med ytkorrektionsparametrar, Flächen-Korrektur-Parameter (FKP), som innebär att omgivande referensstationers atmosfärs- och ban-korrektioner representeras av linjära plan. "Lutningen" är matematiskt beskriven med bilinjära polynom som skickas till mottagaren som parametrar. Mottagaren interpolerar fram avståndskorrektioner beroende på positionen (Wübbena & Bagge, 2006). Beräkningen sker vid driftcentralen och skickas med envägs-kommunikation till mottagaren med RTCM 2.3 meddelandetyp 59, vars innehåll är användardefinierat. På grund av att en linjär modell är en förenkling av verkligheten så kan FKP bara användas för mindre områden (Trimble Ltd., 2005a).

2.8 RTCM 3.1 Nätverksmeddelande

Det nya standardiserade formatet stödjer överföring av obearbetade observationsdata från ett nätverk av fasta referensmottagare till mottagaren och kan skickas med envägs-kommunikation som till exempel radioutsändning. Ett nätverksmeddelande är en samling data som innehåller RTK-meddelande med en s.k. masterstations obearbetade satellitobservationer och dess officiella position. En masterstation är en av referensstationerna som används för beräkningen av korrektionerna, och övriga referensstationer benämns hjälpstationer (auxilliary). Bestämningen av vilken av referensstationerna som ska vara masterstation beror på vilken kommunikationsteknik som används. Antingen väljs den närmaste automatiskt genom att mottagarens position skickas till nätverksservern eller så kan den fördefinieras. Om mottagarens position är känd av servern, väljs den närmaste stationen ut som masterstation och hjälpstationerna väljs så att korrektionerna blir så optimala som möjligt. Om envägs-kommunikation används är cellerna fördefinierade (statiska) och användaren väljer då masterstation. Tillsammans med masterstationens observationer och

position skickas korrektionsdifferenser och koordinatdifferenser mellan varje hjälpstation och masterstationen (Lin, 2006).

Konceptet med master- och hjälpstationer föreslogs inledningsvis av Euler, Keenan och Zebhauser (2001). Observationsdata skickas från referensstationer till mottagaren som har kontrollen över hur det ska användas för att skapa korrektioner till dess position. Metoden kan dessutom använda sig av både envägs- och tvåvägskommunikation.

Euler, Keenan och Zebhauser (2001) påpekar i sin artikel att för effektiv användning av nätverkets referensstationer måste dessa beräkna sin heltalslösning. De ingående referensstationernas periodobekanta ska reduceras till en gemensam nivå (av tvetydighet) för att de ska kunna lösas med dubbeldifferenser relativt masterstationen. Masterstationens korrektions- och koordinatdifferenser relativt hjälpstationerna och fullständiga observationsdata (bärvågsmätning) från masterstationen skickas därefter direkt till mottagaren. Det senare förutsätter dock att det nya formatet RTCM 3.1 för nätverksmeddelande används. Därefter kan mottagaren använda informationen för att återskapa fullständiga observationsdata för samtliga referensstationer i nätverket för att kunna bestämma de dispersiva respektive icke-dispersiva fel på sin plats. Därefter kan positionen bestämmas till centimeternivå genom att mottagarens periodobekanta kan lösas (Brown, Geisler & Troyer, 2006). Om inte den gemensamma nivån av periodobekanta kan uppnås i nätverket så delas det upp i delgrupper, s.k. kluster, med minst en masterstation och resten hjälpstationer (Lin, 2006).

Huvudprincipen med nätverksmeddelande är att leverera så mycket som möjligt av nätverkets observationsdata och deras fel till mottagaren i en kompakt form (Brown et al., 2005). Korrektionsdifferenserna är separerade i dispersiva och icke dispersiva fel för att minska datamängden genom att förändringarna sker olika snabbt i jonosfär respektive troposfär och kan då skickas med olika uppdateringsfrekvens (Lin, 2006).

Utsändning av nätverks-RTK-data med envägskommunikation behandlas i en artikel från Talbot et al. (2002), där jämförs detta med enkelstations-RTK. I testet använde de sig av Trimbles servermjukvara GPSNet och GPS-mottagaren Trimble 5700. Det visade att 90:e percentilens initialiseringstider för baslinjer på 16 och 32 km mer än halverades med envägsutsända nätverkskorrektioner jämfört med enkelstations-RTK.

Leica Geosystems AG i Tyskland (RTCM, 2005) har testat interoperabiliteten mellan olika fabrikat av mjukvaror i servern för nätverksmeddelande; Trimble GPSNet, Leica SpiderNET och för att jämföra användes VRS. De kom fram till i sitt test att avvikelserna i både plan och höjd mellan de olika mjukvarorna var inom den normala variationen.

Brown, Geisler och Troyer (2006) gör i sin artikel ett test av nätverksmeddelande och jämför det med VRS och FKP. Mjukvaran i servern för att beräkna korrekationer för RTCM 3.0 var Leica SpiderNet och för VRS och FKP användes en okänd tredjeparts mjukvara. Referensstationerna hade en spridning på upp till 100 km i plan och 1400 m i höjd. Författarna anser att nätverksmeddelande fick bättre positionsnoggrannhet än både VRS och FKP.

2.9 Nätverks-RTK under förflyttning

En av fördelarna med nätverksmeddelande anses vara att det ska gå att förflytta sig över längre sträckor utan att behöva göra en ominitialisering. Med VRS-tekniken går det att förflytta sig cirka fem kilometer bort från den virtuella referensstationen innan det är lämpligt att den initialiseras om för att få en kortare baslinje till mottagaren.

De som främst efterfrågar möjligheten till längre förflyttningar idag är Sjöfartsverkets verksamhet med sjömätning och farledshållning. Att det är så beror på att det är mer ovanligt att behöva flytta sig långa sträckor på land med en konstant initialisering, samtidigt som det många gånger inte är praktiskt möjligt att flytta sig fem kilometer utan att signalen från satelliterna bryts på grund av skymdikt. Förutom Sjöfartsverket finns det andra aktörer som utför till exempel sjömätning, muddring och konstruktionsarbeten som är i behov av precisionspositionering runt den svenska kusten (Olsson & Jakobsson, 2008). Enligt Olsson (2008) är inte den nuvarande RTK-tekniken lämplig för sjöfartens behov, eftersom kommunikationen med GSM/GPRS har begränsningar i räckvidd och täckning. Sjöfartsverket efterfrågar istället enkelriktad kommunikation över till exempel FM-nätet med det nya formatet med RTCM 3.1 nätverksmeddelande för modellberäkning i mottagaren.

2.10 State Space Representation

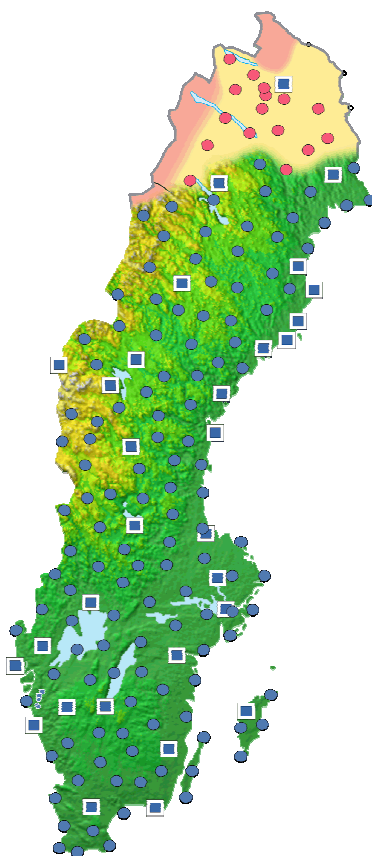
Det utvecklas även andra alternativ för nätverks-RTK. Wübbena, Schmitz och Bagge (2005) presenterar i en artikel konceptet State Space Representation (SSR), som ska motsvara Observation Space Representation (OSR) som är den normala metoden att beskriva de avståndsberoende felen. SSR innebär att de absoluta felen modelleras istället för effekterna av felen som det görs i OSR. Metoden används för Precise Point Positioning (PPP) med efterberäkning men ska enligt artikeln även kunna användas för nätverks-RTK, s.k. PPP-RTK. Men då måste det ske en konvertering från RTCM-formatet i mottagaren eller att mottagaren är förberedd med algoritmer för SSR-formatet. Enligt artikeln ska PPP-RTK i praktiken kunna förbättra noggrannheten mer än normal nätverks-RTK och göra

arbetet i fält snabbare. Dessutom ska mottagarna kunna göras enklare och billigare.

2.11 SWEPOS

SWEPOS drivs av Lantmäteriet och finansieras sedan år 2000 av anslag och användaravgifter. SWEPOS ska leverera GNSS-data för navigering, positionering och vetenskapliga ändamål. Dessutom ska nätverket realisera det nationella referenssystemet SWEREF 99 och övervaka GNSS integritet.

SWEPOS blev 1998 operationellt för navigerings- och positionsbestämningstillämpningar med centimeternoggrannhet genom efterberäkning och 2004 (södra Sverige) genom nätverks-RTK (Norin, Jonsson, & Wiklund, 2008). Nätverket består i dagsläget (maj 2008) av 161 stationer. Av dessa är 32 stycken stationer av klass A med antennen monterad på betongpelare och 129 stycken är enklare stationer av klass B (figur 4).



Figur 4: Grönt område visar täckningen för SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst våren 2008. Runda punkter visar klass B-stationer och fyrkantiga visar klass A-stationer. Röda punkter visar planerade stationer (Norin, Jonsson, & Wiklund, 2008).

Nätverks-RTK är en tjänst från SWEPOS för användare av GNSS-mottagare med RTK-funktion. Tjänsten har i dagsläget (våren 2008) ca 950 abonnenter. Den teknik som används i nuläget för att skicka korrektioner till användarna är VRS. Dessutom finns planer på att börja distribuera observationsdata med RTCM 3.1 nätverks-meddelande-formatet.

