

Väst-RTK

– nätverks-RTK i
produktionstest
i västra Sverige

Christina Kempe

Gävle 2004

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2004-06-28

Författare Christina Kempe

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 62

LMV-rapport 2004:11 – ISSN 280-5731

Väst-RTK

– nätverks-RTK i
produktionstest
i västra Sverige

Christina Kempe



Förord

Under tidsperioden 2002-2003 genomfördes tre projekt för att testa nätverks-RTK-tekniken i produktionstillämpningar: Position Stockholm-Mälaren - 2 i Stockholmsområdet, SKAN-RTK - 2 i Skåneområdet och Väst-RTK i västra Sverige. Alla tre projekten finns utförligt dokumenterade på www.swepos.com under rubriken Nätverks-RTK. Denna rapport utgör slutrapport för projekt Väst-RTK

Lantmäteriverket vill härmed också tacka alla intressenter, som bidragit till finansieringen av dessa projekt och som tillsammans med leverantörerna av GPS-utrustning deltagit i utvärderingen av nätverks-RTK-tekniken.

Gävle i juni 2004

Christina Kempe

Väst-RTK

Förord		V
1	Sammanfattning	9
2	Bakgrund	11
2.1	Varför nätverks-RTK?	11
2.2	Syfte med Väst-RTK	12
3	Projektorganisation	13
3.1	Intressenter	14
3.2	Projektgrupp	15
3.3	Styrgrupp	15
3.4	Aktivitetslista och tidplan	15
3.5	Finansiering	17
4	Infrastruktur	17
4.1	SWEPOS®	17
4.2	Utbyggnad av SWEPOS®	19
4.3	Nätutformning	20
5	Nätverks-RTK-tekniken	21
5.1	Hur fungerar det?	21
5.2	Nätverks-RTK-programvaran	22
6	Aktiviteter i projektet	23
6.1	Kick-offträff	23
6.2	Grundläggande GPS-utbildning	24
6.3	Uppstartsdagar	24
6.4	Låneutrustning	25
6.5	Användarseminarium	25
7	Användning av nätverks-RTK	27
7.1	Funktionsrapporter	27
7.2	Användarstatistik	28

8	Testmätningar	31
8.1	Genomförande av testmätningar	31
8.2	Resultat	33
8.2.1	Alla mätningar i projektet	33
8.2.1.1	Avstånd till närmaste referensstation	35
8.2.1.2	Antal satelliter	36
8.2.1.3	GPS-mottagarens kvalitetstal	36
8.2.2	Programvaruversionsbyte - GPSNet	37
8.2.3	Tidsserier	39
8.2.4	Jämförelse mot egen referensstation	39
8.2.5	Jämförelse av olika mottagarfabrikat	41
9	Diskussion och slutsatser	41
9.1	Diskussion	41
9.2	Slutsatser	43
10	Vad händer efter projektet?	44
10.1	SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst	44
10.2	Etableringsprojekt	45
10.3	SWEPOS referensgrupp	48
	Referenser	49
	Bilaga 1 - Alla mätningar	50
	Bilaga 2- Avstånd till referensstation	52
	Bilaga 3 - Antal satelliter	53
	Bilaga 3 - Antal satelliter	54
	Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal	55
	Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal	56
	Bilaga 5 - Tidsserier	58
	Bilaga 6 - Jämförelse mot egen referensstation	59

Väst-RTK

1 Sammanfattning

En allt större del av vårt mättningsarbete utförs nu med GPS. RTK är nu en fungerande teknik för till exempel praktisk detaljmätning med centimeternoggrannhet. I sin ursprungliga form kräver den att användaren själv etablerar en tillfällig referensstation med tillhörande radiolänk innan centimeternoggrannhet med en rörlig enhet – rover – kan uppnås.

En del större organisationer, t.ex. kommuner, har valt att använda fasta referensstationer. Egna fasta referensstationer kräver investeringar för etableringen och kan innebära att egen specialkompetens för driften behöver byggas upp. Detta gäller särskilt om data skall erbjudas utanför den egna organisationen. Det praktiska giltighetsområdet för korrektionsdata är dessutom begränsat till 10-20 km från referensstationen, främst på grund av jonosfärens inverkan. Efter hand som antalet lokala referensstationslösningar ökar kan det också bli problem med tillgängliga radiofrekvenser för överföring av korrektionsdata mellan referensstation och mätpunkt.

Ett alternativ till traditionell enkelstations-RTK är att låta fasta referensstationer samverka i ett nätverk, s.k. nätverks-RTK. Det innebär att avståndet mellan de fasta referensstationerna kan ökas med bibehållen prestanda. Vidare innebär nätverks-RTK för användaren ett sammanhängande täckningsområde med ständig kvalitetskontroll.

Lantmäteriet / SWEPOS® har i samarbete med 42 andra intressenter i västra Sverige etablerat ett nät av fasta referensstationer för produktions-test av nätverks-RTK. Nätet har drivits som ett samarbetsprojekt och pågått mellan 9 april 2002 och 31 december 2003. Bland projektets intressenter finns stora och små kommuner, statliga verk och konsulter. Även leverantörer av GPS-utrustning i Sverige har bidragit till projektet.

Projektets syfte var att undersöka förutsättningarna för att förverkliga nätverks-RTK-tekniken för produktionsmätning i västra Sverige. Projektets intressenter har under projektiden bidragit med testmätningar som sedan granskats och sammanställts. Analyser har gjorts med avseende på bl.a. noggrannhet, avståndsberoende och vilka faktorer som påverkar resultatet.

Plankomponentens noggrannhet enligt dessa analyser är 34 mm och höjdkomponentens 69 mm (95% konfidensnivå).

För att genom detta projekt få en uppfattning om hur användarna bedömer teknikens användbarhet har särskilda funktionsrapporter sätts in och sammanställts. Dessa visar att merparten av användarna tycker att nätverks-RTK har fungerat bra eller mycket bra under huvuddelen av användningen.

Nätverks-RTK-tekniken, som fortfarande får betraktas som relativt ny, har visat sig ha i stort sett samma prestanda som enkelstations-RTK vid korta baslinjer och avsevärt bättre vid längre baslinjer. Dessutom pågår en ständig utveckling av tekniken vilket sannolikt betyder att dess prestanda kommer att förbättras ytterligare framöver.

Parallellt med Väst-RTK har även två systemprojekt pågått: SKAN-RTK - 2 (Johansson, 2004) och Position Stockholm-Mälaren - 2 (Wiklund, 2004). Referensstationerna som etablerades i samband med dessa projekt har nu permanentats och utgör tillsammans den nätverks-RTK-tjänst som erbjuds sedan den 1 januari 2004. Mer om nätverks-RTK-tjänsten finns att läsa på www.swepos.com.

2 Bakgrund

2.1 Varför nätverks-RTK?

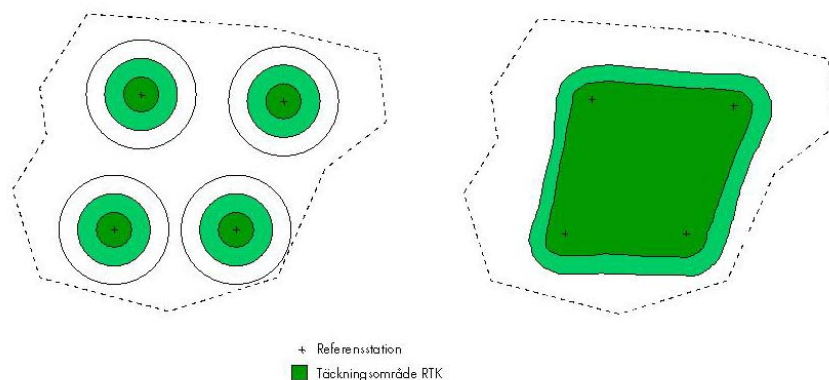
GPS/RTK är nu en fungerande teknik, för till exempel praktisk detaljmätning med centimeternoggrannhet, som är på väg att ta över en allt större del av den vardagsmätning som kräver några centimeters noggrannhet i positionen. Vid användning av befintliga referenspunkter i terrängen som utgångspunkter för RTK-mätning krävs att användaren själv etablerar en tillfällig referensstation med tillhörande radiolänk.

RTK-tekniken kräver alltså tillgång till två avancerade GPS-utrustningar med tillhörande datalänk för överföring av data. Den relativt höga initialkostnaden för att köpa in två sådana GPS-utrustningar (ungefär 300 000 kr) bidrar till att många organisationer (kommuner, mätkonsulter, statliga verk etc.) kanske fortfarande tvekar att börja använda RTK i sin mätverksamhet. Vid användning av RTK-tekniken finns det dessutom en begränsning i avståndet mellan referensstationen och den rörliga mottagaren (rovern), främst på grund av de systematiska fel som orsakas av olika jonosfärs- och troposfärsförhållanden vid referensstationen och rovern. Instrumenttillverkarna rekommenderar idag ett maximalt avstånd mellan referensstation och rover på cirka 20 km. Dessutom kan räckvidden för den egna datalänken vara en begränsning.

Ett alternativ till etableringen av tillfälliga referensstationer kan vara att använda fasta referensstationer, som antingen kan etableras i egen regi eller som ett nät som kan användas av alla användare inom täckningsområdet

Egna fasta referensstationer kräver egna investeringar för etableringen och kan innebära att egen specialkompetens för driften behöver byggas upp. Detta gäller särskilt om data skall erbjudas utanför den egna organisationen. Efter hand som antalet lokala referensstationslösningar ökar kan det också bli problem med tillgängliga radiofrekvenser för överföring av korrektionsdata mellan referensstation och mätpunkt.

För att öka effektiviteten för fasta referensstationer och öka avståndet mellan dem krävs det att de binds ihop i ett nätverk, s.k. nätverks-RTK. En speciell nätverks-RTK-programvara används för detta. Vidare innebär nätverks-RTK ett sammanhängande täckningsområde för användaren, se figur 1, med ständig kvalitetskontroll.



Figur 1: Principskisser för enkelstations-RTK till vänster och nätverks-RTK till höger.

Nätverks-RTK innebär att en korrektionsmodell för RTK-data beräknas ur ett nät av fasta referensstationer, vilket enligt hittills genomförda tester kan öka avståndet mellan fasta referensstationer från idag cirka 20 km till 60-80 km. Detta kan göras med bibehållen noggrannhet och ungefär lika lång initialiseringstid som för 10 km avstånd till referensstationen.

2.2 Syfte med Väst-RTK

Projektet Väst-RTK har etablerat ett nät av fasta referensstationer i västra Sverige för produktionstest av nätverks-RTK. Under den tid projektet pågick (9 april 2002 – 31 december 2003) har intressenterna i projektet utfört tre typer av mätningar:

- ◆ Produktionsmätningar med nätverks-RTK.
- ◆ Testmätningar med nätverks-RTK på punkter med "kända lägen".
- ◆ Mätningar för studier av funktion samt kostnads/nyttoeffekt för nätverks-RTK jämfört med användning av fasta referensstationer på centralpunkter i t.ex. varje kommun. Testmätningarna för projektet, där i huvudsak positionskvaliteten för de båda mätmetoderna har jämförts, har utförts på punkter med "kända lägen".

Utgångspunkt för projektet var de förstudier av nätverks-RTK-tekniken som gjordes i tre olika projekt under åren 1999-2001. Dessa tre förstudier var det västsvenska NeW-RTK (Lilje, 2001), det i Skåne utförda SKAN-RTK (Ollvik, 2001) samt Position Stockholm-Mälaren – 1 (Wiklund, 2002).

Liknande projekt som Väst-RTK har under ungefär samma tidsperiod som Väst-RTK pågått i Skåne (SKAN-RTK – 2) och i en utvidgad Mälardalsregion (Position Stockholm-Mälaren – 2). Slutrapporter från dessa projekt finns likaledes utgivna i Lantmäteriets rapportserie Geodesi och geografiska informationssystem (Wiklund,

2004) och (Johansson, 2004). Dessa författare har även bidragit till utformningen av texten i denna rapport.

Projektet har också inneburit visst utarbetande av rutiner för transformation av erhållna positioner i referenssystemet SWEREF 99 (det referenssystem som SWEPOS[®] arbetar i) till det lokala referenssystem som redovisningen skall ske i. Detta har inneburit ett nära samarbete med projektet RIX 95 innebärande att RIX 95 har anpassat sin produktion av transformations samband efter behoven inom Väst-RTK.

Resultaten från projektet har också bidragit till att ge underlag för att bedöma vilka vinster det finns med att introducera nätverks-RTK inom befintliga organisationer som arbetar med detaljmätning. Vinsterna kan avse t.ex. högre kvalitet, besparingar i stomnätsunderhåll, rationalisering i arbetsorganisation jämfört med traditionell teknik m.m.

Mer om projektets mål och syfte finns beskrivet i projektbeskrivningen för Väst-RTK (Lantmäteriet, 2002).

3 Projektorganisation

Projektet har varit ett samarbetsprojekt mellan Lantmäteriet, andra statliga verk och bolag, kommuner, kommunala bolag och privata företag.

Projektet har styrts av en styrgrupp, som består av sju representanter från kommungruppen, en representant från de statliga lantmäterimyndigheterna, två representanter från statliga verk/organisationer, en representant från Lantmäteriet/SWEPOS – projektledaren – som även varit föredragande i styrgruppen, samt en utsedd person som sammankallande. Representanterna från kommungruppen har fördelats på stora, medelstora och små kommuner samt geografiskt inom projektområdet.

Den operativa verksamheten har letts av projektledaren Tina Kempe, från geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriet, som även fungerat som sammankallande för och lett arbetet i projektgruppen.