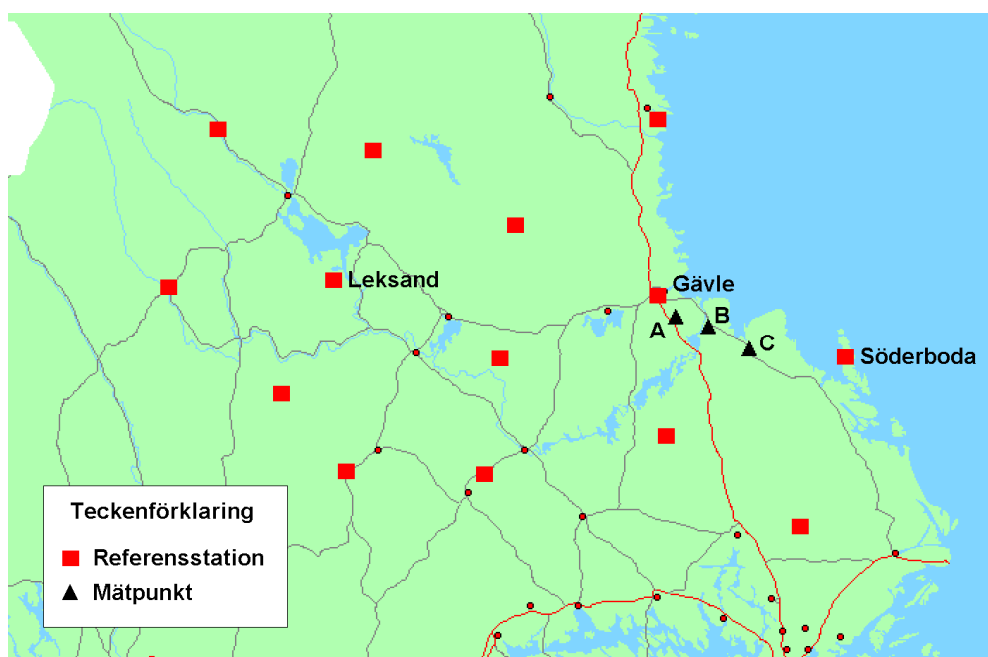
SWEPOS använder sig av Trimble Terrasats mjukvara GPSNet med modulen RTKNet för driften av nätverket och tjänsterna. Referensstationerna sänder sina observationsdata till GPSnet och vidare till RTKNet för att modellera troposfären och jonosfären. RTKNet hämtar även predikterade banddata till beräkningen av korrektionerna i realtid för nätverks-RTK (Trimble, 2005b).

3 Metod

Denna studie undersöker skillnader mellan olika sätt att sända ut nätverks-RTK-korrekationer. För att kunna få en uppfattning av skillnader i precision, riktighet och initialiseringstider för de olika teknikerna har upprepade mätningar med varje teknik genomförts. Mätningarna utfördes med två olika format, dels VRS och dels nätverksmeddelande, den senare med tre olika konfigurationer. Totalt testades alltså fyra mätmetoder:

- Virtuellt referensstation RTCM 3.1 (tvåvägskommunikation)
- RTCM 3.1 Nätverksmeddelande, statiskt nät (envägskommunikation)
 - Masterstation Leksand
 - Masterstation Gävle
- RTCM 3.1 Nätverksmeddelande, automatiskt nät (tvåvägskommunikation)

För mätningarna användes enbart GPS eftersom RTCM 3.1 nätverksmeddelande inte stödjer användning av GLONASS. Testmätningarna genomfördes i ett område söder om Gävle och omfattade tre punkter benämnda A, B och C, som sedan tidigare har noggranna koordinater i SWEREF 99 från statiska GPS-mätningar. Dessa punkters koordinater har vid databehandlingen behandlats som de sanna för varje punkt. För mätningarna med VRS användes SWEPOS nät av referensstationer och deras nätverks-RTK-tjänst. Som testnät för nätverksmeddelande användes 14 av SWEPOS referensstationer från Malung i väster till Söderboda i öster. GPSnet konfigurerades med 12 hjälpstationer i automatiskt nät, och för statiskt nät användes alla stationer, dvs. 13 hjälpstationer och 1 masterstation. För både VRS och nätverksmeddelande användes GPRS-uppkoppling mot SWEPOS. I testnätet för nätverksmeddelande är det tre olika SWEPOS-stationer som har fungerat som masterstationer. Vid de statiska näten är det Gävle respektive Leksand och vid det automatiska nätet den station som ligger närmast mätpunkten. Det innebär att vid det automatiska nätet har Gävle använts som masterstation för punkt A och B och att stationen i Söderboda har blivit masterstation för punkt C. Placering av mätpunkterna och de referensstationer som använts för mätningarna med nätverksmeddelande visas i figur 5 och avstånden mellan mätpunkterna och de referensstationer som använts som masterstationer anges i tabell 1.



Figur 5: Referensstationer som ingick i testnäten för nätverksmeddelande. Punkterna A, B och C är testets mätpunkter.

	Gävle	Leksand	Söderboda
A	10	131	65
B	22	143	53
C	40	160	36

Tabell 1: Avstånd till använda masterstationer i km. Gävle valdes som masterstation i automatiskt nät från punkt A och B och Söderboda valdes som masterstation i automatiskt nät från punkt C.

Till testmätningarna användes två olika rovermottagare, Leica GX1230 och Trimble R8. Mer detaljerad information om vilken utrustning som användes finns i tabell 2.

Komponent	Leica	Trimble
Mottagare	GX1230	R8 - Model 2
Mjukvara, mottagare	v 5.62	v 3.60
Antenntyp	AX1202 GG	Integrerad i mottagare
Handenhet	RX1210T	TSC2
Modem	GFU17	Integrerat i mottagare
Elevationsgräns		13
PDOP-gräns		6,0
Satellitssystem		GPS
Satellit signaler		L1 + L2
RTCM		10403,1
Referenssystem		SWEREF 99
Höjdreferens		GRS80

Tabell 2: Komponenter och inställningar som användes vid mätningarna.

Mätningarna med de två olika instrumenten genomfördes enligt följande:

Leica:

1. GPS-mottagarens antenn monterades på stativ med trefot och centrerades över den kända punkten med hjälp av optiskt lod.
2. Antennens höjd över punkten mättes och noterades. Detta gjordes med tillhörande mätband som fästes i antennehållaren.
3. Utrustningen kopplades ihop med avsedda kablar.
4. GPS-mottagaren startades.
5. Konfigurationerna för VRS och nätverks-RTK-meddelande kontrollerades och antennhöjden angavs i båda konfigurationerna.
6. En av konfigurationerna valdes. Då konfigurationen för nätverks-RTK-meddelande användes behövdes även anslutningspunkt till SWEPOS väljas (statiskt nät med Leksand som masterstation, statiskt nät med Gävle som masterstation eller automatiskt nät).
7. Kontakt med satelliter och absolut position inväntades.
8. Tiden för initialisering mättes från att valet *koppl* (uppkoppling mot anslutningspunkt) gjordes i inmättningsprogrammet till att symbolen för fixlösning visades i skärmens övre del.
9. En mätning genomfördes och lagrades.
10. Mottagaren kopplades ner och stängdes av.
11. Mottagaren slogs på och steg 7-11 upprepades.
12. När 7-11 genomförts fem gånger byttes konfiguration enl. steg 6 och fem mätningar med den konfigurationen genomfördes enl. steg 7-11.

Trimble:

1. GPS-mottagaren med antenn monterades på stativ med trefot och centrerades över den kända punkten med hjälp av optiskt lod.
2. Antennhöjden mättes till antennens gummikant med hjälp av en mätpinne.
3. GPS-mottagaren startades.
4. Konfigureringen kontrollerades och den aktuella antennhöjden matades in, detta gjordes med både konfigurationen för VRS och nätverksmeddelande.
5. Vid start av inmättningsprogrammet valdes konfigurationen som skulle användas vid mätningen, sedan gjordes valet "starta mätning".
6. Kontakt med satelliter och absolut position inväntades.
7. När mottagaren fick kontakt med SWEPOS-servern visades tillgängliga anslutningspunkter i källdatabasen och aktuell anslutningspunkt valdes. Då konfigurationen för nätverks-RTK-meddelande användes fanns det tre olika anslutnings-

- punkter (statiskt nät med Leksand som masterstation, statiskt nät med Gävle som masterstation eller automatiskt nät).
8. Initialiseringstiden mättes från valet av anslutningspunkt till meddelandet "Initieringen klar" visades (för VRS krävdes ett godkännande av lösenord efter att anslutningspunkt valts, där mättes tiden från detta godkännande).
 9. En punkt mättes och lagrades.
 10. Mottagaren kopplades ner och stängdes av.
 11. Mottagaren slogs på och 5-11 upprepades.
 12. När 5-11 genomförts fem gånger byttes metod och fem mätningar med den metoden genomfördes enl. steg 5-11.

För varje fabrikat genomfördes 30 mätserier som fördelades jämnt på de tre punkterna och tidsmässigt över dagen. Mätningarna genomfördes under 12 dagar mellan 9:e och 28:e april 2008 (bilaga E).

Mottagarna hade vid alla mätningar konfigurerats så att varje mätning byggde på en medeltalsbildning av fem mätta positioner med en sekunds observationsintervall. Fem medeltalsmätningar med var och en av metoderna bildade en serie på totalt 20 mätningar. För båda mottagarna användes 13° över horisonten som elevationsgräns och högsta tillåtna PDOP-värde sattes till 6. Trefoten kontrollerades före mätningarna om den uppfyllde kraven på centreringsfel som enligt HMK Ge:S (1993) är max 1 mm.

Initialiseringstider mättes med tidtagarur och protokollfördes och uppmätta tider avrundades neråt till hela sekunder. Om initialiseringstiden översteg 3 minuter ansågs mätningen som misslyckad och avbröts. Vid tre misslyckade försök i rad avbröts mätningarna för aktuell metod. Även antal satelliter vid varje mätning noterades. För varje dag togs en satellitprognos fram, för att planera vilka tider som inte var möjliga att använda för mätning. För det mesta inträffade en period mitt på dagen då PDOP-värdet steg över 6 eller antalet satelliter sjönk under 4, och vid dessa tidpunkter gjordes avbrott i mätningarna.

Vid samtliga mätningar med Leica-mottagaren var den inställd på att antennen AT502 användes. Det var en felaktig inställning eftersom den använda antennen var AX1202 GG. För att se hur den felaktiga inställningen påverkat mätningarna jämfördes specifikationerna för AT502 och AX1202 GG. Ur detta framkom att det fanns dels ett konstant fel i höjd på 4 mm och dels ett fel i avståndet till satelliterna som var beroende av vilken elevation satelliterna hade vid mätningen. För att uppskatta hur stor påverkan de båda felen hade tillsammans genomfördes mätningar med antennen AX1202 GG med både den rätta och den felaktigt använda antennenmodellerna inställd. Vid mätningarna monterades antennen på en trefot på stativ och sedan genomfördes en mätning varje 10:e sekund automatiskt under några timmar för varje antennenmodell. Mätningarna gjordes under

två dagar och antennen flyttades inte mellan de mätningar som låg under samma dag. För att undvika att eventuella sikthinder påverkade mätningarna placerades antennen så att det i princip var fri sikt åt alla håll. Resultaten av mätningarna från de bägge dagarna jämfördes och deras medelvärde i plan skiljde ca 1 mm, i höjd ca 17 mm. Med hänsyn till detta sänktes alla Leicas mätningar 17 mm i höjd.

3.1 Databehandling

Data från mätningarna importerades från mottagarna på följande sätt:

Leica: Data fördes via mottagarens minneskort över till en dator som en textfil.

Trimble: Data fördes över till datorn från handenheten som s.k. dc-filer. Dessa konverterades med hjälp av programmet Trimble Geo Office till textfiler.

Textfilerna från båda fabrikaten kopierades in i Microsoft Excel för bearbetning och analys. Från Excel kopierades vissa värden till Minitab för vidare analys och visualisering.

Analysen av de mäta positionerna är baserade på skillnader mellan dessa och de kända värdena, vilka först beräknades i bågsekunder i latitud och longitud. För att räkna om skillnaderna till millimeter sattes de därefter in i en av två formler, beroende på om det var nord-sydlig (formel 1) eller öst-västlig (formel 2) skillnad som skulle beräknas:

$$\text{Skillnad i mm} = \text{Skillnad i sekunder} * 30,9 * 1000 \quad (1)$$

$$\text{Skillnad i mm} = \text{Skillnad i sekunder} * 30,9 * \text{COS}(\varphi) * 1000 \quad (2)$$

I formeln är 30,9 det ungefärliga antalet meter som det går på en bågsekund och 1000 en faktor för omräkning av meter till millimeter. $\text{COS}(\varphi)$ tillkommer i formeln för den öst-västliga skillnaden eftersom att longitudgraderna blir kortare och kortare ju närmare polerna de är. I formeln sattes φ till $60,5^\circ$ som är den ungefärliga latituden för testpunkterna, vilken har använts för att korrigera longitudgradernas längd.

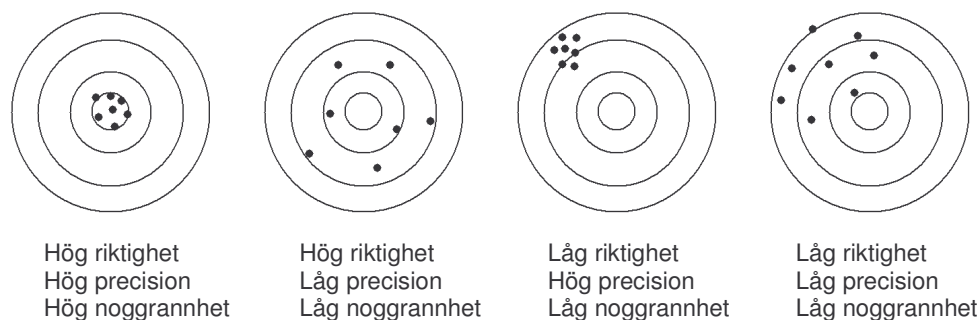
3.1.1 Felteori

För att på ett enkelt sätt kunna jämföra och få en överblick över olika mätningar och mätserier kan statistiska värden användas. För att få en korrekt och rättvisande statistisk sammanställning bör de grova och systematiska fel som finns i mätningarna först elimineras i den grad det går. Inom mätningstekniken delas normalt felen in i systematiska, grova och tillfälliga fel (HMK Ge:S, 1993).

Enligt HMK Ge:S (1993) kan de systematiska felen upptäckas genom att jämföra mätningarna med de sanna värdena. De grova felen kan upptäckas genom att jämföra ett flertal mätningar med varandra för att se om det är någon som skiljer sig från mängden. De tillfälliga, slumpmässiga felen reduceras av upprepade mätningar och är ofta normalfördelade.

På grund av en felaktig inställning av antenmodell i alla mätningar med Leica-mottagaren uppkom ett systematiskt fel. Mätningarna är även utförda på tre olika punkter. En anledning till det var att ett fel i en punkts "sanna" koordinater annars skulle ge en systematisk avvikelse från det "sanna" värdet för mätningarna. Inga av mätningarna är borttagna på grund av att de innehöll grova fel (undantaget Leica-mätningarna mot Leksand, se vidare avsnitt 5.1). De tillfälliga felens effekt har reducerats genom oberoende och upprepade mätningar.

För att göra en bedömning av hur bra en eller en serie mätningar är används de kvalitativa termerna noggrannhet, precision och riktighet (figur 6). För att kunna jämföra de olika kvalitetsuttrycken behövs kvantitativa mått (HMK Ge:S, 1993).



Figur 6: Sambandet mellan riktighet, precision och noggrannhet. Det krävs både hög riktighet och hög precision för att åstadkomma en hög noggrannhet.

3.1.1.1 Riktighet

Riktigheten anges här i form av medelavvikelse. Den anger hur mycket mätningarnas genomsnitt avviker från det sanna värdet. Vid reducering av grova och systematiska fel går medelavvikelsen mot noll. Det som slutligen bestämmer dess storlek är de tillfälliga felen. Eftersom att de tillfälliga felen ses som normalfördelade tar de ut varandra vid upprepade mätningar.

Formel för beräkning av medelavvikelse respektive radiell medelavvikelse:

$$m = \frac{\sum \varepsilon}{n} \quad (3)$$

$$m_{xy}^2 = m_x^2 + m_y^2 \quad (4)$$

ε anger skillnaden mellan det mätta och det sanna värdet, n anger antal mätningar.

3.1.1.2 Precision

Precisionen anger hur väl mätningarna är samlade runt sitt eget medelvärde. Det innebär att precisionen kan vara bra även om det finns systematiska fel som gör att mätningarnas medelvärde och det sanna värdet inte sammanfaller. Precisionen anges här i form av standardavvikelse. Vid normalfördelning har ungefär 68 % av mätningarna en avvikelse från mätningarnas medelvärde som är mindre än en standardavvikelse.

Formel för beräkning av standardavvikelse respektive radiell standardavvikelse:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

$$s_{xy}^2 = s_x^2 + s_y^2 \quad (6)$$

x är respektive mätnings värde, \bar{x} är mätningarnas medelvärde och n är antal mätningar.

3.1.1.3 Noggrannhet

Noggrannheten anger spridningen av mätningarna runt det sanna värdet och anges som medelfel och räknas ut som ett kvadratisk medelvärde Root Mean Square (RMS). Ju högre riktighet en mätserie har desto mer går standardavvikelsen och medelfelet mot samma värde, om mätningarnas medel och det sanna värdet är lika blir även standardavvikelsen och medelfelet lika. Noggrannheten påverkas både av riktigheten och av precisionen, därför kan inte noggrannheten vara hög om riktigheten eller precisionen är låg.

Formel för beräkning av medelfel respektive radiellt medelfel:

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}} \quad (7)$$

$$\hat{s}_{XY}^2 = \hat{s}_X^2 + \hat{s}_Y^2 \quad (8)$$

ε anger skillnaden mellan det mätta och det sanna värdet, n anger antal mätningar.

3.1.1.4 Avvikelse på olika nivåer

För att ta fram kvalitetsvärden för avvikelserna från det sanna värdet har 68:e respektive 95:e percentilen av mätningarna beräknats. För

värdena i plan har avståndet mellan det mätta värdet och det sanna värdet använts. För höjd har absolutbeloppet av höjdskillnaden mellan mätt och sant värde använts. Vid normalfördelning motsvarar 68:e percentilen ungefär en standardavvikelse och 95 % ungefär två standardavvikelser för endimensionella storheter, de så kallade första och andra sigmanivåerna. Nivåerna kallas även 68 % respektive 95 % konfidensnivå, och markerar gränserna till konfidensintervallet. Den så kallade risknivån, risken att en mätning hamnar utanför konfidensintervallet, är 32 % respektive 5 %.