Varje intressent har utsett en à två deltagare till denna projektgrupp. Projektgruppen och styrgruppen samlades till en kick-offträff i början av projektet och ett användarseminarium för utbyte av erfarenheter i mitten av projektet.

3.1 Intressenter

Deltagande organisationer, nedan även kallade intressenter, har under projekttiden löpande bidragit med testmätningar på tilldelade punkter med "kända" lägen. Dessutom har de fortlöpande rapporterat hur de upplevt nätverks-RTK; hur det har fungerat, hur systemet har använts och hur mycket.

Projektdeltagarna har även kunnat använda nätverks-RTK för sina egna produktionsmätningar under hela projekttiden.

Följande intressenter har deltagit i projektet under hela eller delar av projekttiden.

Tabell 1: Deltagande organisationer.

Alingsås kommun	Lerums kommun
Borås kommun	Lidköpings kommun
Comcarta AB	Lilla Edets kommun
Falkenbergs kommun	Ljungby kommun
Falköpings kommun	Metria
Geosat AB	Mölnbals kommun
GF Konsult	Orust kommun
Gislaveds kommun	Partille kommun
Gnosjö kommun	PM Peos Mätsservice
Grästorps kommun	Sotenäs kommun
Göteborgs Energi AB	Tjörns kommun
Halmstads kommun	Tranemo kommun
Hylte kommun	Trig
Härryda kommun	Uddevalla kommun
JE Henningsson AB	Ulricehamns kommun
Jönköpings kommun	Utsättar'n i Väst AB
Kungsbacka kommun	Varbergs kommun
Kungälv's kommun	Vattenfall Service
Lantmännen/POS	Vägverket
Lantmäterimyndigheten Hallands län	Vänersborgs kommun
Lantmäterimyndigheten V Götalands län	Älmby Entreprenad AB

3.2 Projektgrupp

Projektgruppen har bestått av en till två personer från varje intressent. Cirka 65 personer har ingått i gruppen och varit projektets kontaktpersoner när det gäller praktiska och operativa frågor.

3.3 Styrgrupp

Styrgruppen har under projekttiden sammanträtt sju gånger. Denna utsågs vid kick-offträffen den 9 april 2002. Sammankallande har varit Bo Jonsson, geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriet.

Styrgruppen har bestått av:

Anders Engberg, Borås stad

Sven Eskilson, Gnosjö kommun

Peter Holmström, Mölndals kommun

Mikael Johansson, Partille kommun

Sune Johansson, Lidköpings kommun

Bo Jonsson, Lantmäteriet/SWEPOS

Tina Kempe, Lantmäteriet/SWEPOS

Per Rexon, Lantmäterimyndigheten Västra Götalands län

Mats Sevefeldt, Jönköpings kommun

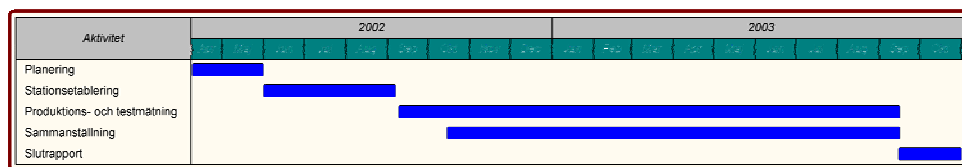
Michael Skoglund, Vägverket

Bengt-Åke Svensson, Telia

Claes-Göran Söder, Vänersborgs kommun

3.4 Aktivitetslista och tidplan

De olika stadier, eller faser, som projektet Väst-RTK har genomgått redovisas nedan. Projektets produktions- och testmättningsfas var ursprungligen tänkt att pågå under tiden 15 september 2002 till 15 september 2003, men förlängdes senare till den 31 december 2003, för att få ett gemensamt slutdatum med SKAN-RTK - 2 och Position Stockholm-Mälaren - 2.



Figur 2: Översikt över projektets ursprungliga tidplan.

- ◆ **Planeringsfas** (9 april–31 maj 2002).
Genomgång av grundförutsättningarna gjordes, liksom planering av aktiviteter under projektet och tidsplanering. Val av platser för de nya referensstationerna gjordes också under denna fas. Denna fas inleddes den 9 april 2002 med en kick-offträff för intressenterna i projektet.
- ◆ **Stationsetableringsfas** (1 juni–14 sept. 2002).
Under denna fas gjordes etablering av antennfundament och installation av stationsutrustning på de åtta nytillkomna referensstationerna, s.k. projektstationer, se figur 6 (kap. 4.3). För de intressenter i projektet som var nya GPS-användare eller precis hade införskaffat GPS-utrustning erbjöds en 2-dagars grundutbildning i GPS.
Genomgång av systemfunktioner och verifiering av intressenternas fältutrustning gjordes vid s.k. uppstarts dagar.
Projektledaren planerade testmätningarna och utarbetade rutiner för dessa mätningar.
- ◆ **Produktions- och testmättningsfas** (15 sept. 2002–31 dec. 2003).
Tjänsten var disponibel för obegränsad produktionsmätning, som avsågs genomföras på ett sådant sätt att en godtagbar positionsnoggrannhet (tillförlitlighet och precision) erhöles i den aktuella tillämpningen. Dessutom genomförde de intressenter som hade egna fasta referensstationer jämförande produktionsmätningar med jämförelse mellan nätverks-RTK och data från den egna referensstationen enligt ett fastställt schema på kända s.k. SWEREF-punkter enligt fastställda rutiner. De intressenter som inte hade egen fast referensstation utförde testmätningar enbart med nätverks-RTK på kända s.k. SWEREF-punkter enligt fastställda rutiner.
- ◆ **Beräknings- och utvärderingsfas.** Löpande under projekttiden har utvärdering gjorts av de genomförda mätningarna för studier av funktion och kostnads/nyttoanalys för nätverks-RTK. Erfarenheterna från produktionsmätningarna med prototypnätet har också följts upp löpande under projekttiden.
Delresultat från testmätningarna och erfarenheter sammanställdes löpande under projekttiden och delgavs projektdeltagarna.
En större avrapportering skedde i samband med användarseminariet i mitten av projekttiden (maj 2003).

Denna tidplan har i stort hållits. Planeringsfasen blev något utdragen, men den förlorade tiden togs i huvudsak igen under den följande implementeringsfasen.

Implementeringsfasen kunde å andra sidan inte fullföljas helt under den planerade tiden. En av stationsetableringarna blev fördröjd på grund av problem att få fram lämplig dataförbindelse till den tänkta platsen, Kållandsö (se vidare kap. 4.2). Först den 1 november 2002 kunde referensstationen på Kållandsö tas i bruk.

3.5 Finansiering

Kostnaderna för geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriverket har täckts via SWEPOS-projektet. Intressenterna har själva stått för sin egen arbetstid och reskostnader.

Lantmäteriverket har ställt data från de fem befintliga SWEPOS-stationerna inom projektområdet till förfogande utan kostnad för projektet samt server på SWEPOS driftledningscentral och en grundlicens för den använda nätverks-RTK-programvaran GPSNet. Övervakning av de nytillkomna projektstationerna, finansierades via den ordinarie SWEPOS-driften.

Datakommunikationskostnad inkl. kapitalkostnad för varje projektstation har uppskattats till 150 000 kr per år. Den totala datakommunikations- och kapitalkostnaden för åtta projektstationer under ett år blir då totalt 1 200 000 kr, som skulle täckas av projektet.

Projektkostnaderna täcktes av intressentinsatser enligt en modell som för kommunernas del byggde på invånarantal och för konsultfirmor bestämdes av deras omsättning. Insatserna från de deltagande organisationerna varierade från 10 000 kr till 50 000 kr.

Under projekttiden har Lantmäteriet dubblerat delar av utrustningen på projektstationerna. Bland annat har stationerna försetts med dubbla GPS-mottagare och datorer för att öka systemets driftsäkerhet. Åtgärden har inneburit ökade kapitalkostnader, men dessa kostnader har dock inte belastat projektet.

4 Infrastruktur

4.1 SWEPOS®

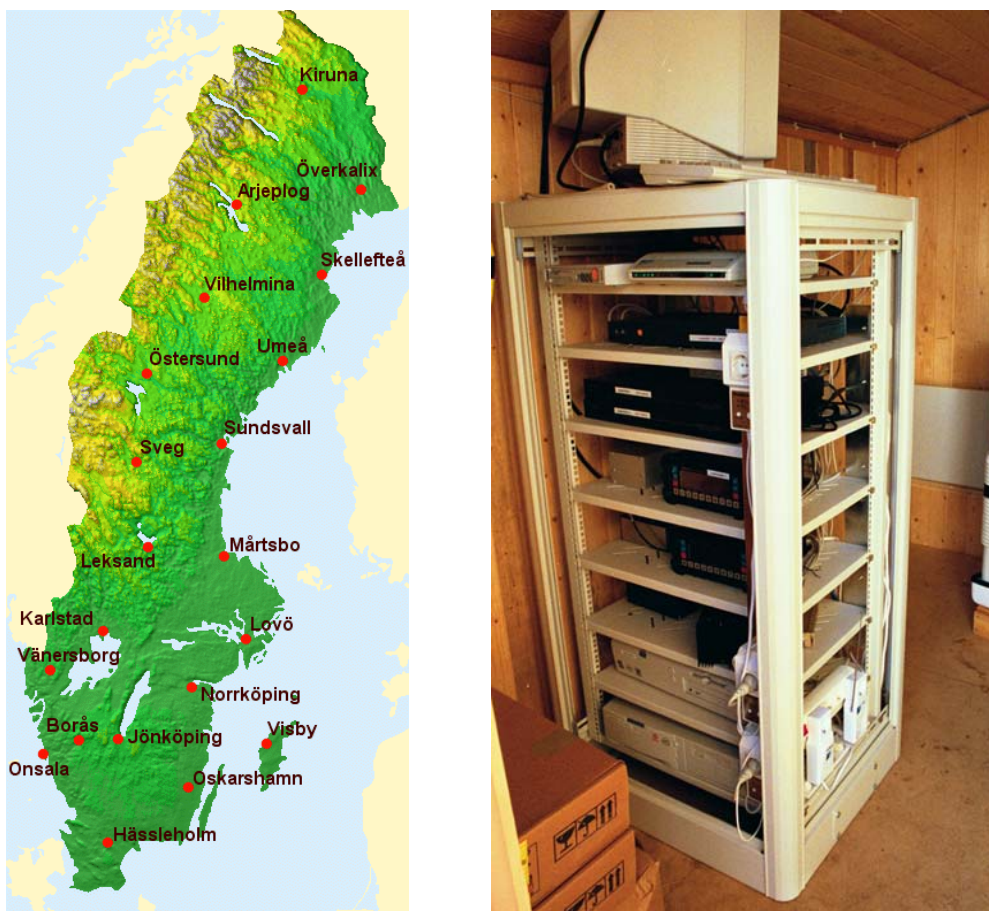
SWEPOS® är det svenska nationella nätet av fasta referensstationer för GNSS (GPS). Syftet med SWEPOS är att tillhandahålla data från GPS-satelliterna för en mängd olika tillämpningar – allt från positionsbestämning med meternoggrannhet i realtid för bl.a. navigering och datainsamling för databaser med lägesbunden information till studier av rörelser i jordskorpan på millimeternivå.

Lantmäteriet svarar för drift och underhåll av SWEPOS-nätet, som finansieras dels via statliga anslag, dels via användaravgifter. Vidareutvecklingen av SWEPOS sker som ett samarbete mellan Lantmäteriet och Onsala rymdobservatorium, Chalmers Tekniska Högskola i samverkan med SWEPOS-användarna.

Under åren 1999-2001 pågick förstudier i projektform, i samverkan med kommuner, statliga verk och privata bolag för att testa nätverks-RTK för att erhålla centimeternoggrannhet inom ett större område,

men med relativt få referensstationer. Detta innebär att användaren vid t.ex. förrättningsmätning, detaljmätning och maskinstyrning endast behöver en GPS-mottagare och inte behöver etablera en egen referensstation. Förstudierna ledde till att de tre produktionsprojekten för nätverks-RTK, Position Stockholm-Mälaren - 2, SKAN-RTK - 2 och Väst-RTK etablerades.

SWEPOS består för närvarande av 21 fullständiga SWEPOS-stationer. Dessa kännetecknas av att GPS-antennen är monterad på en betongpelare som är förankrad i berggrunden och att all utrustning är dubblerad. Reservkraftutrustning kan hålla igång stationerna under 48 timmar. Elförsörjning och inomhusklimat på stationerna kontrolleras och styrs dygnet runt från driftledningscentralen, liksom GPS-mottagarna och annan utrustning som t.ex. back up-datorer.



Figur 3: T.v. en karta över de 21 fullständiga SWEPOS-stationerna. T.h. interiör från en SWEPOS-station. All utrustning är placerad i ett datorrack, likadant på alla stationer för att underlätta service och eventuellt byte av ej fungerande utrustning.



Figur 4: Vänersborg (t.v.) är en av de fullständiga SWEPOS-stationerna. Antennskyddet som används idag är inte koniska. På alla stationer används antennskydd som det i Jönköping (t.h.).

4.2 Utbyggnad av SWEPOS®

Inför starten av nätverks-RTK-projekten byggdes SWEPOS ut med ett antal stationer.

De fullständiga SWEPOS-stationerna (se kap. 4.1) är belägna med ett inbördes avstånd på cirka 200 km, vilket är för långt för användning vid nätverks-RTK. SWEPOS-nätet har därför förtätats med förenklade stationer i de aktuella regionerna.