3.2 Förflyttningsförsök

I denna studie genomfördes ett par försök med förflyttning med en initialiserad mottagare. I det första testades om den virtuella referensstationen flyttades vid överskridande av fem kilometers baslinje till mottagare. I det andra testades om det automatiska nätet bytte masterstation om mottagaren kom närmare en annan referensstation i nätet än den som var närmast vid initialiseringen och därmed blivit masterstation. Både testet av VRS och av nätverksmeddelande genomfördes med antennen placerad på en bil. Ett par mindre försök gjordes även med antennen placerad på en cykel (figur 7), främst för att undvika de flervägsfel som skulle ha kunnat uppstå vid testerna med bil. Försöken genomfördes med Leica-mottagaren längs väg 76 mellan Skärplinge och Älvkarleby. Längs vägen finns det bitvis skog som skymmer sikten mot satelliterna. Med mottagaren initialiserad i det automatiska nätet för nätverksmeddelande genomfördes en längre förflyttning mellan Skärplinge (punkt C) och Älvkarleby (punkt B).



Figur 7: GPS-utrustning monterad på cykel i förflyttningstest.

4 Resultat

Underlaget för detta resultat är 100 mätningar per punkt och metod. Detta gäller för alla metoder utom det statiska nätet med Leksand som masterstation. För det nätet har endast Trimble-mätningar räknats med i resultatet (se vidare avsnitt 5.1 för orsaken till detta). Mätningarna är utförda på tre punkter och med fyra metoder, vilket ger totalt 1050 mätningar om Leica-mätningarna med statistiskt nät mot Leksand räknas bort:

$$10 * (3 \text{ punkter} * 2 \text{ fabrikat} * 4 \text{ metoder} * 5 \text{ mätningar}) = 1200$$

$$1200 \text{ mätningar} - 50 \text{ mätningar Leksand/Leica} * 3 \text{ punkter} = 1050$$

Av mätningarna var det 14 stycken som räknades som misslyckade på grund av att de inte uppnådde initialisering inom tre minuter. En mätning med Trimble fick fixlösning men ingen position registrerades på grund av kommunikationsfel mellan mottagare och handenhet. Utöver detta saknas inga mätningar.

På grund av att fel antennenmodell var inställd i Leica-mottagaren vid mätningarna så har höjden för dessa mätningar sänkts med 17 millimeter enligt avsnitt 2.11.

4.1 Mätnoggrannhet

Resultaten av mätningarna med avseende på avvikelser från de tidigare mätta koordinaterna presenteras i tabell 3 och 4. Avvikelsena ges för 68 % respektive 95 % av mätningarna som är sorterade från lägsta till högsta värde. Även riktighet i form av medelavvikelse, precision i form av standardavvikelse och noggrannhet i form av RMS presenteras.

Kvalitetsterm	Metod	A	B	C	Totalt
68:e percentilen	VRS	15	12	13	13
	Auto	14	12	12	13
	Gävle	15	13	13	14
	Leksand*	20	16	13	16
95:e percentilen	VRS	25	22	22	23
	Auto	27	22	23	25
	Gävle	30	19	26	26
	Leksand*	28	26	25	26
Riktighet (medelavvikelse)	VRS	8	6	9	8
	Auto	9	5	5	6
	Gävle	8	3	6	6
	Leksand*	10	7	6	7
Precision (standardavvikelse)	VRS	11	10	9	11
	Auto	12	12	11	12
	Gävle	13	11	12	12
	Leksand*	15	14	12	14
Noggrannhet (medelfel)	VRS	14	12	13	13
	Auto	15	13	12	13
	Gävle	16	12	14	14
	Leksand*	18	15	13	15

Tabell 3: Kvalitetsvärden i plan (mm) för mätpunkterna A-C samt sammanräknat (totalt) för punkterna. VRS anger virtuell referensstation, Auto anger nätverksmeddelande med automatiskt nät, Gävle anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Gävle som masterstation och Leksand anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Leksand som masterstation. *Värdena för Leksand grundar sig enbart på mätningarna med Trimble-mottagaren.

Kvalitetsterm	Metod	A	B	C	Totalt
68:e percentilen	VRS	22	20	21	21
	Auto	23	21	25	23
	Gävle	22	28	21	24
	Leksand*	25	24	22	25
95:e percentilen	VRS	42	41	34	40
	Auto	43	44	40	43
	Gävle	49	47	45	47
	Leksand*	43	51	45	48
Riktighet (Medelavvikelse)	VRS	12	1	-14	0
	Auto	13	11	-17	2
	Gävle	12	14	-10	6
	Leksand*	12	12	-16	3
Precision (standardavvikelse)	VRS	17	23	14	21
	Auto	19	19	15	22
	Gävle	22	22	20	24
	Leksand*	21	23	17	24
Noggrannhet (medelfel)	VRS	21	23	19	21
	Auto	23	22	23	22
	Gävle	25	26	23	24
	Leksand*	24	26	23	25

Tabell 4: Kvalitetsvärden i höjd (mm) för mätpunkterna A-C samt sammanräknat (totalt) för punkterna. VRS anger virtuell referensstation, Auto anger nätverksmeddelande med automatiskt nät, Gävle anger nätverksmeddelande med statiskt nät och Gävle som masterstation och Leksand anger nätverksmeddelande med statiskt nät och Leksand som masterstation. *Värdena för Leksand grundar sig enbart på mätningarna med Trimble-mottagaren.

4.2 Initialiseringstider och andel lyckade initialiseringar

Värdena för initialiseringstid i tabell 5 är beräknade utifrån samtliga lyckade initialiseringar, det vill säga utan att räkna in de 14 mätningar där inte initialisering uppnåddes. I tabellen redovisas även andelen lyckade initialiseringar.

	Metod	A	B	C	Totalt
Initialiseringstid Medel (sekunder)	VRS	34	23	20	25
	Auto	38	32	44	38
	Gävle	41	34	40	38
	Leksand*	44	44	39	42
Initialiseringstid Median (sekunder)	VRS	23	20	19	20
	Auto	37	32	36	36
	Gävle	36	35	37	36
	Leksand*	39	38	39	39
Andel lyckade initialiseringar (%)	VRS	98	100	99	99
	Auto	97	100	99	99
	Gävle	98	99	97	98
	Leksand*	100	98	100	99

Tabell 5: Initialiseringstider och andel lyckade initialiseringar för mätpunkterna A-C samt sammanräknat (totalt) för punkterna. VRS anger virtuell referensstation, Auto anger nätverksmeddelande med automatiskt nät, Gävle anger nätverksmeddelande med statiskt nät och Gävle som masterstation och Leksand anger nätverksmeddelande med statiskt nät och Leksand som masterstation. *Värdena för Leksand grundar sig enbart på mätningarna med Trimble-mottagaren.

4.3 Resultat för respektive fabrikat

I detta avsnitt presenteras resultatet för de två olika mottagarna, Leica GX1230 och Trimble R8, som använts i testet.

4.3.1 Mätnoggrannhet

Tabell 6 och 7 visar avvikelser på 68 %- och 95 %-nivå, riktighet, precision och noggrannhet för mätningarna med var och en av mottagarna i både plan och höjd.

Kvalitetsterm	Metod	Leica	Trimble
68:e percentilen	VRS	11	15
	Auto	9	16
	Gävle	15	12
	Leksand	–	16
95:e percentilen	VRS	19	25
	Auto	20	27
	Gävle	26	24
	Leksand	–	26
Riktighet (medelavvikelse)	VRS	6	9
	Auto	4	8
	Gävle	7	5
	Leksand	–	7
Precision (standardavvikelse)	VRS	9	12
	Auto	9	13
	Gävle	12	12
	Leksand	–	14
Noggrannhet (medelfel)	VRS	11	15
	Auto	10	16
	Gävle	14	13
	Leksand	–	15

Tabell 6: Kvalitetsvärden i plan (mm) för respektive fabrikat, där VRS anger virtuell referensstation, där Auto anger nätverksmeddelande med automatiskt nät, där Gävle anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Gävle som masterstation och där Leksand anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Leksand som masterstation.

Kvalitetsterm	Metod	Leica	Trimble
68:e percentilen	VRS	20	22
	Auto	21	24
	Gävle	22	27
	Leksand	–	25
95:e percentilen	VRS	34	46
	Auto	41	43
	Gävle	41	50
	Leksand	–	48
Riktighet (medelavvikelse)	VRS	-1	1
	Auto	-1	6
	Gävle	6	5
	Leksand	–	3
Precision (standardavvikelse)	VRS	18	24
	Auto	21	23
	Gävle	21	27
	Leksand	–	24
Noggrannhet (medelfel)	VRS	18	24
	Auto	21	24
	Gävle	21	27
	Leksand	–	25

Tabell 7: Kvalitetsvärden i höjd (mm) för respektive fabrikat, där VRS anger virtuell referensstation, där Auto anger nätverksmeddelande med automatiskt nät, där Gävle anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Gävle som masterstation och där Leksand anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Leksand som masterstation.

4.3.2 Initialiseringstider och andel lyckade initialiseringar

Värdena för initialiseringstid i tabell 8 är beräknade utifrån samtliga lyckade initialiseringar med respektive fabrikat, de mätningar där inte initialisering uppnåddes har inte räknats med. Andelen lyckade initialiseringar redovisas även för Leicas mätningar mot Leksand. Totalt har 99 försök till initialisering gjorts med Leica mot Leksand och i alla övriga fall har 150 försök gjorts.

	Metod	Leica	Trimble
Initialiseringstid Medel (sekunder)	VRS	27	24
	Auto	36	40
	Gävle	36	41
	Leksand	–	41
Initialiseringstid Median (sekunder)	VRS	21	19
	Auto	25	38
	Gävle	25	38
	Leksand	–	39
Andel lyckade initialiseringar (%)	VRS	99	99
	Auto	97	100
	Gävle	97	99
	Leksand	19	99

Tabell 8: *Initialiseringstider och andel lyckade initialiseringar för respektive fabrikat, där VRS anger virtuell referensstation, där Auto anger nätverksmeddelande med automatiskt nät, där Gävle anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Gävle som masterstation och där Leksand anger nätverksmeddelande med statistiskt nät och Leksand som masterstation.*

4.3.3 Förflyttningstest

Förflyttningstestet genomfördes med endast ett fåtal försök eftersom det fanns oklarheter vad som orsakade byte av masterstation. Vid start i Skärplinge initialiserades mottagaren med Söderboda som masterstation i det automatiska nätet. Vid förflyttningen behölls Söderboda som masterstation till dess att baslinjen blev cirka 50 kilometer, då byttes masterstation automatiskt till Gävle och baslinjen dit blev cirka 25 kilometer.

Vid förflyttning med mottagaren initialiserad mot en VRS behölls samma position för VRS:en tills baslinjen mellan mottagare och VRS blev strax över fem kilometer. VRS-positionen ändrades inte vid de tillfällen då absolutposition tillfälligt tappades.

5 Diskussion

Valet av mätpunkterna styrdes av möjligheten att undersöka om avståndet mellan mottagare och masterstation har betydelse för kvaliteten och tid till fixlösning. Valet av masterstation i det automatiska nätet kunde också undersökas med hjälp av dessa punkter. Två mottagare användes för att kunna visa att mer än ett fabrikat klarar av tekniken och för att få en bättre uppfattning av hur tekniken fungerar och inte bara hur en enskild mottagare fungerar med tekniken, samt för att få ett mer allmängiltigt resultat med avseende på precision, riktighet och initialiseringstider.

På grund av den felaktiga inställningen av antennenmodell i Leica-mottagaren gjordes mätningar för att komma fram till en korrektion för justering av mätvärdena. Det är svårt att avgöra hur den felaktiga inställningen påverkade spridningen av mätningarna och om initialiseringstiderna påverkades. Enligt korrektionsmätningarnas standardavvikelse försämrades inte precisionen.

För alla mätmetoderna ligger mätningarnas tyngdpunkt i plan något åt syd eller sydväst. Det finns även en tendens till större spridning i nord-sydlig riktning än i öst-västlig. Den spridningen finns även i flera tidigare studier (Kjørsvik, 2002; Häkli, 2004; Jämnäs & Ahlm, 2005) av GNSS på nordligare breddgrader. Att mätningarna fördelar sig så beror på satelliternas spridning över himlen, eftersom de har en bättre geometri i öst-västlig riktning.

När det gäller höjdvärdena finns det systematiska avvikelser från de värden som har betraktats som sanna på punkterna, värden som dock har en viss osäkerhet. De systematiska avvikelserna är dock inte lika stora eller har samma tecken för alla punkterna. Totalt sett så tar punkternas avvikelser ut varandra och därför kan det vara fel i de enskilda punkternas koordinater som är upphovet till avvikelserna. Största avvikelsen finns i punkt C som i genomsnitt för alla metoderna har en medelavvikelse på ca -14 mm. Mätningarna gjorda med Leica och statistiskt nät med Gävle som masterstation skiljer sig också mot de övriga mätningarna på punkt C. Där är medelavvikelsen -3 till skillnad mot de övriga mätningarna som ligger runt -16 mm (tabell 9).

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (medelavvikelse)	-13	-19	-3	-14	-15	-17	-16

Tabell 9: Medelavvikelse i höjd för punkt C (mm). Utdrag ur bilaga B.

I den här studien fanns några mätningar som fick långa initialiseringstider eller ingen fixlösning med nätverksmeddelande.

En märkbar ökning av sådana mätningar kom över ett par serier då det noterades att vädret skiftade relativt snabbt mellan klart och mullet med mörka regnmoln. Att det tog längre tid att få fixlösning orsakades kanske av att beräkningen av troposfärmodellen i mottagaren tagit längre tid att genomföra. Med VRS-tekniken påverkades inte mätningarna av dessa väderförändringar i någon större grad vilket möjligtvis kan förklaras med att VRS-positionen är beräknad med hjälp av en troposfärmodell som kontinuerligt beräknas i nätverks-RTK-servern. Även med VRS fanns några initialiseringstider som var höga, men det är svårt att se vad dessa beror på. Generellt så har nätverksmeddelande längre initialiseringstider än VRS i den här studien. Det kan eventuellt bero på antalet hjälpstationer som användes för nätverksmeddelande. Vid ett förtest (Holmberg, 2008) av nätverksmeddelande på Lantmäteriet användes färre hjälpstationer än i denna studie för det automatiska nätet. Det gav en medelinitialiseringstid på 24 sekunder mot 38 sekunder i denna studie. Antalet mätningar med automatiskt nät i den studien var endast 32 stycken, vilket ger en viss osäkerhet i resultatet. En jämförelse mellan resultaten kan tyda på att färre hjälpstationer ger kortare initialiseringstider. Det kan bero på att interpolationen av nätverkskorrektioner går snabbare om referensstationerna är mer samlade och färre till antalet.

Den största skillnaden mellan mätresultaten blev med Leksand som masterstation vid mätning med Leicas mottagare. Avståndet från mätpunkterna till Leksand är mellan 131 och 160 km. Det medförde att Leica-mottagaren hade stora svårigheter med initialiseringen, och enbart 19 av 99 mätningar fick fixlösning. Av dessa 19 mätningar hade 14 en avvikelse under 30 mm i plan. I höjd var det 3 mätningar som avvek mindre än 45 mm. Som jämförelse kan nämnas att Trimble med Leksand som förvald masterstation hade 99 % lyckade mätningar. 145 av 148 avvek mindre än 30 mm i plan och 142 avvek mindre än 45 mm i höjd. I Leica-mottagaren, med version 5.0 eller senare av programvaran, finns det en inbyggd begränsning för avståndet mellan mottagare och masterstation på 200 km (Brown, 2008). I tidigare versioner är avstånds begränsningen 90 km. Enligt detta skulle det gå bra att mäta med Leica-mottagaren mot Leksand, men problemen kan även bero på att tekniken är ny och det därför fanns oklarheter i hur mottagaren skulle konfigureras.

Finns det behov av långa avstånd till en masterstation? Det skulle kanske i så fall vara användare som befinner sig där det är glest mellan referensstationerna, som t.ex. sjöfarten. Det som testet inte undersökt är på vilket avstånd gränsen går för en säker fixlösning med Leica-mottagaren. För detta borde fler mätningar gjorts för att täcka in avståndet mellan 40 och 131 km. Exempelvis kan nämnas att inställningen för referensnätverk enligt Leica i Sverige skulle stå på VRS även vid mätning med nätverksmeddelande, medan Leica i

Schweiz angav att den skulle stå på MAX. Vid mätningarna användes inställningen MAX. Precisionen för Trimble är något sämre än för Leica för alla metoder (undantag i plan med statistiskt nät Gävle), vilket kanske visar att algoritmerna i Trimbles mottagare använder de utsända observationerna på ett annat sätt än Leica.

Det som skulle kunna underlätta för användaren när det gäller användning av statistiskt nät och val av masterstation är om mottagaren själv kunde avgöra vilken station som är närmast från listan av anslutningspunkter.

5.1 Förflyttningsförsök

Vid förflyttning över stora avstånd med VRS-metoden kan det bli avbrott i mätningarna varje gång mottagaren måste göra nya initialiseringar när avståndet till den virtuella referensstationen blir för långt. Ett av målen med examensarbetet var att testa förflyttning över ett längre avstånd med nätverksmeddelande.

Eftersom det finns ett behov av kontinuerlig tillgång till noggrann positionering (beskrivet i avsnitt 2.8.3) genomfördes försök av hur längre förflyttningar påverkar valet av masterstation i ett automatiskt nät. Dessutom testades VRS-tekniken och byte av VRS-position vid förflyttning. Resultatet av försöken med förflyttning bör tolkas med försiktighet eftersom endast ett par försök genomfördes och endast Leica-mottagaren användes. Under förflyttningarna tappades även både fixlösning och absolut position vid flera tillfällen, vilket ytterligare bidrar till osäkerheten i resultatet.

Om bytet av masterstation berodde på avståndet till respektive referensstation eller på att en ominitialisering gjordes av annan anledning är svårt att veta, eftersom testet stördes av dåliga förhållanden efter vägen.

Nätverksmeddelande med RTCM 3.1 kan vara en bra lösning för användare som behöver mäta kontinuerligt under förflyttning över långa avstånd. Eftersom den marina marknaden enligt Olsson (2008) potentiellt är mycket stor, tycker vi att tekniken med nätverksmeddelande bör utprovas ytterligare med inriktning mot sjöfarten. Då bör även utsändning med radioteknik eller liknande testas för att RTK-tjänsten ska uppnå den tillgängligheten som sjöfarten efterfrågar. Sjöfartsverket (2008) efterfrågar även internationellt samarbete för standardisering, modellering och datadistribution.

5.2 Framtiden

Framtiden för nätverksmeddelande kommer nog att påverkas av hur efterfrågan är på envägsutsända nätverks-RTK-tjänster. Finns det kunder som har behov av precisionspositionering och som dessutom

vill att den ska vara kontinuerlig utan avbrott? Som nämnts tidigare finns det behovet hos vissa aktörer och dessa vill ta del i utvecklingen av konceptet. Det som talar emot utvecklingen av nätverksmeddelande är att den nuvarande VRS-tekniken än så länge är säkrare och snabbare. Var ska tyngdpunkten av beräkningarna ligga? Det som ska vägas in är till största delen bandbredden och beräkningskapaciteten (Talbot et al., 2002). För noggranna mätningar bör korrektionerna uppdateras ofta och det är beroende av ett snabbt överföringsformat eller komprimerad data. Enligt Brown et al. (2005) finns det vissa nackdelar med metoder där beräkningen sker i nätverks-RTK-servern. En av dessa är att informationen till mottagaren beror på mjukvaran i servern och att det kan påverka vilken data som mottagaren får tillgång till. En annan är att tvåvägskommunikation begränsar antalet som kan använda nätverket samtidigt. Nätverksmeddelande med envägs-kommunikation tillåter i princip ett obegränsat antal användare utan att öka belastningen på beräkningsservern.