De förenklade SWEPOS-stationerna har nästan uteslutande GPS-antennen monterad på ett tak, ofta på en kommunal byggnad. Att antennen är placerad på en byggnad innebär att stationens läge inte är fullt lika stabilt som en fullständig SWEPOS-station. De förenklade stationernas stabilitet övervakas dagligen av geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriet, genom beräkning av hela SWEPOS-nätet. Man har hittills inte kunnat påvisa några rörelser som varit stora nog att ta hänsyn till (d.v.s. större än 5 mm horisontellt och 10 mm i vertikalled).

Utrustningen i en förenklad SWEPOS-station är inte heller dubblerad i samma utsträckning som i en fullständig station.



Figur 5: Stationen i Hillerstorp får illustrera placering av GPS-antennen på en förenklad SWEPOS-station.

Vid rekognosceringen för placering av de nya projektstationerna hade SWEPOS-personalen god hjälp av representanter från de kommuner där stationerna var tänkta att ligga. Dessa personer gjorde en första rekognoscering utifrån instruktioner från SWEPOS driftledningscentral och tog fram ett par lämpliga placeringar som SWEPOS personal på plats slutligen kunde välja mellan. Detta förfarande sparade flera långa resor för SWEPOS-representanten.

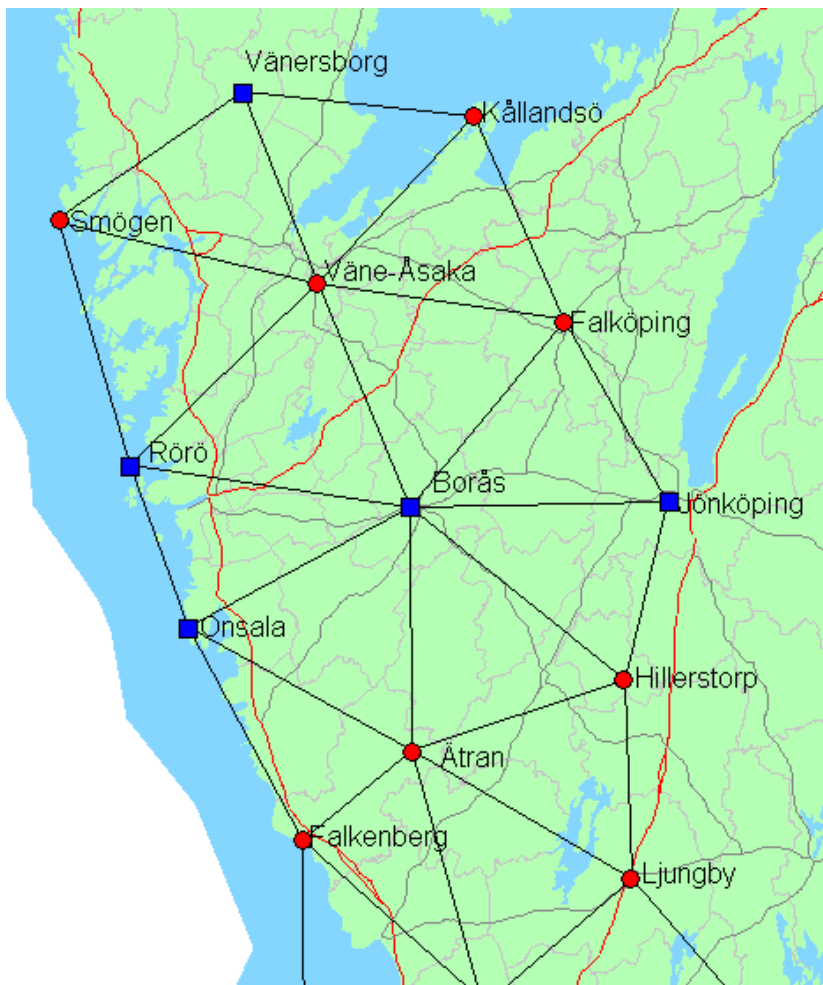
Tidigare erfarenheter från rekognosceringen är att i ett tidigt skede även kontrollera om det går att få önskad typ av dataförbindelse till den aktuella orten, vilket inte alltid är självklart. De dataförbindelser som erfarenhetsmässigt har fungerat bäst är punkt till punkt-förbindelser (dedikerade förbindelser där användaren är ensam om ledningen och har garanterad bandbredd – s.k. PP-förbindelse), men det kräver att telestationen på den aktuella orten är utbyggd för att kunna leverera den typen av förbindelse. En telestation kan på beställning byggas ut för att kunna leverera PP-förbindelse men det innebär en extrakostnad. Då dataförbindelsen är kritisk för funktionen i nätverks-RTK kan det innebära att nätutformningen måste ändras för det ska bli ekonomiskt möjligt att etablera nätet.

För referensstationen på Kållandsö blev man tvungen att bekosta en utbyggnad av telestationen för att få PP-förbindelse, vilket fördröjde färdigställandet av denna referensstation till den 1 november 2002.

4.3 Nätutformning

I Väst-RTK ingår de fullständiga SWEPOS-stationerna Jönköping, Borås, Onsala och Vänersborg. Den befintliga förenklade SWEPOS-stationen i Göteborg flyttades till Rörö för att passa bättre in i nätutformningen för Väst-RTK. Dessa stationer kompletterades med projektstationerna Falkenberg, Ätran, Ljungby, Hillerstorp, Falköping, Väne-Åsaka, Kållandsö och Smögen.

I söder angränsar Väst-RTK till referensstationsnätet i SKAN-RTK - 2. Användarna i gränsområdet kunde mäta "sömlöst" utan att behöva ta hänsyn till vilket av näten de använde.



Figur 6: Nätutformning för Väst-RTK. Fyrkanter representerar befintliga SWEPOS-stationer. Alla utom Rörö är fullständiga SWEPOS-stationer. Cirklar symboliserar projektstationer, etablerade inför Väst-RTK.

5 Nätverks-RTK-tekniken

5.1 Hur fungerar det?

Nätverks-RTK använder data från flera referensstationer för att göra en modell över jonosfär och troposfär, till skillnad från enkelstations-RTK. Vid enkelstations-RTK, till exempel då man använder en egen – fast eller tillfällig – referensstation får man jonosfärs- och troposfärs-korrekationer från en enda referensstation. Syftet med nätverks-RTK är att kunna skapa en bättre jonosfärs- och troposfärsmodell, för att således kunna minska avståndsberoendet. Denna yttäckande atmosfärsmodell används sedan för interpolation utifrån användarens position.

Den programvara för nätverks-RTK som använts i detta projekt arbetar med s.k. virtuella referensstationer.

GPS-mottagaren som används i fält (rovern) måste sända in sin ungefärliga position i ett standardformat (NMEA, GGA-meddelande) till nätverks-RTK-programvaran.

När användaren kopplar upp sig via GSM mot nätverks-RTK-programvaran sänds positionen in och vederbörande tilldelas en s.k. RTCM-generator. Denna RTCM-generator väljer den SWEPOS-station som är närmast användaren. RTK-data från stationen förbättras genom att påföra atmosfäriska korrekationer för den position som användaren har, interpolerat ur programvarans atmosfärmodell. Sist görs en geometrisk korrektion av RTK-data så att rovern får data från en "referensstation" med samma position som den själv har skickat in till nätverks-RTK-programvaran vid uppkopplingens början, därav benämningen virtuell referensstation (VRS). Alla data som skickas från nätverks-RTK-programvaran har det mottagaroberoende standardformatet RTCM.

Ytterligare likheter och skillnader mellan nätverks-RTK och enkelstations-RTK finns att läsa om i kap. 2.1.

5.2 Nätverks-RTK-programvaran

Den nätverks-RTK-programvara som har använts i projektet är GPSNet från Trimble. Vid inledningen av projektet i september 2002 var det version 1.61 som användes. Därefter har löpande uppgraderingar gjorts.

Den 7 februari 2003 gjordes en uppgradering till version 2.0. Nyheterna var bl.a. att operatörerna fick bättre övervaknings- och supportstöd. Man ökade också antalet referensstationer på vilka atmosfärmodelleringen bygger. Det innebär att för varje användare användes härefter de sex närmaste SWEPOS-stationerna i stället för de tre närmaste för att skapa atmosfärmodellen. Det innebär att användarna påverkas mindre om en av referensstationerna av någon anledning faller bort.

Det visade sig dock, trots tester med tillfredsställande resultat, att många användare hade stora problem att få fixlösning med denna programversion.

Den 25 mars 2003 (under kvällen) uppgraderades GPSNet till version 2.01. Därmed upphörde problemen som förekommit under föregående programversion.

Den 24 juni 2003 (under kvällen) installerades version 2.02.

Den 31 augusti 2003 gjordes ett försök att installera version 2.10, bl.a. för att dra fördel av de nya möjligheterna till övervakning. Programmet fungerade dock inte, troligen på grund av bristande hantering av de mottagartyper som användes på referensstationerna i Väst-RTK. Man återgick därför direkt till version 2.02.

På kvällen den 13 november 2003 installerades GPSNet version 2.20. Denna version använder en förbättrad atmosfärmodellering och gav ytterligare möjligheter för operatörerna att övervaka driften och stödja användarna.

Programmet var installerat på en PC med operativsystemet Windows NT 4, som var placerad i SWEPOS driftledningscentral i Gävle.

För användarnas kommunikation med nätverks-RTK-programvaran via GSM har fem ingående ISDN-multiledningar installerats. Därifrån kopplades användarnas samtal vidare via en accessserver till nätverks-RTK-programvaran.

I dagsläget är GSM den enda praktiskt fungerande distributionskanalen eftersom ett mottagaroberoende standardformat för dataöverföring av nätverks-RTK-data över radio saknas. Tester av distribution av nätverks-RTK-korrekationer över DARC-kanalen på FM-radiobandet pågår för närvarande (januari 2004). Vid testerna används en de facto-standard för dataformat, vilken beräknas komma att ingå i kommande version av RTCM-protokollet i slutet av 2004 eller början av 2005. Ett annat alternativ skulle kunna vara att distribuera nätverks-RTK-data över Internet och GPRS. Inledande tester har gjorts i ett examensarbete vid Lantmäteriverket under hösten 2003 (Peterzon, 2004).

Vid planerade avbrott i utsändningen av korrekationer (t.ex. service eller underhåll) har SWEPOS driftledningscentral meddelat projektets intressenter om detta via e-post. SWEPOS driftledningscentral har också haft möjlighet att meddela användarna om oplanerade driftstörningar i t.ex. nätverks-RTK-programvaran eller datakommunikationen till stationerna via SMS. Upplysningarna via SMS om felets orsak och uppskattad tidpunkt för återstart av utsändningen har uppskattats mycket av användarna.

6 Aktiviteter i projektet

6.1 Kick-offträff

Projektet inleddes med en kick-offträff för alla projektdeltagare. Även andra organisationer som kunde vara intresserade av att få veta mer om projektet var inbjudna. Denna kick-offträff hölls den 9 april 2002 i Stadshuset i Mölndals kommun och cirka 60 personer från ett 30-tal organisationer deltog.

Här fanns möjlighet att få veta mer om bakgrunden till projektet Väst-RTK, projektets organisation, möjligheter och åtaganden, samt att ställa frågor.

6.2 Grundläggande GPS-utbildning

Inom projektets ram erbjöds en två dagars grundläggande GPS-utbildning för de projektdeltagare som var nybörjare på området. Kursen var kostnadsfri för upp till två personer per deltagande organisation och för ytterligare deltagare erlades en reducerad kursavgift.

Eftersom så många visade intresse för kursen blev det två kurstillfällen, med cirka 20 deltagare per kurs. Utbildningen hölls den 2-3 respektive 4-5 september 2002 på Guttasjöns övningsanläggning strax utanför Borås.

Ett par senare tillkomna projektdeltagare gick kursen i Gävle senare under hösten, så totalt deltog ungefär 45 personer i kursen inom ramen för projektet.

Några ämnen som fanns på schemat var introduktion till satellitpositionering, DGPS, fasta referensstationer och GPS-tjänster, referens- och koordinatsystem, RTK/nätverks-RTK och efterberäkning av GPS-mätning. Teori blandades med praktiska övningar, och av kursutvärderingarna att döma hade de flesta deltagarna ganska god behållning av kursen.

Några återkommande kommentarer var att tiden för praktiska övningar var väl knapp och att man hade önskat mindre grupper för dessa. I övrigt var kommentarerna ganska varierade, varför man kan anta att kursen låg på en lagom nivå, vad beträffar bredd kontra djup i innehållet.

6.3 Uppstartsdagar

Syftet med träffarna var att hjälpa projektdeltagarna igång; att göra erforderliga inställningar i GPS-mottagare och fältdatorer samt funktionstesta utrustningarna.

Tanken var att det skulle finnas möjlighet att lägga in transformations samband för de lokala koordinatsystem som respektive projektdeltagare använder, men dessa samband var tyvärr ännu inte framtagna inom RIX 95-projektet vid tidpunkten för träffarna.

Under uppstartsdagarna informerades projektdeltagarna också mer ingående om testmätningförfarandet (se närmare kap. 8).

Deltagarna i uppstartsdagarna delades in i grupper beroende på vilket fabrikat av GPS-mottagare de skulle använda under projektet. Det hölls alltså fyra träffar – en för vardera Thales/Ashtech/Sokkia, Leica, Topcon och Trimble – under tiden 9-13 september 2002. Träffarna hölls i Göteborgstrakten, utom för Trimble. Eftersom alla Trimble-användare var samlade i den södra delen av projektområdet hölls denna uppstartsdag i Ljungby.

I efterhand kan man konstatera att Leica-gruppen blev mycket stor och skulle ha vunnit på att ha delats upp på två tillfällen.

GPS-återförsäljarna i projektområdet deltog i dessa träffar för att bidra med sin kunskap i de tekniska frågor som uppstartsdagarna tog upp. Projektledning och -deltagare är mycket tacksamma för att GPS-återförsäljarna hade möjlighet att ställa upp!