Hur utvecklingen med nätverksmeddelande går är svårt att avgöra eftersom det varit svårt att hitta nyare artiklar om nätverksmeddelande, och de informationskällor som är av senare datum inte kan ses som vetenskapliga. Dessutom finns andra koncept under utveckling som kanske kan konkurrera om de kan erbjuda bättre noggrannhet, täckning och snabbhet. Ett exempel är SSR (se avsnitt 2.10) som kanske kan vara ett alternativ till nätverksmeddelande? Enligt Wübbena, Schmitz och Bagge (2005) så kan även PPP-RTK kunna sända ut data med envägs-kommunikation.

Kommer konceptet med nätverksmeddelande att kunna använda GLONASS blir det en förbättring som tillsammans med utvecklingen av utsändningsteknik och mottagare borde göra att konceptet blir mer intressant för fler användare. I framtiden kommer också troligtvis flera leverantörer av GNSS-utrustning att stödja RTCM 3.1 om det finns en efterfrågan på i första hand envägsutsändning av nätverksmeddelande.

6 Slutsatser och framtida studier

Resultaten av mätningarna visar inte på någon större skillnad i kvalitetstalen mellan de båda nätverks-RTK-teknikerna VRS och nätverksmeddelande. Inte heller mellan nätverksmeddelande med användande av det automatiska nätet och nätverksmeddelande med användande av de statiska näten finns någon större skillnad. De enda resultaten som skiljde sig från övriga var mätningarna med Leica i det statiska nätet med Leksand som masterstation, eftersom att Leica hade problem med att få fixlösning. Det beror på att avståndet till masterstationen i Leksand med den använda utrustningen var för långt. I övrigt var resultaten för Leica marginellt bättre än för Trimble.

Initialiseringstiden med nätverksmeddelande är något längre än för VRS i den här studien. Nätverksmeddelande kan även ha svårare att uppnå fixlösning, speciellt om troposfärsförhållandena är ostadiga.

Det går att förflytta sig längre sträckor med nätverksmeddelande än med VRS utan att behöva initialisera om mottagaren.

Det finns många frågor som kan ställas för effektivare användning av nätverksmeddelande. Bland annat om initialiseringstid och noggrannhet påverkas av delnätens storlek. Om det finns ett sådant samband kan ytterligare studier behövas för att fastställa hur stora delnäten bör vara med avseende på antalet referensstationer.

Dessutom bör det undersökas vilken kvalitet tekniken med nätverksmeddelande ger under förflyttning och vad som händer när avståndet till den använda masterstationen ökar. När och hur sker bytet av masterstation och hjälpstationer i automatiska nät när avståndet ökar kontinuerligt? Hur ska bytet gå till i statiska nät om mottagaren förflyttas längre sträckor? Behövs ett byte av masterstation om statiska nät används, och i så fall på vilket avstånd? Detta är frågor som kan behöva besvaras om konceptet med nätverksmeddelande ska kunna utvecklas för användare som behöver precisionspositionering under förflyttning över längre avstånd.

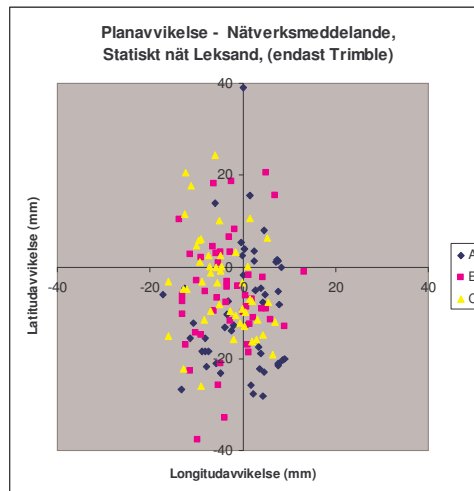
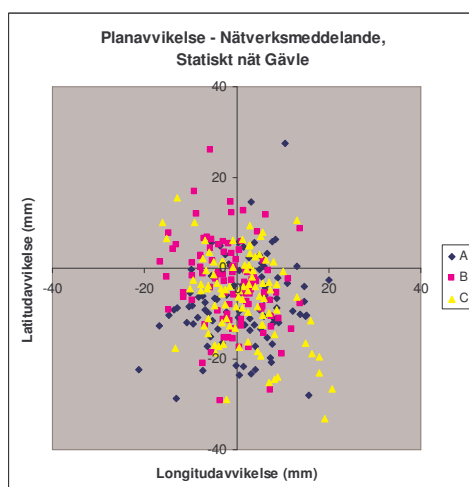
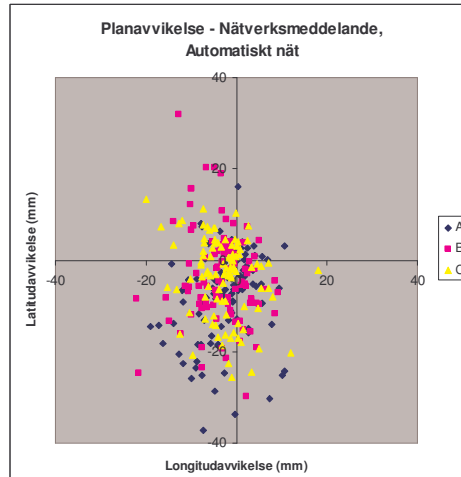
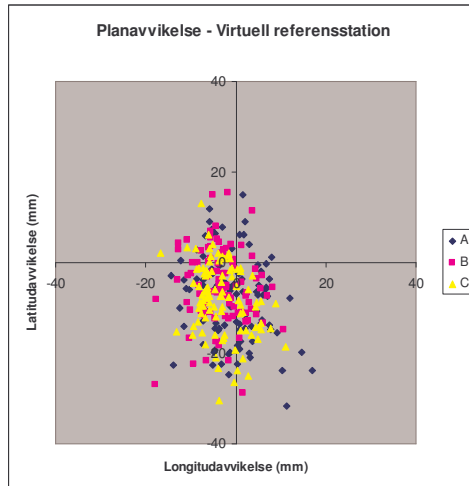
Referenser

- Brown, N. *et al.* (2005) 'Advances in Ambiguity Resolution for RTK Applications Using the New RTCM V3.0 Master-Auxiliary Messages', *ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*. Long Beach, USA, 13-16 september 2005. ION GNSS, s. 73-80.
- Brown, N., Geisler, I. & Troyer, L. (2006) 'RTK Rover Performance using the Master-Auxiliary Concept', *Journal of Global Positioning Systems*, 5 (1-2), s. 135-144.
- Brown, N. (2008) *Testing MAC*. E-post till Gunnar Hedling, Lantmäteriet, 7 april.
- Euler, H.-J., Townsend, B. & Wübbena, G. (2002) 'Comparison of Different Proposals for Reference Station Network Information Distribution Formats', *15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*. Portland, USA, 24-27 september 2002. ION GPS.
- Holmberg, T. (2008) *Testmätningar av RTCM nätverksmeddelanden*, Lantmäteriet, internt PM.
- Häkli, P. (2004) 'Practical Test on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland', *FIG Working Week*, Aten, Grekland, 22-27 maj 2004.
- Jämtnäs, L. & Ahlm, L. (2005) *Fältstudie av Internetdistribuerad nätverks-RTK*. Gävle: Lantmäteriet, (LMV-rapport 2005:4).
- Kjørsvik, N. (2002) *Assessing the Multi-Base Station GPS Solutions*, *FIG XXII International Congress*. Washington D.C., USA, 19-26 april 2002.
- Landau, H., Vollath U. & Chen X. (2002) 'Virtual Reference Station Systems', *Journal of Positioning Systems*, 1 (2), s. 137-143.
- HMK-Ge:S (1993) *HMK-Geodesi, Stommätning*. Gävle: Lantmäteriverket.
- Lilje, C., Engfeldt, A. & Jivall, L. (2007) *Introduktion till GNSS*. Gävle: Lantmäteriet, (LMV-rapport 2007:11).
- Lin, M. (2006) *RTCM 3.0 Implementation in Network RTK and Performance Analysis*. MSc thesis. University of Calgary, Department of geomatics engineering, Calgary, Canada.
- Misra, P. & Enge, P. (2006) *Global Positioning System – Signals, Measurements, and Performance*. 2. uppl. Lincoln, USA: Ganga-Jamuna Press.

- Norin, D., Jonsson, B. & Wiklund, P. (2008) 'SWEPOS™ and its GNSS-based Positioning Services', *FIG Working Week 2008*. Stockholm, Sverige, 14-19 juni 2008
- Olsson, U., & Jakobsson, L. (2008) *RTK för marina applikationer*. Norrköping: Sjöfartsverket.
- Olsson, U. (2008) *Sjömätning och nätverks-RTK*. E-post till Daniel Johansson och Sören Persson, 14 maj.
- RTCM (2005) *Summary of 4th step in interoperability testing for Network RTK By Leica Geosystems AG*, Arlington, USA: Radio Technical Commission for Maritime Services.
- RTCM (2006) *RTCM Standard 10403.1 - Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3*. Arlington, USA: Radio Technical Commission for Maritime Services.
- Talbot, N. *et al.* (2002) 'Broadcast Network RTK – Transmission Standards and Results', *15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*. Portland, USA, 24-27 september 2002. ION GPS.
- Trimble Ltd. (2005a) *Support of network formats by Trimble GPSNet network RTK solutions*, Trimble Navigation Ltd. White paper. Tillgänglig på: http://www.trimble.com/survey_wp_scalable.asp?Nav=Collection-33413 (Hämtad: 2008-05-23).
- Trimble Ltd. (2005b). *Trimble GPSNet Software Technical Notes*. Trimble Navigation Ltd. Tillgänglig på: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140015/022543-121B_GPSNet_TN_0306_lr.pdf (Hämtad: 2008-05-23).
- Wübbena, G., Schmitz, M. & Bagge, A. (2005) 'PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks', *ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*. Long Beach, USA, 13-16 september 2005. ION GNSS.
- Wübbena, G. & Bagge, A. (2006) *RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP*, Geo++ GmbH White Paper Nr. 2006.01. Tillgänglig på: <http://www.geopp.de/download/geopp-rtcm-fkp59-1.1.pdf> (Hämtad: 2008-05-23).

Bilaga A - Planavvikelser

Avvikelser för mätningarna på testpunkterna A, B och C i plan fördelade på respektive metod.



Metod	Longitudavvikelse (mm)	Latitudavvikelse (mm)
VRS	-14	-43
Automatiskt nät	-15	-41
Statiskt nät Gävle	-16	-41
Statiskt nät Gävle	-11	-47

Avvikelser utanför diagrammens områden.

Kvalitetsvärden i plan (mm) för punkt A, B och C för respektive fabrikat.

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (medelavvikelse)	8	6	9	8	12	8	10
Precision (standardavvikelse)	10	10	11	13	13	15	15
Noggrannhet (medelfel)	13	11	14	15	17	17	18

Punkt A.

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (medelavvikelse)	5	6	4	9	4	4	7
Precision (standardavvikelse)	7	10	11	12	14	12	14
Noggrannhet (medelfel)	9	11	11	15	14	13	15

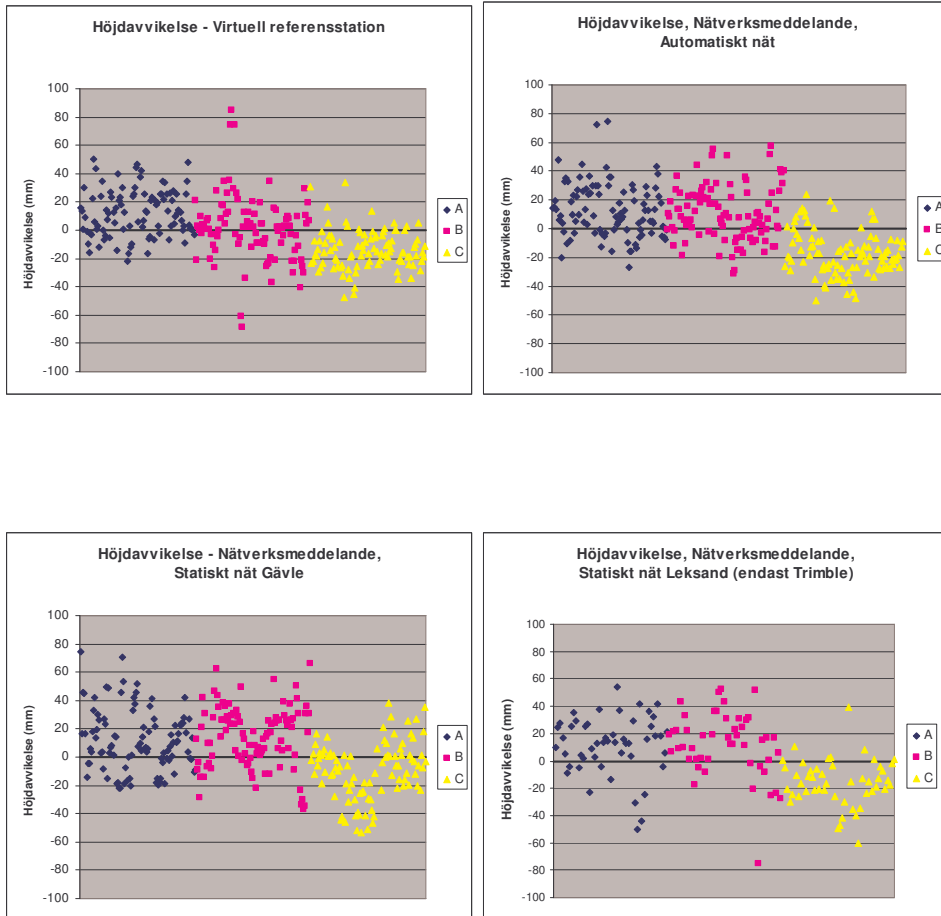
Punkt B.

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (medelavvikelse)	7	3	10	10	10	4	6
Precision (standardavvikelse)	8	7	14	10	12	9	12
Noggrannhet (medelfel)	10	8	17	15	15	10	13

Punkt C.

Bilaga B – Höjdavvikelser

Avvikelser för mätningarna på testpunkterna A, B och C i höjd fördelade på respektive metod.



Kvalitetsvärden i höjd (mm) för punkt A, B och C för respektive fabrikat.

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (medelavvikelse)	13	7	8	11	19	15	12
Precision (standardavvikelse)	15	15	16	18	20	26	21
Noggrannhet (medelfel)	20	17	17	21	27	30	24

Punkt A.

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (medelavvikelse)	-4	8	13	6	13	15	12
Precision (standardavvikelse)	17	21	23	27	16	20	23
Noggrannhet (medelfel)	17	22	26	28	21	25	26

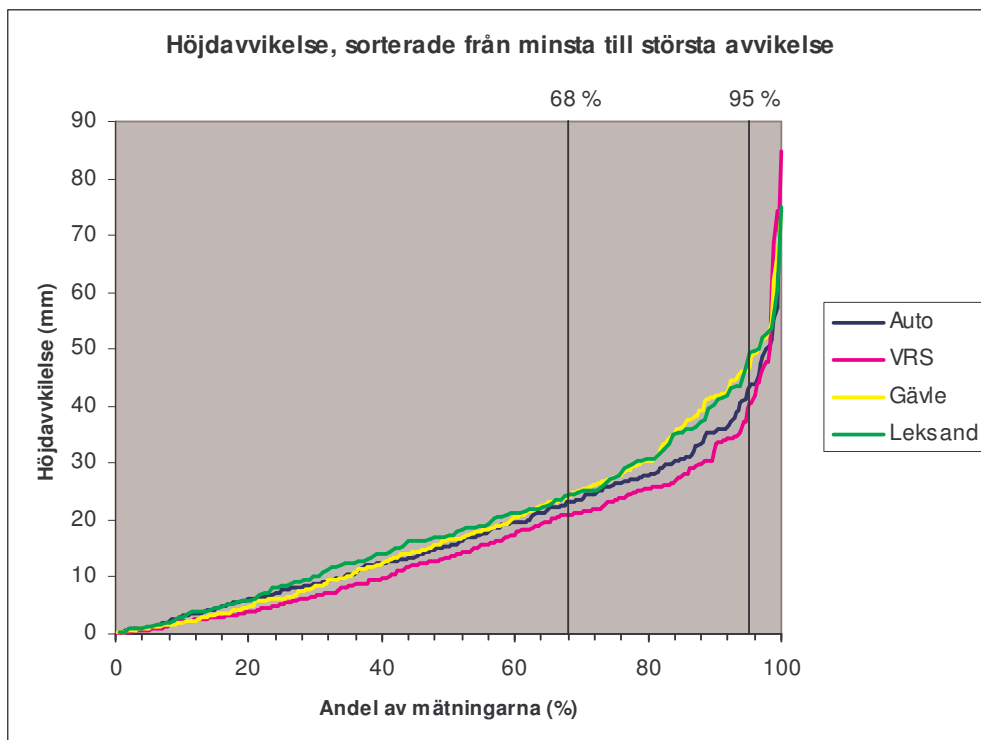
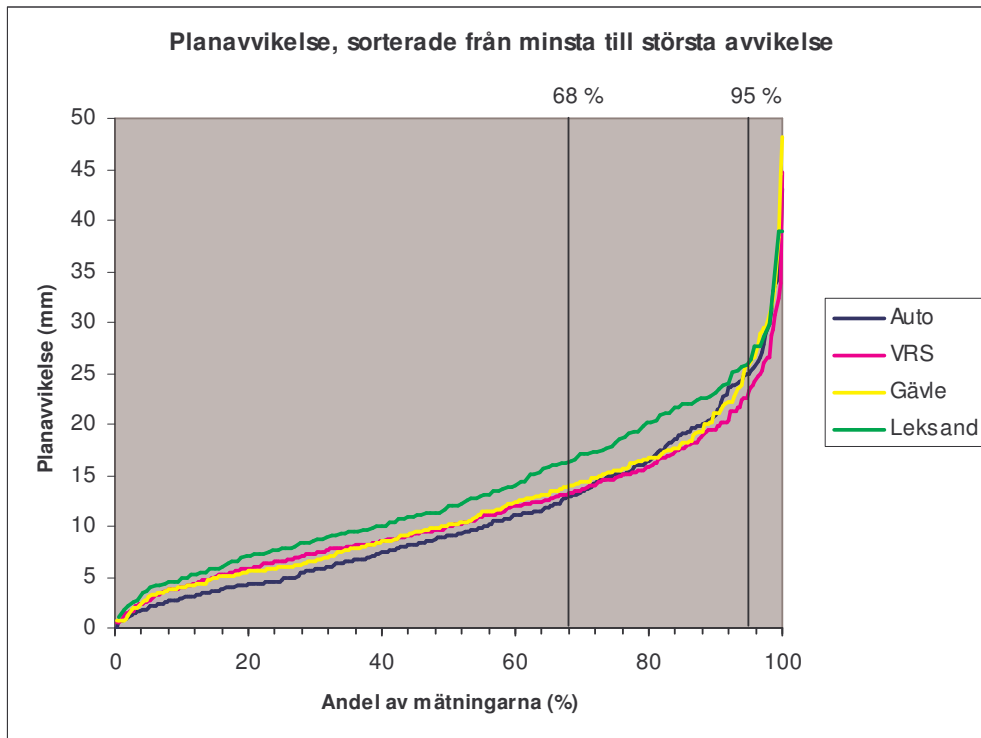
Punkt B.