6.4 Låneutrustning

De intressenter som vid projektets start inte hade tillgång till egen GPS-utrustning erbjöds möjlighet att låna utrustning under delar av projekttiden. Utrustningen fördelades genom lottning och cirkulerade under projekttiden enligt fastlagt schema. Detta kunde ske tack vare välvilligt inställda leverantörer. Leverantörerna har också bidragit med egen tid och stort engagemang i projektet. De leverantörer som bidragit genom låneutrustning i projektet är:

- ◆ Cartesia Informationsteknik AB (GPS-mottagare Thales/Ashtech/Sokkia)
- ◆ Leica Geosystems AB (GPS-mottagare Leica)
- ◆ Topcon Scandinavia AB (GPS-mottagare Topcon)
- ◆ Geograf Sverige AB (GPS-mottagare Trimble)
- ◆ Viker Data AB (fältdatorer)

Under projektets gång har flera av de intressenter som till en början lånat utrustning valt att införskaffa egen GPS-utrustning.

6.5 Användarseminarium

Syftet med användarseminariet var att låta användarna komma till tals kring nätverks-RTK – ge synpunkter på projektet, ha möjlighet att ställa frågor och utbyta erfarenheter med varandra.

Denna sammankomst hölls den 20-21 maj 2003 (två halvdagar) på Arbetets museum i Norrköping, i anslutning till SKMF:s konferens MätKart 2003.

Programmet innehöll bl.a. övergripande information kring projektet, som organisation, funktion och testmätningar, information om nätverks-RTK i övriga Sverige och presentation av några olika användarerfarenheter.

Tanken var att användarna också skulle få möjlighet att prata med och ställa frågor till GPS-återförsäljarna, men olyckligtvis hade inte alla GPS-leverantörer möjlighet att närvara. Att seminariet hölls i så nära anslutning till MätKart kan ha bidragit till att återförsäljarna var upptagna på annat håll. Detta gjorde att den delen av seminariet inte fullt ut kunde genomföras enligt ursprunglig planering.

En del av seminariet var upplagd som en gruppdiskussion där deltagarna fick diskutera följande frågeställningar. Ett urval av svaren från deltagarna redovisas under respektive punkt.

- ◆ Nämn för- och nackdelar med nätverks-RTK
 - + Nätverks-RTK innebär en enhetlig teknik för användarna.
 - + Samverkan kring referensstationer ger lägre kostnad för drift och underhåll och man behöver ingen egen referens.
 - + Jämn kvalitet på mätningarna. Nätverks-RTK ger snabbare fixlösning och säkrare initialisering jämfört med egen referens.
 - + Mindre organisationer (kommuner) har lättare att komma igång på ett enkelt och billigt sätt.
 - Man upptäcker att stomnätet är dåligt.
 - Kvaliteten i höjd är "osäker" (här höll dock inte alla med).
 - "Barnsjukdomar" i tekniken/metoden.
 - Systemet är sårbart om en enda operatör hanterar systemet (servrar etc.).
 - Får vi en framtida monopolställning?
 - Idag har vi endast en distributionskanal och man är beroende av GSM-täckning.
 - Närsambandet till omkringliggande punkter tappas.
- ◆ Nämn för- och nackdelar med prototypnätet i Västsverige
 - + Snabb och säker initialisering.
 - + SMS-meddelanden om driftstörningar.
 - + Bra noggrannhet.
 - + Bekvämt och snabbt att mäta.
 - Ibland lång initialiseringstid.
 - Instabilt – prototypnätet går ner för ofta. Ibland kommer man hem tomhänt – osäkra faktorer.
 - Gärna ökad framförhållning vid SMS-utskick.
- ◆ Vad är mest angeläget att förbättra på kort och lång sikt?

På kort sikt

 - Öka tillförlitligheten i tekniken/programvaran.
 - Förbättra/kontrollera höjdkvaliteten.
 - Priserna för GSM-abonnemang borde pressas.
 - Öka antalet intressenter.
 - Ordna bättre täckning för dem som jobbar i ytterkanterna av projektområdet.

På längre sikt

 - Hålla nere distributions- och användaravgifterna, så att nya användare inte skräms bort. Det är en risk för kommuner som ska spara, att GPS får stryka på foten.
 - Att bibehålla en rimlig kostnad i framtiden (som t.ex. idag) – det är lättare att fortsättningsvis få utrymme för en kostnad man redan har, än att få utrymme för ökade utgifter.
 - Bygga ut näten så fort som möjligt.
 - Ge möjlighet till distribution via FM-radio.

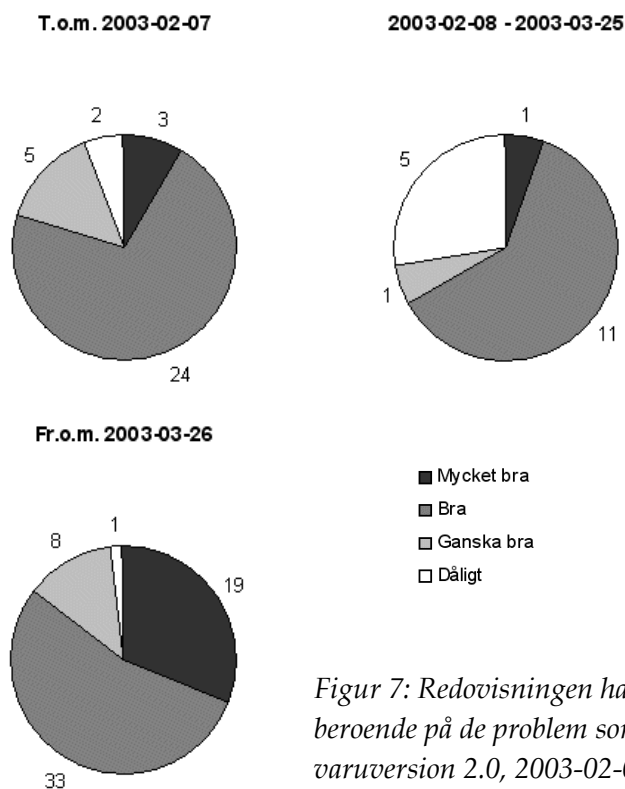
- Riktlinjer/råd vid övergång till nätverks-RTK från egen referens. Riktlinjer för kvalitetssäkring av RTK-mätning ("HMK-RTK").
- Ta fram bättre höjdkorrektionsmodeller, eventuellt av mer lokal karaktär.
- Ta fram förbättrade transformations samband i plan.
- Finns möjlighet att använda GLONASS i framtiden?

7 Användning av nätverks-RTK

7.1 Funktionsrapporter

Användarna har löpande under projektet skickat in funktionsrapporter över sin användning och funktionen hos nätverks-RTK. Rapporteringen har skett i ett formulär där användaren har lämnat uppgifter om vilken typ av mätjobb som utförts, tidpunkt samt vilken utrustning som använts. Användarna har också ombetts att gradera hur bra nätverks-RTK-tekniken har fungerat vid aktuellt jobb. Det har också funnits plats på blanketten för användarens kommentarer och uppfattning om trolig anledning till bra eller dålig funktion vid mättillfället.

Drygt ett hundratal funktionsrapporter har lämnats in och i figur 7 redovisas hur användarna har bedömt nätverks-RTK.



Figur 7: Redovisningen har delats in i tre perioder, beroende på de problem som uppstod under programvaruversion 2.0, 2003-02-08 – 2003-03-25. Siffrorna redovisar hur många rapporter som lämnats in med respektive omdöme.

Några kommentarer har varit återkommande under större delen av projekttiden. Det är bl.a. att användarna har tappat fixlösningen ibland, till synes utan anledning, initialiseringstiderna har varit långa och att kvalitetstalet som visats i GPS-mottagaren ibland varit högt. Om man tittar på de omdömen (mycket bra - bra - ganska bra - dåligt) som lämnats in finner man ändå att merparten av användarna tycker att nätverks-RTK har fungerat bra eller mycket bra under huvuddelen av användningen.

Dessutom har ibland kommenterats att antalet satelliter är för få, och det är bara att konstatera att under vissa perioder är antalet satelliter över Sverige ganska litet. Det är under en eller två perioder per dygn, men dessa perioder förskjuts fyra minuter per dygn. Användarna störs alltså olika mycket beroende på vilken tid på dygnet de inträffar. För att få minsta möjliga besvär av att det är för få tillgängliga satelliter brukar personalen på SWEPOS driftledningscentral rekommendera att man alltid tar fram en satellitprediktion innan man ger sig ut i fält.

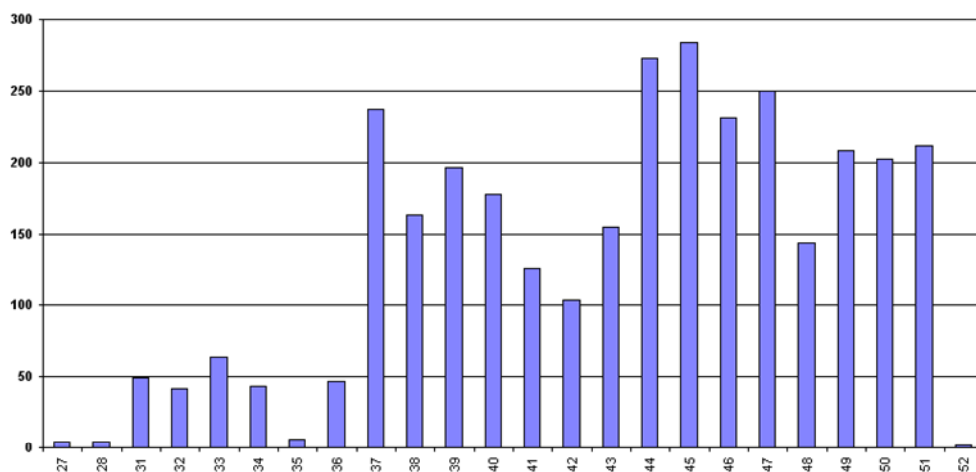
7.2 Användarstatistik

För att få en uppfattning om hur mycket nätverks-RTK används i fält har SWEPOS driftledningscentral fört statistik över användarnas uppkopplingar mot nätverks-RTK-programvaran (egentligen access-servern som hanterar inkommande samtal).

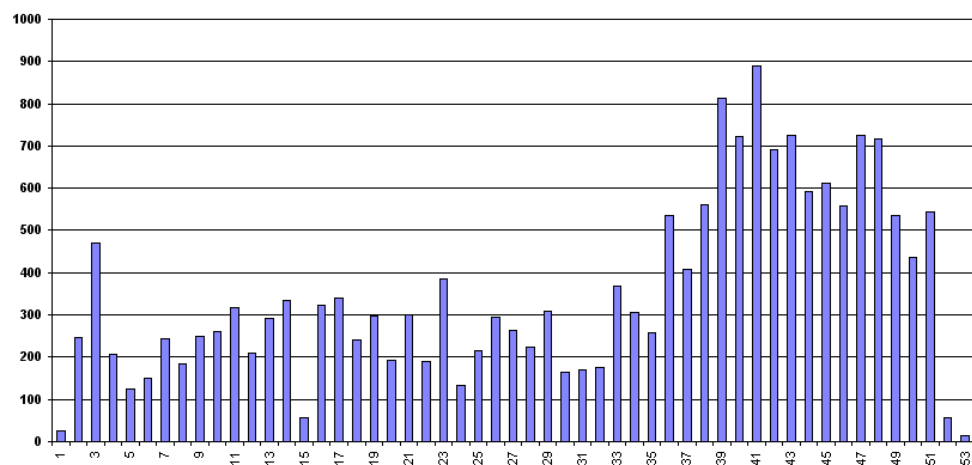
Användarstatistiken har uppdaterats varje vecka och funnits tillgänglig på SWEPOS webbsida, www.swepos.com.

Statistiken har delats upp i två delar: en allmänt tillgänglig del där användningen i projektet som helhet redovisats, och en lösenords-skyddad del där användningen på intressentnivå redovisats. Den senare delen har bara varit tillgänglig för intressenterna i projektet.

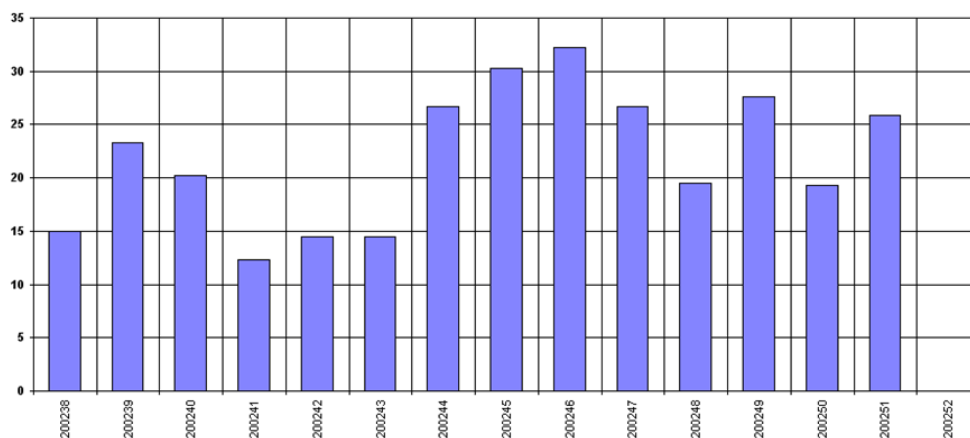
I exemplen nedan kan ses hur användningen av nätverks-RTK har ökat under projektets gång.



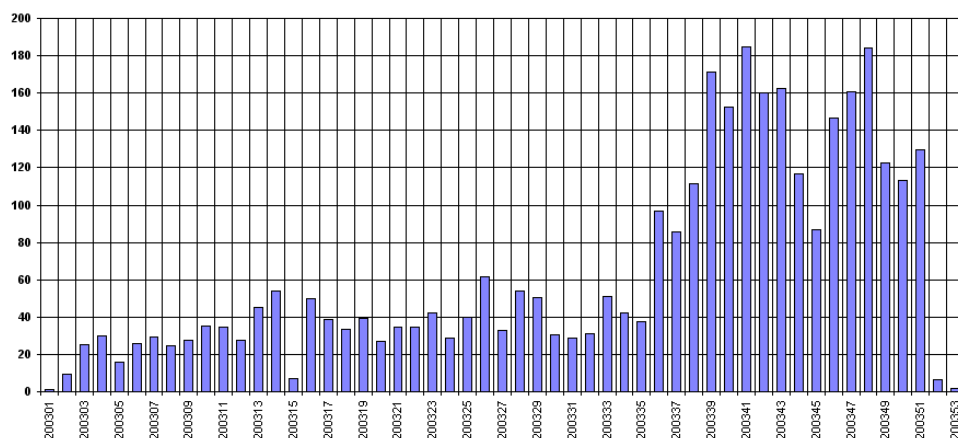
Figur 8: Antal uppkopplingar per vecka till Väst-RTK under 2002. Projektet startade v. 38, med uppstarts dagar under v. 37, vilket tydligt syns i diagrammet. Telefonnummer till Väst-RTK användes innan projektstart för andra ändamål, varför det finns uppkopplingar registrerade även tidigare under året.



Figur 9: Antal uppkopplingar per vecka till Väst-RTK under 2003. Den branta ökningen under sensommaren beror inte enbart på en ökning av användandet, utan vid den tiden korrigerades även en felaktighet i registreringen av uppkopplingarna (se nedan).



Figur 10: Total uppkopplingstid för Väst-RTK under 2002. Uppkopplingstiden redovisas i timmar per vecka.



Figur 11: Total uppkopplingstid för Väst-RTK under 2003. Uppkopplingstiden redovisas i timmar per vecka.

Den branta ökningen under sensommaren beror inte enbart på en ökning av användandet, utan vid den tiden korrigerades även en felaktighet i registreringen av uppkopplingarna (se nedan).

I inledningsskedet av projektet, hösten 2002, låg användningen av nätverks-RTK på omkring 15-20 timmar och 150-200 uppkopplingar per vecka. Allteftersom vanan vid och förtroendet för nätverks-RTK har ökat, har även användningen ökat. En del av ökningen står också tillkommande intressenter för. Mot slutet av sommaren 2003 hade uppkopplingstiden ökat till omkring 40 timmar och 200-300 uppkopplingar per vecka.

Under sensommaren eller hösten 2003 kan en brant ökning i såväl antal uppkopplingar och som uppkopplingstid noteras. Denna beror inte enbart på en ökning i användandet, utan även på att en felaktighet i registreringen av uppkopplingarna korrigerats.

En av projektdeltagarna delade med sig av samtalsuppgifterna från sin telefonräkning, just för att registreringen av samtalen skulle kunna verifieras. Det ledde till att man upptäckte att en del av samtalen inte registrerades i statistiken på grund av en otillräcklig sök-

sträng i registreringsprogrammet. Detta fel korrigerades den 27 augusti 2003 (v. 35). Därefter kom istället de uppkopplingar där användarens telefonnummer inte presenterades att utelämnas, vilket korrigerades den 15 september 2003 (v. 38). Dessa två korrigeringar bidrar alltså till den stora ökningen i användande under sensomarmen och hösten 2003.

Vecka 15 under 2003 kan också vara värd att nämnas. Det låga användandet som registrerats under denna vecka beror till största delen på att programmet som registrerar uppkopplingarna inte fungerade.

8 Testmätningar

Ett av projektets mål har varit att göra en fördjupad utvärdering av nätverks-RTK, samt att bedöma vinsterna med nätverks-RTK, t.ex. i kvalitetstermer. Deltagande intressenter har därför löpande under projekttiden genomfört testmätningar, vilka ska kunna ge en uppfattning om kvaliteten i nätverks-RTK.

Inom projektets ram har drygt 4200 testmätningar med nätverks-RTK och mer än 1700 mätningar med RTK mot egen referensstation gjorts.

8.1 Genomförande av testmätningar

Testmätningarna har så gott som uteslutande skett på s.k. SWEREF- eller RIX 95-punkter, med positioner som ansetts kända. Punkterna är noggrant inmätta med GPS och koordinaterna beräknade av Lantmäteriet. Vid sammanställning av testmätningarna har dessa koordinater betraktats som felfria och använts som "facit".

Alla testmätningar har analyserats i SWEREF 99 för att undvika påförande av "onödiga" fel, i första hand transformationsfel.

Punkter på varierande avstånd från de fasta referensstationerna har använts för att kunna se ett eventuellt avståndsberoende.

De intressenter som hade egna fasta referensstationer har gjort jämförande testmätningar med jämförelse mellan nätverks-RTK och data från den egna referensstationen.

Vid testmätning har om möjligt – d.v.s. om man har haft tillgång till två roverutrustningar – mätningar med nätverks-RTK och RTK mot egen fast referensstation utförts parallellt. Om man endast har haft tillgång till en rover har mätning först gjorts med nätverks-RTK och med RTK mot egen fast referensstation därefter.

De som inte hade egen fast referensstation har enbart gjort testmätningar med nätverks-RTK.

I båda fallen har man använt stativ för att få antennen så noggrant centrerad över punkten som möjligt.

Råa observationsdata lagrades vid testmätningarna i så stor utsträckning som möjligt, för att vid behov kunna analyseras närmare.

För att kunna göra en grundlig analys har data samlats vid ett antal upprepade mätningar i en mätserie. Varje mätserie bestod av 10 upprepade mätningar. Denna mätserie upprepades en gång vid annan tidpunkt på dygnet för att få mätningar vid en annan satellitgeometri. Man har genomfört testmätningar ungefär två dagar per månad och på så vis har ett flertal mätserier på varje punkt erhållits.

Instruktioner för en mätserie

Intressenterna fick följande instruktioner för att få ett så enhetligt genomförande – och så jämförbara mätningar – som möjligt:

Ställ upp stativ med antenn över mätpunkten. Starta GPS-mottagaren och koppla upp GSM-länken. Kontrollera att allt fungerar. Låt GSM-länken vara uppkopplad hela tiden.

För varje mätserie utförs sedan 10 mätningar enligt följande procedur:

1. **GPS-mottagaren ominitialiseras.**
2. Invänta fixlösning och **notera tid till fix.**
3. **Notera eventuellt kvalitetstal (sigmavärde) vid fix.**
4. **Notera antal satelliter** på rover/bas/gemensamt vid fix.
5. **Notera PDOP** vid fix.
6. **Notera kvalitetstal för GSM-länk och ålder på basstationsdata.**
7. **Gör en mätning.** (Mottagaren ställs om möjligt in på att göra en registrering så fort kvaliteten i plan kommer under 5 cm. Om det inte är möjligt, gör en medelvärdesbildning av 10 mätningar eller mät under 10 sekunder istället.)
8. **Anteckna eventuella anmärkningar.**
9. **Upprepa sekvens 1 - 8.**

Obs! Om fixlösning ej har uppnåtts inom 5 minuter, gör en notering om detta. Starta om mottagaren och gör om uppkopplingen mot nätverks-RTK-programmet i Gävle.

8.2 Resultat

8.2.1 Alla mätningar i projektet

Det har gjorts 4260 testmätningar. 34 mätningar i plan och 32 mätningar i höjd har sorterats bort på grund av sina "orimliga" värden, s.k. outliers eller grova fel. Gränsen för "orimligt" värde i både plan och höjd är här satt till 200 mm avvikelse från känt värde. Outliers i plan och höjd sammanfaller till stor del, se vidare avsnitt 8.2.2.

För varje mätning har avvikelsen mellan mätt position och den kända positionen i SWEREF 99 beräknats.

Mätningarna har sorterats från minsta till största avvikelse från det sanna värdet och med linjer som markerar 67%¹ och 95% av mätningarna i diagrammet. Diagrammen har tagits fram för avvikelse i plan, höjd samt initialiseringstid för alla mätningar i projektet, se bilaga 1.

Ur diagrammen har följande största avvikelser mellan mätta och kända värden för 67% respektive 95% av mätningarna (2-sigmanivå) erhållits.

Tabell 2: Största avvikelse i plan och höjd för 67% respektive 95% av alla mätningar i projektet, då "orimliga" värden (34 mätningar i plan och 32 st. i höjd) är bortsorterade, samt längsta tid till fixlösning för 67% respektive 95% av alla mätningar, då 14 mätningar med längre redovisad tid än 5 minuter är bortsorterade.

	$x = 67\%$	$x = 95\%$
Största avvikelse i plan för x % av alla mätningar [mm]	15	34
Största avvikelse i höjd för x % av alla mätningar [mm]	29	69
Längsta tid till fixlösning för x % av alla mätningar [sek]	13	38

En del outliers skulle vid produktionsmätning kunna ha sorterats bort med ledning av det kvalitetstal som presenteras i fältdatorn eller av PDOP. Vanligtvis sätter man en gräns för vilka kvalitetstal eller PDOP man tolererar i sin verksamhet, varpå fältdatorn varnar om detta värde överskrids.

För de allra flesta outliers gäller att det har varit problem att erhålla fixlösning, om inte för den aktuella mätningen så för andra mätningar i samma serie. I vissa fall har fixtiden för den aktuella mätningen varit lång. Det kan också i fält ge en fingervisning om att något är fel.

¹ I geodetiska sammanhang anges ofta största avvikelsen för 67% av mätningarna (1-sigmanivå).

En utrustningstyp står för en stor del av outliers. Man kan fundera på om sannolikheten för att fixlösningen är den rätta är tillräckligt högt ställd i GPS-mottagaren. Den bör vara inställd på minst 99% för att minska risken för falska fixlösningar. Om sannolikheten i stället är lägre inställd anser mottagaren snabbare att man har korrekt fixlösning, men risken för att få en s.k. falsk fix är högre.

Höjdvärdena från 50 mätningar tidigt i projektet fick strykas på grund av felaktiga höjduppgifter – man hade bl.a. redovisat höjder över Bessels ellipsoid i stället för i SWEREF 99 (d.v.s. över ellipsoiden GRS 80).

14 av mätningarna har en redovisad tid till fixlösning över 5 minuter (300 sekunder). I instruktionen för testmätningarna angavs att försöket skulle avbrytas om fixlösning ej hade erhållits efter 5 minuter. Dessa 14 mätningar med längre tid än 300 sek. är därför bortsorterade ur redovisningen av tid till fixlösning.

I diagrammet över tid till fixlösning kan man se att ett större antal – närmare 300 stycken – av testmätningarna har noll sekunder som angiven tid till fixlösning. Den gemensamma nämnaren för det stora flertalet av dessa är den fältdator som använts, såvitt projektledaren känner till. Man kan därför misstänka något fel i programvaran i denna; att den på något vis inte hinner indikera att fixlösningen släppts. Ända upp till fem sekunder är denna fältdator "överrepresenterad".

Medelavvikelse i plan och höjd, samt standardavvikelse och RMS (root mean square) har också räknats fram för alla mätningar.

Standardavvikelsen anger spridningen kring mätningarnas medelvärde eller tyngdpunkt:

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

där x är mätvärdet, \bar{x} är mätningarnas medelvärde och n är antal mätningar.

RMS (root mean square) är ett teoretiskt skattat medelfel som anger mätningarnas spridning kring det "sanna" värdet:

$$\sqrt{\frac{\sum x^2}{n}},$$

där x är avvikelsen från "sant" värde och n är antal mätningar.

Tabell 3: Medelavvikelse, standardavvikelse och RMS för alla mätningar (exkl. outliers). Alla värden i [mm].

Medelavvikelse	Lat	1,4
	Long	0,8
	Plan	1,6
	Höjd	-0,2
Standardavvikelse	Lat	15,1
	Long	10,1
	Plan	18,1
	Höjd	34,9
RMS	Lat	15,2
	Long	10,1
	Plan	18,2
	Höjd	34,9

Att RMS och standardavvikelse överensstämmer i både plan och höjd bekräftar att medelavvikelsen ligger mycket nära noll i både plan och höjd. Det är också det man förväntar sig då antalet mätningar är stort och inga systematiska fel föreligger.

8.2.1.1 Avstånd till närmaste referensstation

Nätverks-RTK-mätningarna har också redovisats med avseende på avståndet från närmaste referensstation, se bilaga 2. Den i diagrammet inlagda trendlinjen visar avvikelser i plan respektive höjd vid varje givet avstånd, samt tiden till fixlösning.

Trendlinjerna påvisar ett litet avståndsberoende om man ser till avvikelser i såväl plan som höjd och vad gäller tid till fixlösning är detta avståndsberoende så gott som obefintligt.

Avvikelsen i plan är 9 mm + 0,3 mm/km och i höjd är den 20 mm + 0,3 mm/km. Tid till fixlösning är 14 sekunder + 0,1 sek/km.

Man kan också se en ökad spridning i såväl planavvikelse och höjdavvikelse som tid till fixlösning när avståndet till den fysiska referensstationen ökar. Mer om detta i kapitel 8.2.4, där en jämförelse med RTK mot egen fast referensstation görs.

8.2.1.2 Antal satelliter

Testmätningarna som en funktion av antal använda satelliter vid mättillfället redovisas grafiskt i bilaga 3.