	Leica			Trimble			
	VRS	Auto	Gävle	VRS	Auto	Gävle	Leksand
Riktighet (Medelavvikelse)	-13	-19	-3	-14	-15	-17	-16
Precision (Standardavvikelse)	11	12	19	16	18	19	17
Noggrannhet (Medelfel)	17	23	19	22	23	25	23

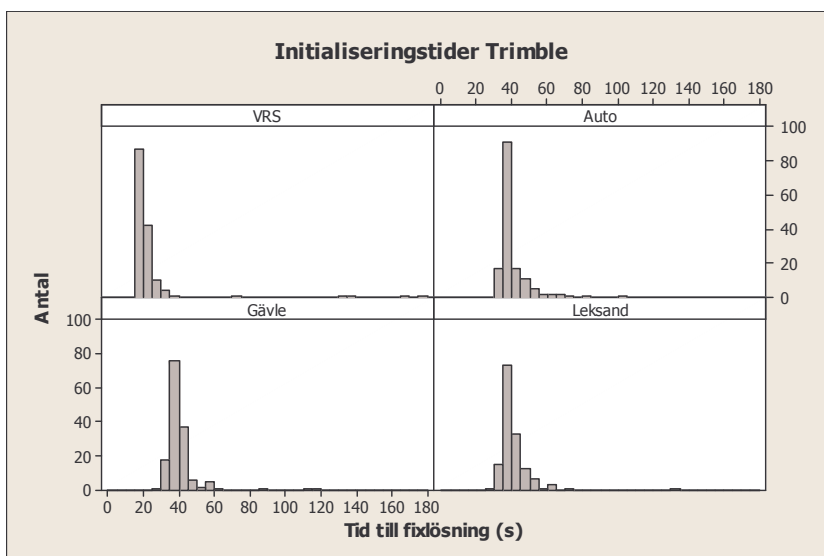
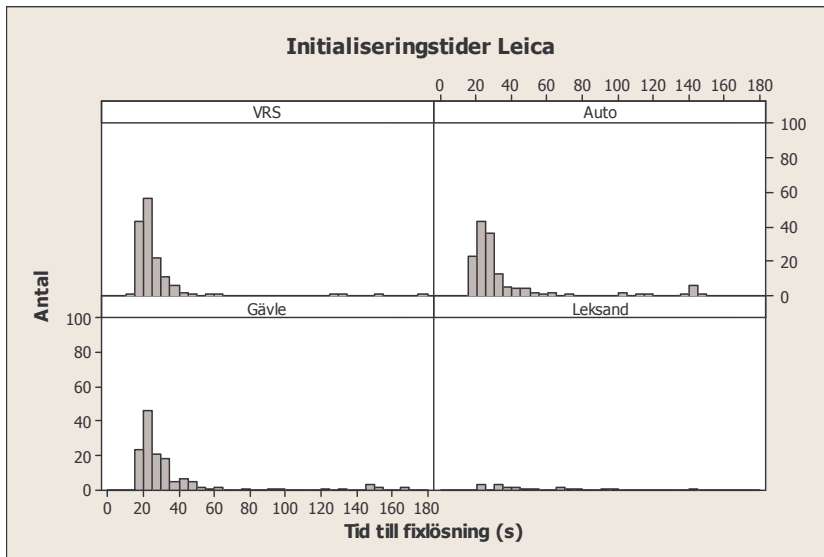
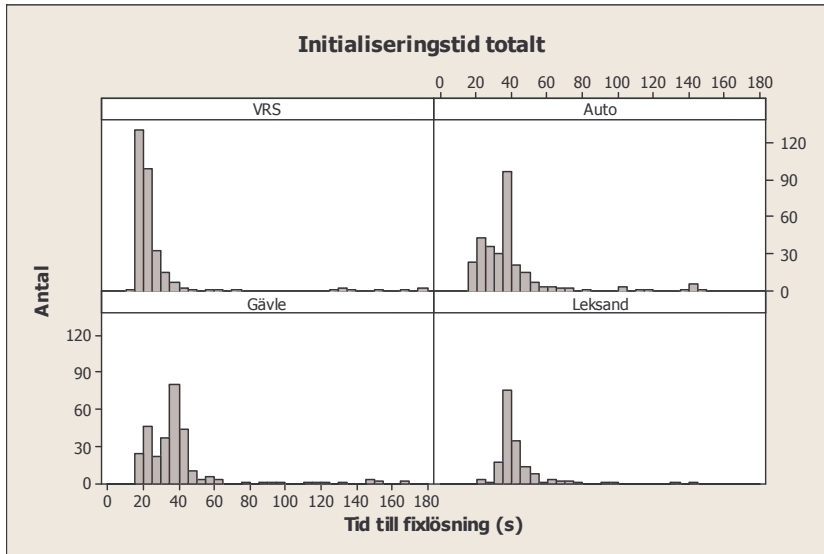
Punkt C.

Bilaga C – Kumulativ fördelning av avvikelser

I diagrammen presenteras den kumulativ fördelning av avvikelserna i plan respektive höjd för de olika metoderna (för Leksand ingår endast Trimble-mätningarna).

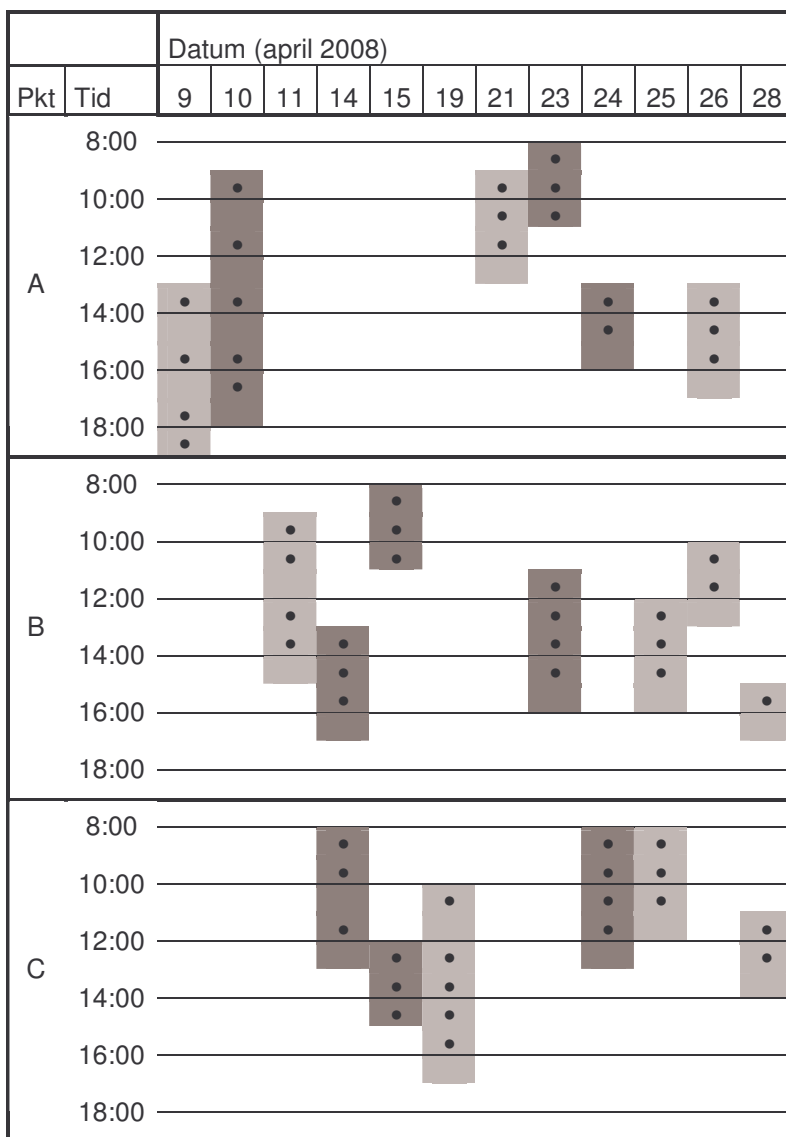


Bilaga D – Initialiseringstider



Bilaga E - Mätschema

Tabellen visar hur mätningarna fördelades över dagarna, tidpunkten för mätning under dagarna, när varje mätserie påbörjades samt när de olika instrumenten användes.



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 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 höjdmodell laserskanning, Testprojekt Falun.
- 2006:4 Klang Dan: KRIS-GIS® projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdmodeller.
- 2006:5 von Malmborg Helena: Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS.
- 2006:8 Wennström Hans-Fredrik (ed.): Struve Geodetic Arc 2006 International Conference – the Struve arc and extension in space and time.
- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.
- 2007:1 Johansson Fredrik & Wallerström Mattias: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS.
- 2007:4 Ågren Jonas & Svensson Runar: Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH 2000.
- 2007:8 Halvardsson Daniel & Johansson Joakim: Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK.
- 2007:10 Lidberg Martin & Lilje Mikael: Evaluation of monument stability in the SWEPOS GNSS network using terrestrial geodetic methods - up to 2003.
- 2007:11 Lilje Christina, Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Introduktion till GNSS.
- 2007:12 Ivarsson Jesper: Test and evaluation of SWEPOS Automated Processing Service.
- 2007:14 Lilje Mikael, Eriksson Per-Ola, Olsson Per-Anders, Svensson Runar, Ågren Jonas: RH 2000 och riksavvägningen.

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