Trendlinjen representerar medelavvikelsen i plan respektive höjd samt medelfixtiden vid varje givet antal satelliter.

Även här syns ett beroende, vilket kan ses på att trendlinjerna lutar. Det är troligen heller ingen överraskning för dem som är vana GPS-användare att åtminstone tid till fixlösning minskar då antalet satelliter ökar.

För att göra en flygande bestämning av periodobekanta ("on the fly"), vilket är den idag vanligaste metoden att initialisera, krävs signallåsning mot minst fem satelliter. När man har fått fixlösning kan den behållas så länge man har låsning mot minst fyra satelliter.

Den enstaka mätning som gjorts med fyra satelliter behöver således inte vara felaktigt registrerad.

Betydligt färre mätningar har gjorts med fem respektive elva eller tolv satelliter än med sex till tio satelliter, varför trendlinjens giltighet för fem och elva-tolv satelliter kan diskuteras.

8.2.1.3 GPS-mottagarens kvalitetstal

I de flesta typer av GPS-mottagare redovisas någon typ av kvalitetstal som är en uppskattning av precisionen i mätvärdet. De faktorer som har betydelse för beräkningen av detta kvalitetstal och som Leica (2004) nämner på sin hemsida är t.ex. avstånd till referensstationen och satellitkonstellation (DOP-tal) och hur brusiga satellitsignalerna är. Man kan anta att även de andra GPS-mottagarfabrikaten gör motsvarande beräkningar.

Det är av intresse att se hur bra kvalitetstalen avspeglar verkligheten, varför diagram över avvikelser i plan, höjd respektive tre dimensioner (3D) redovisas i bilaga 4.

Grova fel i både plan och höjd sorterades bort före utritning i diagrammen, liksom mätningar som saknade höjdvärde och mätningar där inget kvalitetstal redovisats. Kvar blev 4062 mätningar.

Man ser på trendlinje i diagrammen att det finns en korrelation mellan storleken på avvikelsen från "sann" position och kvalitetstalet. Kvalitetstalet avser oftast den tredimensionella positionen, varför det är mest relevant att titta på hur den tredimensionella avvikelsen förhåller sig till kvalitetstalet.

Trendlinjens – som representerar medelavvikelsen vid varje givet kvalitetstal – lutning kan man se i ekvationen uppe till höger i diagrammet och för det tredimensionella fallet är lutningen 0,31. Det innebär att om t.ex. kvalitetstalet (x) är 50 mm skulle den uppskattade avvikelsen (y) vara 38 mm om

$$y = 0,3143 \cdot x + 22,478$$

Om kvalitetstalet på ett optimalt sätt beskriver precisionen i mätningen skulle avvikelsen och kvalitetstalet vara lika stora, d.v.s trendlinjens lutning borde vara brantare än vad som visas i diagrammen i bilaga 4. Lutningen borde då vara nära 45° och lutningskoefficienten nära 1. Kvalitetstalet verkar alltså vara aningen pessimistiskt i fallet med nätverks-RTK, vilket också Leica (2004) anger på sin hemsida.

Tittar man på kvalitetstalet för den tredimensionella positionen och applicerar på mätningen enbart i plan eller höjd blir detta förhållande ännu tydligare. Trendlinjen i det plana fallet har lutningen 0,16 och i höjdfallet 0,25, vilket också kan ses i bilaga 4.

Detta kan vara ett problem om användaren felaktigt tolkar kvalitetstalet som ett absolut mått på mätningens kvalitet i plan, särskilt i de fall som höjden inte är intressant.

8.2.2 Programvaruversionsbyte – GPSNet

Den 7 februari 2003 installerades en ny version av GPSNet som trots tester med tillfredsställande resultat visade sig ge många användare stora problem att få fixlösning, se vidare avsnitt 5.2.

Den 25 mars 2003 installerades återigen en ny programvaruversion som åtgärdade de stora fixlösningsproblemen och bl.a. tillämpade bättre atmosfärsmodellering.

Då det gjordes en större mängd testmätningar under perioden före den 7 februari och under problemperioden finns det visst intresse att dela in testmätningarna i två perioder – före och efter den 25 mars 2003 – för att se om någon förbättring erhållits efter detta.

Man kan i tabellen nedan se en klar förbättring i plan och att avvikelsen från "sant" värde har minskat markant. I höjd är denna minskning inte lika påtaglig.

Tabell 4: Testmätningar före och efter programvaruversionsbytet den 25 mars 2003.

	T.o.m. 25 mars 2003			Fr.o.m. 26 mars 2003		
	67%	95%	Outliers	67%	95%	Outliers
Plan [mm]	17	43	18 st.	15	30	16 st.
Höjd [mm]	28	72	18 st.	29	68	14 st.

Före programvaruversionsbytet gjordes 1346 mätningar i plan och 1296 mätningar i höjd. Av dessa var 18 outliers i plan respektive höjd, vilka till hälften sammanföll.

Ett par outliers i plan saknade höjdvärde. Några outliers i plan hade ganska stora höjdavvikelse, strax under gränsen för outlier. Några outliers i plan hade en medelstor höjdavvikelse (omkring 100 mm).

En outlier i plan hade nöjaktigt höjdvärde.

Nära hälften av outliers i höjd hade godtagbart planvärde, medan en outlier i höjd hade relativt stor planavvikelse.

Efter programvarubytet har 2914 mätningar gjorts. Av dessa var 16 outliers i plan och 14 i höjd. De två outliers i plan som inte sammanföll med outliers i höjd hade höga höjdvärden, precis under gränsen för outlier.

Medelavvikelse i plan och höjd, samt standardavvikelse och RMS (root mean square) har också räknats fram för alla mätningar före och efter programvaruversionsbytet den 25 mars 2003. Jämför också med stycke 8.2.1, där motsvarande räknats fram för alla mätningar under hela projektiden.

Tabell 5: Medelavvikelse, standardavvikelse och RMS för alla mätningar (exkl. outliers) före och efter programvaruversionsbytet den 25 mars 2003. Alla värden i [mm].

		<i>T.o.m. 25 mars 2003</i>	<i>Fr.o.m. 26 mars 2003</i>
Medelavvikelse	Lat	1,5	1,4
	Long	0,7	0,9
	Plan	1,7	1,6
	Höjd	-0,8	0,1
Standardavvikelse	Lat	17,8	13,6
	Long	11,8	9,2
	Plan	21,4	16,4
	Höjd	37,0	34,0
RMS	Lat	17,9	13,7
	Long	11,8	9,2
	Plan	21,4	16,5
	Höjd	37,0	34,0

Här kan man, liksom i tabell 4 ovan, se att testvärdena förbättrats efter programvaruversionsbytet.

8.2.3 Tidsserier

Hur ser repeterbarheten ut vid mätning med nätverks-RTK? Svaret på den frågan kan ses grafiskt i bilaga 5, där tidsserier av mätningar på ett par punkter redovisas.

För att få bra tidsserier var målet att välja två punkter där många testmätningar har genomförts. I möjligaste mån söktes också punkter som ligger relativt långt från närmaste referensstation. Utifrån dessa kriterier blev det en punkt som ligger 23 km från referensstationen i Borås och en punkt 17 km från Onsala.

Boråspunkten är mätt 160 gånger mellan den 4 december 2002 och den 26 september 2003, oftast cirka 20 mätningar per månad. Onsala-punkten är mätt 180 gånger från den 22 januari 2003 till den 24 september 2003, cirka 20 mätningar i månaden.

I diagrammen kan man se att beloppen på avvikelserna i plan och höjd inte varierar så mycket över tiden. I plan är så gott som alla avvikelser mindre än 40 mm och det stora flertalet mätningar har avvikelser mindre än 20 mm, oavsett när under testperioden de har utförts. I synnerhet i höjd kan man se att de individuella mätningarna inom en mätserie ligger ganska väl samlade som grupper om tio mätvärden, men att avvikelserna varierar mer mellan mätserierna. Det tycks alltså finnas någon form av systematiska fel mellan de olika mätserierna.

För första mätserien på Borås-punkten finns noterat att man hade problem att få fixlösning. När man väl lyckats få fixlösning var också kvalitetstalet ganska högt. Dessa problem avspeglas i de stora avvikelserna som kan ses i diagrammen.

8.2.4 Jämförelse mot egen referensstation

De intressenter i projektet som haft tillgång till egen fast referensstation har gjort jämförande mätningar mellan nätverks-RTK och RTK mot egen referens (se kap. 8.1).

Det har gjorts 1778 mätningar mot egen referens. Därutöver har fem mätningar gjorts med en tid till fixlösning på över 300 sek, men dessa fem mätningar redovisas inte vid jämförelse av tid till fixlösning.

I bilaga 5 redovisas tid till fixlösning för alla mätningar mot egen referensstation, sorterade från kortaste till längsta tid. Diagrammet liknar i stort motsvarande diagram för nätverks-RTK, men över 95% kan man notera en "puckel".

Tabell 6: Längsta tid till fixlösning för 67% respektive 95% av alla mätningar med enkelstations-RTK, då 5 mätningar med längre redovisad tid än 5 minuter är bortsorterade.

	$x = 67\%$	$x = 95\%$
Längsta tid till fixlösning för x % av alla mätningar [sek]	14	38

För enkelstations-RTK kontra nätverks-RTK har jämförelser gjorts mellan precisionen i mätta positioner samt tid till fixlösning. Att jämföra avvikelser från "sann" position är inte meningsfull då vi inte har uppgifter om hur de egna fasta referensstationerna är inräknade i SWEREF 99. Det finns stor risk att flertalet av dessa är räknade med någon typ av inpassning på lokalt referenssystem, vilket gör att man i SWEREF 99 ser systematiska fel.

Således har en jämförelse av standardavvikelser för de olika testpunkterna gjorts. Standardavvikelse är ett mått på spridningen kring ett medelvärde av alla mätningar i varje punkt.

Standardavvikelsen har beräknats för varje testpunkt och sedan plottats i diagrammet en gång för varje mätvärde, för att få en viktning av trendlinjen beroende på hur många mätningar som gjorts på respektive punkt.

Diagram över dessa jämförelser finns i bilaga 6.

Mätningarna med nätverks-RTK har gjorts så långt som 38 km från närmaste referensstation medan mätningarna mot egen fast referens gjorts som längst ungefär 23 km från den egna referensstationen. Man bör alltså notera att vi i projektet inte vet något om hur RTK mot egen referens skulle fungera på de långa avstånd som testats med nätverks-RTK.

Enkelstations-RTK mot egen referens är mer avståndsberoende än nätverks-RTK vad gäller tid till fixlösning. Testerna i projektet visar att tiden ökar med knappt en sekund per kilometer. Nätverks-RTK är så gott som oberoende av avståndet – tid till fixlösning ökar med knappt 0,1 sekund per kilometer. På korta avstånd – upp till cirka 7 km – från referensstationen är dock enkelstations-RTK snabbare att ge fixlösning.

Standardavvikelsen i både plan och höjd ökar för både enkelstations-RTK och nätverks-RTK då avståndet från referensstationen ökar; enkelstations-RTK ökar dock mer. I plan är standardavvikelsen för nätverks-RTK 9 mm + 0,3 mm/km och för enkelstations-RTK 12 mm + 0,6 mm/km. I höjd är motsvarande värden 15 mm + 0,5 mm/km för nätverks-RTK och 17 mm + 1 mm/km för enkelstations-RTK.

Det betyder att spridningen mellan mätvärdena kring ett medelvärde ökar mer för enkelstations-RTK än nätverks-RTK.

Standardavvikelsen för enkelstations-RTK ökar ungefär dubbelt så mycket per kilometer som för nätverks-RTK, i både plan och höjd.

Jämförelser av nätverks-RTK och enkelstations-RTK finns även redovisade i Alm och Munsin (2003), liksom i Jonsson och Nordling (2003).

8.2.5 Jämförelse av olika mottagarfabrikat

En jämförelse av testresultaten mellan olika fabrikat av GPS-mottagare har i några fall efterfrågats. Det är dock inte tillförlitligt att göra en sådan jämförelse inom projektets ram, då underlaget skulle bli mycket skevt.

Ett mottagarfabrikat dominerar helt bland testmätningarna och av ytterligare tre eller fyra deltagande fabrikat finns testmätningar inlämnade från två till fyra utrustningar av vardera fabrikatet. Underlaget från dessa fabrikat är alltså inte tillräckligt stort för att jämförelsen skulle bli statistiskt godtagbar.

Sådana jämförelser av olika mottagarfabrikat finns dock redovisade i ett examensarbete vid Högskolan i Gävle (Jonsson A & Nordling A, 2003) samt en gemensam nordisk test av nätverks-RTK (Engfeldt A et al., 2003).

I slutrapporten från Position Stockholm-Mälaren - 1 (Wiklund, 2002) finns också en tidig jämförelse mellan noggrannheten för nätverks-RTK med olika mottagarfabrikat.

9 Diskussion och slutsatser

9.1 Diskussion

På testresultaten kan man se att såväl avvikelser i plan och höjd som tid till fixlösning har minskat under projektets gång. Detta redovisas i stycke 8.2.2.

Tittar man ännu längre tillbaka i tiden, t.ex. på testresultaten från Position Stockholm-Mälaren - 1 (Wiklund, 2002), ser man att testresultaten har förbättras än mer sedan dess. Förhoppningsvis fortsätter utvecklingen av nätverks-RTK i den riktningen och man kan hoppas på ytterligare förbättrade mätresultat i framtiden.

Idag använder man regelmässigt RTK för guidning och styrning av maskiner vid vissa stadier av byggprojekt som vägbyggen. Det gäller de skeden av bygget där kraven på höjdnoggrannheten kan tillgodoses med RTK. Allteftersom utvecklingen av tekniken går framåt och avståndsberoendet minskar blir också nätverks-RTK mer intressant för entreprenadbranschen och deras maskiner.

Än så länge har den enda distributionskanalen för nätverks-RTK-korrektonerna varit GSM. För att få bästa möjliga förutsättningar för nätverks-RTK finns önskemål om en kompletterade distributionskanal, t.ex. DARC-kanalen på FM-radiobandet. Det skulle underlätta för dem som inte har fullgod GSM-täckning, samtidigt som den dubblerade distributionsmöjligheten skulle hjälpa dem som saknar radiotäckning.

När standardformatet RTCM version 3 är färdigutvecklat kommer det att innehålla en standard för överföring av nätverks-RTK-data via envägskommunikation, vilket skulle kunna öppna för utsändning över FM-radio. Hur ekonomin i utsändning över DARC-kanalen kan se ut är ännu osäkert, men för de som idag har dålig GSM-täckning skulle det ändå kunna innebära en möjlighet att använda nätverks-RTK över huvud taget.

Ett annat alternativ till att distribuera nätverks-RTK-data via GSM skulle kunna vara distribution över Internet och GPRS, i synnerhet om datamängden kan minskas genom RTCM-protokollets kommande versioner och på så sätt förbättra ekonomin i nätverks-RTK för användaren.

Under projekttiden har solens aktivitet tidvis varit hög och orsakat en "orolig" jonosfär. Detta har påverkat all mättningsverksamhet med GPS negativt. Det är alltså inte bara nätverks-RTK som påverkas av jonosfäriska störningar, utan även enkelstations-RTK och statisk GPS-mätning.

Från månadsskiftet september-oktober till slutet av november 2002 var aktiviteten tidvis hög. Detsamma gäller för tiden februari och mars 2003. Under hösten 2003 kan särskilt månadsskiftet oktober-november nämnas som särskilt påverkad av jonosfäriska störningar.

Solens aktivitet varierar över en elvaårig cykel. Under projektet befann vi oss i slutet av ett maximum i denna cykel. Tills nästa maximum omkring 2012 har säkert såväl nätverks-RTK-programvara som beräkningsalgoritmerna i GPS-mottagarna förbättrats.

I framtiden kommer vi också att vara bättre rustade för jonosfärsaktivitet och andra störningar genom nya satellitsystem - det europeiska Galileo planeras vara i drift år 2008 - och nya signaler både i GPS-systemet och genom Galileo.

9.2 Slutsatser

Testmätningarna har visat att det finns potential i nätverks-RTK. Programvaran GPSNet tillsammans med SWEPOS-nätet och GSM som datalänk kan användas för t.ex. detaljmätning under produktionsförhållanden där noggrannhetskraven i plan inte är högre än 0,04 m (95% konfidensnivå) och GSM-täckningen är god.

Nätverks-RTK-teknikens höjdnoggrannhet uppfyller dock ännu inte höjdkraven för riktigt alla precisionstillämpningar. Om detta beror på tekniken eller på bristfälliga antennmodeller hos användarnas rover-enheter är ännu inte helt klarlagt, varför Lantmäteriet avser att vidare utreda detta.

Man kan också konstatera att avståndsberoendet i nätverks-RTK är mycket litet – mindre än för enkelstations-RTK.

Tidigare projekt (Wiklund, 2002) har indikerat att det bör undersökas hur GPS-mottagarna av olika fabrikat använder nätverks-RTK-data. Bland annat bör båda GPS-frekvenserna användas vid RTK-beräkningen, vilket inte verifierats från alla GPS-tillverkare. Inte heller vet vi säkert hur antennmodeller hanteras i de olika fabrikaten av GPS-mottagare då både L1- och L2-mätningar används.

En annan fråga att ställa sig är: Hur är antennens referenspunkt fysiskt markerad på antennen? Det är viktigt att denna markering är entydig så att antennhöjden blir korrekt mätt och inmatad i fält-datorn vid RTK-mätning.

Nätverks-RTK-tekniken har i vissa fall också gjort det möjligt för mindre kommuner eller konsulter att introducera GPS-tekniken eftersom investeringskostnaden minskat.

Diskussioner med användarna har visat att det finns önskemål om någon typ av handledning för mätning med enkelstations-RTK och nätverks-RTK. En sådan skulle kunna ge tips och råd om hur man säkerställer kvaliteten i sina mätningar och hur man på i möjligaste mån undviker grova fel. Lantmäteriet avser att ta fram en sådan handledning.

Det finns en allmän önskan om prognoser av solaktiviteten, eftersom solens aktivitet kan påverka GPS-mätningar negativt (se avsnitt 9.1). Idag finns mycket lite forskning gjord på hur jonosfärsaktiviteten påverkar praktiska GPS-mätningar. Det vore önskvärt om det t.ex. på Internet fanns uppgifter om förväntad kommande solaktivitet på samma sätt som man kan göra en satellitprediktion.

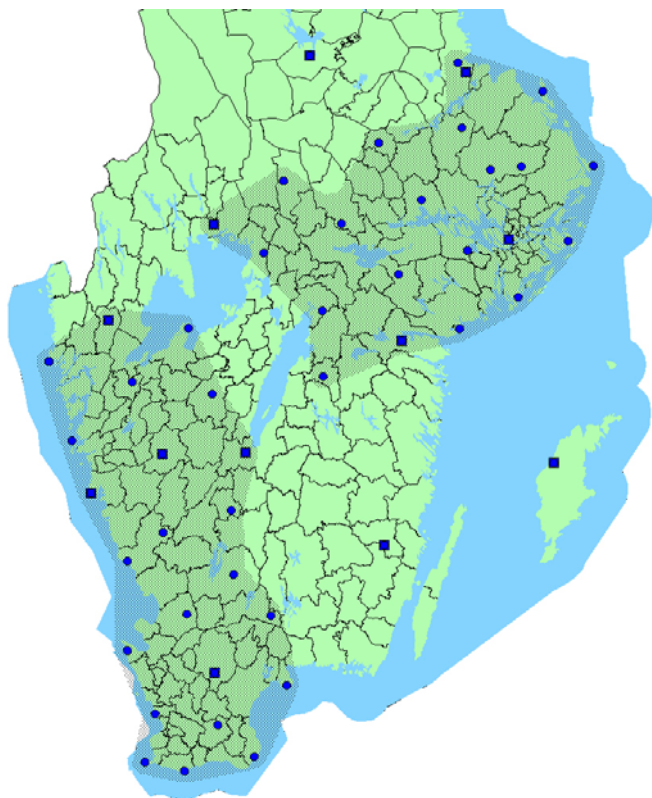
Genom Väst-RTK har projektdeltagarna också fått ett nytt, effektivt verktyg som gör det möjligt att undersöka homogeniteten i de lokala koordinatsystemen.

Förutom att Väst-RTK har resulterat i ett nätverk av fasta referensstationer i Västsverige har också grunden lagts för ett nätverk på ett mer mänskligt plan – ett nätverk mellan kommuner, konsulter, leverantörer och andra intressenter i projektet. Detta nätverk har varit ett forum för kunskaps- och erfarenhetsutbyte som vi hoppas kommer att bestå även efter projektets slut.

10 Vad händer efter projektet?

10.1 SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

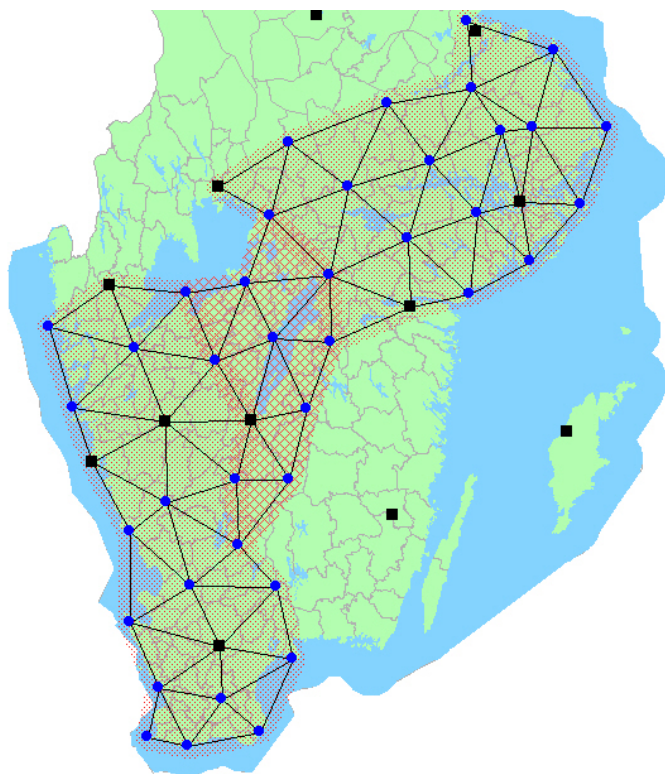
När projektet tillsammans med de två andra projekten SKAN-RTK – 2 och Position Stockholm-Mälaren – 2 avslutades den 31 december 2003 övergick dessa den 1 januari 2004 till SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (Jonsson, 2003). För tillgång till tjänsten tas avgifter ut. Prislista och blanketter för anmälan av abonnemang finns på www.swepos.com.



Figur 12: Täckningsområde för SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst den 1 januari 2004.

10.2 Etableringsprojekt

Ett nytt etableringsprojekt för nätverks-RTK har startades den 15 februari 2004 i området runt Vättern (Mitt-Ost-RTK), där fyra nya referensstationer har etablerats. Projektet löper till februari 2005.

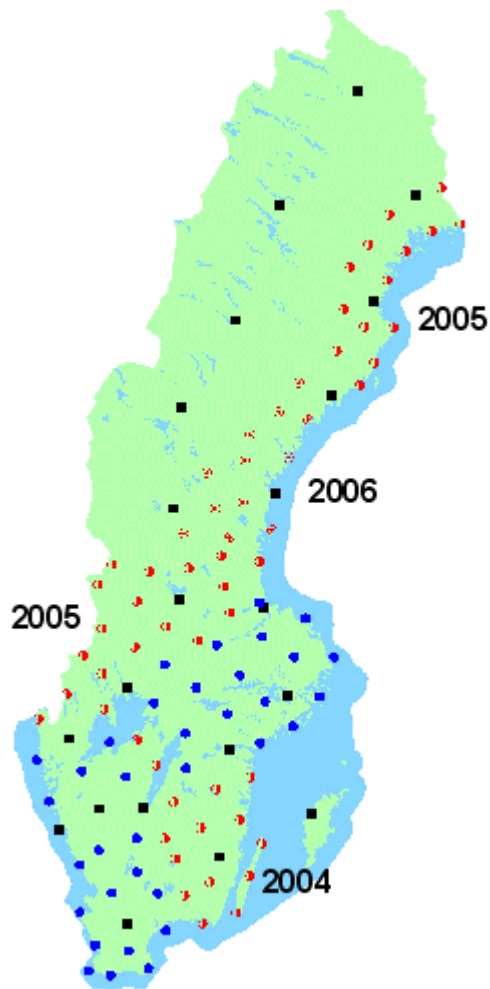


Figur 13: I och med starten av projekt Mitt-Ost-RTK (det mörkare markerade området kring Vättern) ökade också täckningsområdet för nätverks-RTK-tjänsten den 15 februari 2004. De två tidigare täckta områdena bands samman till ett enda.

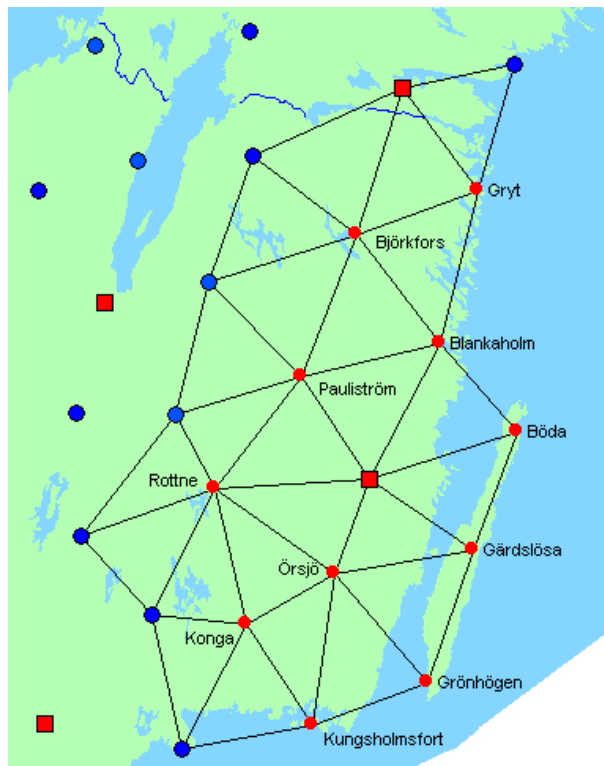
Vidare pågår förhandlingar med intressenter i sydöstra Götaland om att starta ett etableringsprojekt i området (Ost-RTK). Planerad driftstart för detta projekt är under sommaren 2004.

Det finns även planer på projekt i Värmland /Dalarna (Position Mitt) och längs Norrlandskusten (Nordost-RTK och Mellan-RTK).

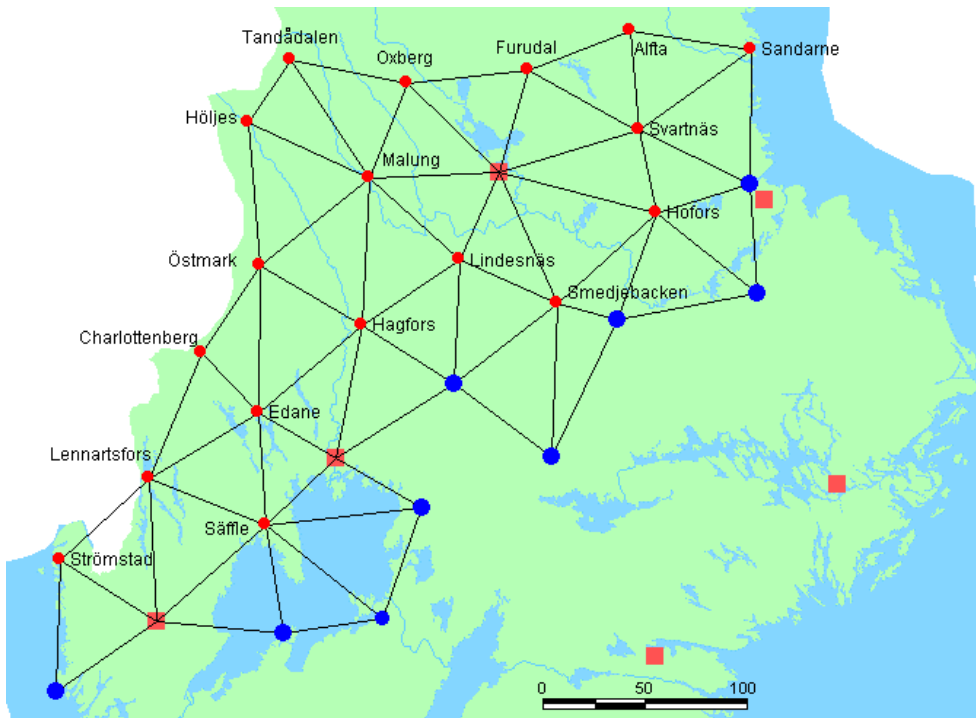
Förutsättningen för dessa etableringsprojekt är att finansiering för etableringsåret kan säkras genom intressentmedel och extern finansiering, t.ex. EU-medel.



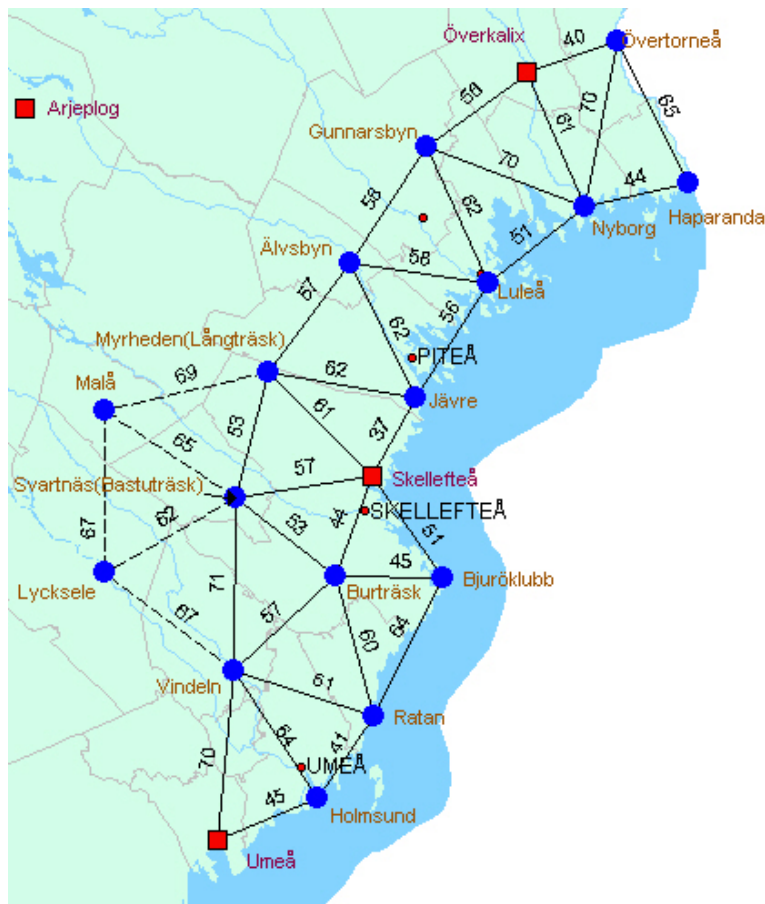
Figur 14: Översikt över planerade etableringsprojekt för nätverks-RTK-tjänsten. Årtalen i kartan indikerar planerad start för resp. projekt.



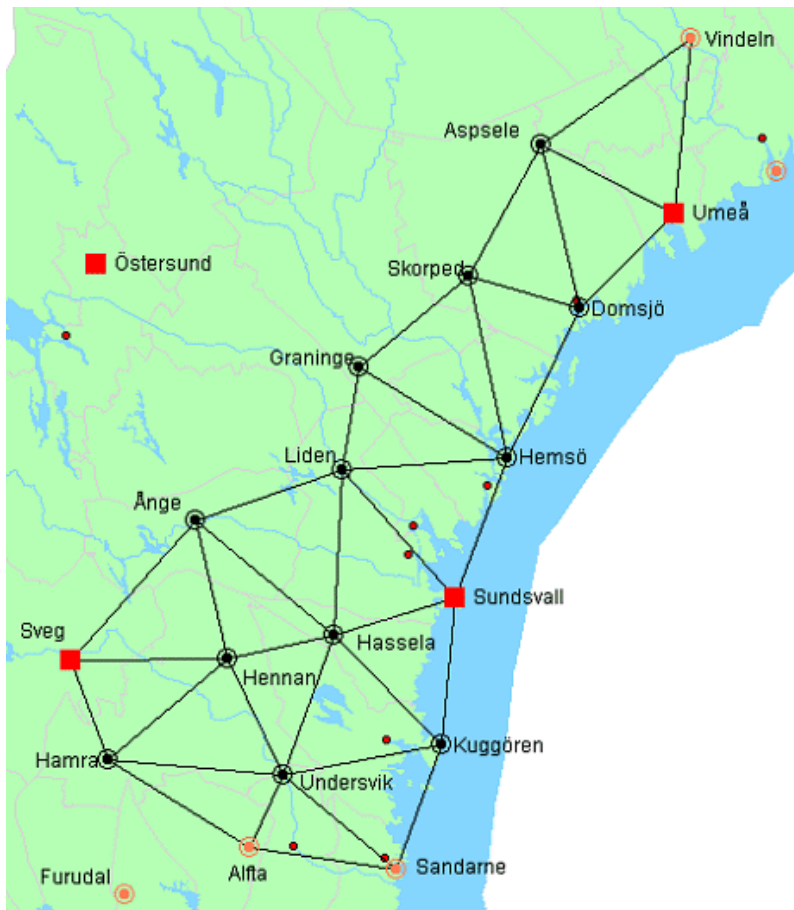
Figur 15: Nätkonfigurationen för det planerade Ost-RTK, som kommer att ansluta mot nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde.



Figur 16: Det planerade referensstationsnätet för Position Mitt. Nätet ansluter i söder till nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde.



Figur 17: Den föreslagna nätutformningen för Nordost-RTK.



Figur 18: Mellan-RTK föreslås binda samman områdena för Nordost-RTK och Position Mitt.

10.3 SWEPOS referensgrupp

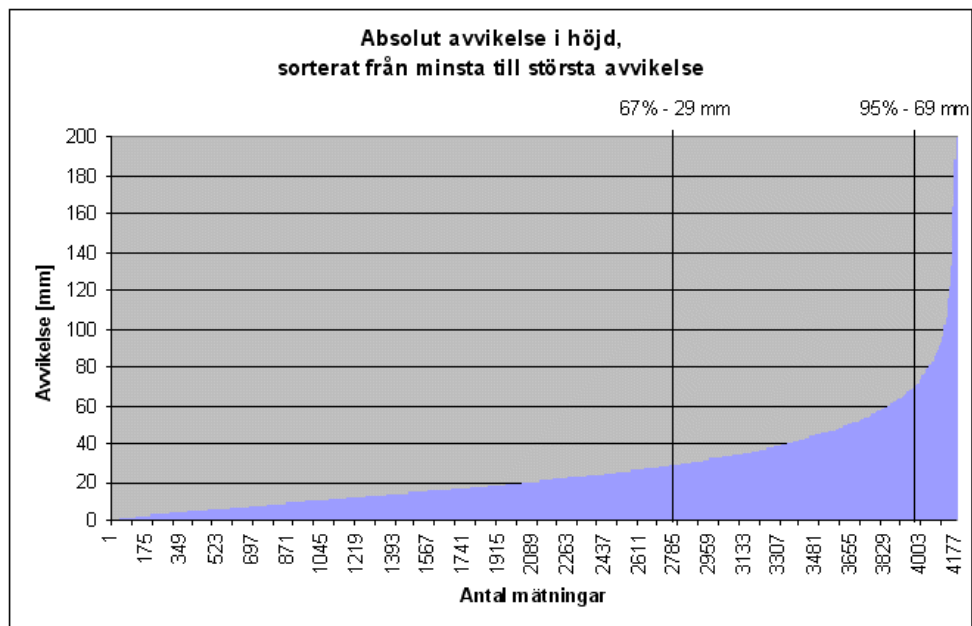
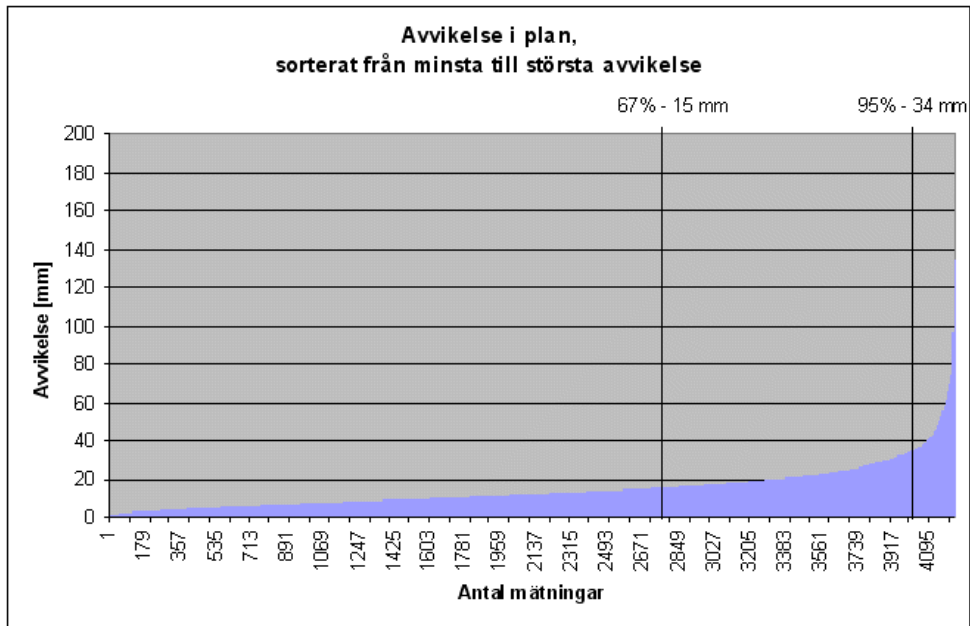
För att bibehålla de kontaktnät som uppkommit under de tre nätverks-RTK-projekten Väst-RTK, SKAN-RTK - 2 och Position Stockholm-Mälaren - 2 har en referensgrupp inrättats. Referensgruppen består av några lokala representanter från varje projektområde samt representanter på nationell nivå från statliga verk.

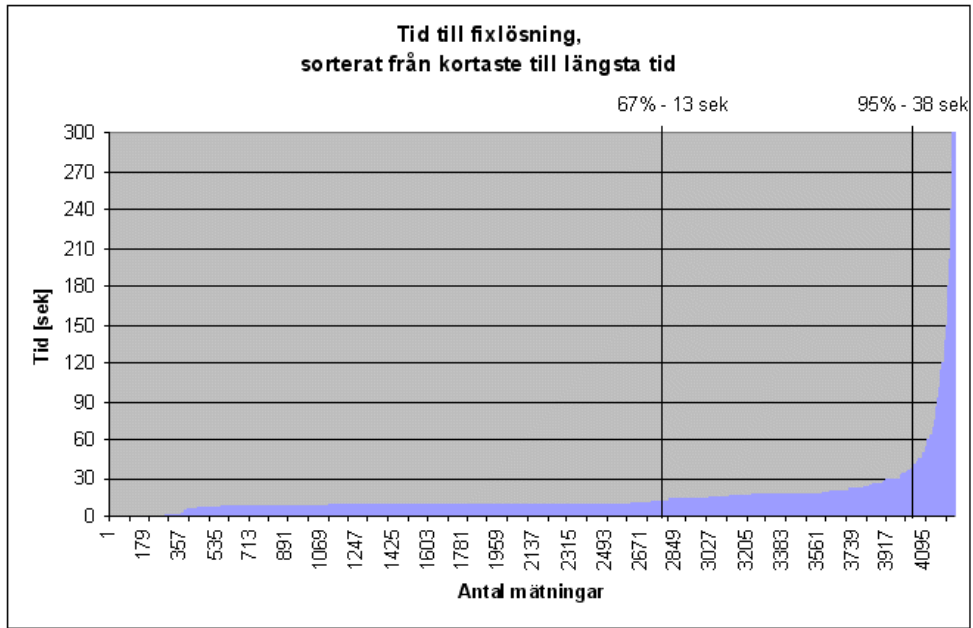
Denna referensgrupp är tänkt att fungera som forum för kommunikation mellan nätverks-RTK-användarna och SWEPOS. De lokala representanterna i sin tur fungerar som kontaktpersoner för de lokala nätverks-RTK-användarna och kan assistera vid lokala användarseminarier.

Referenser

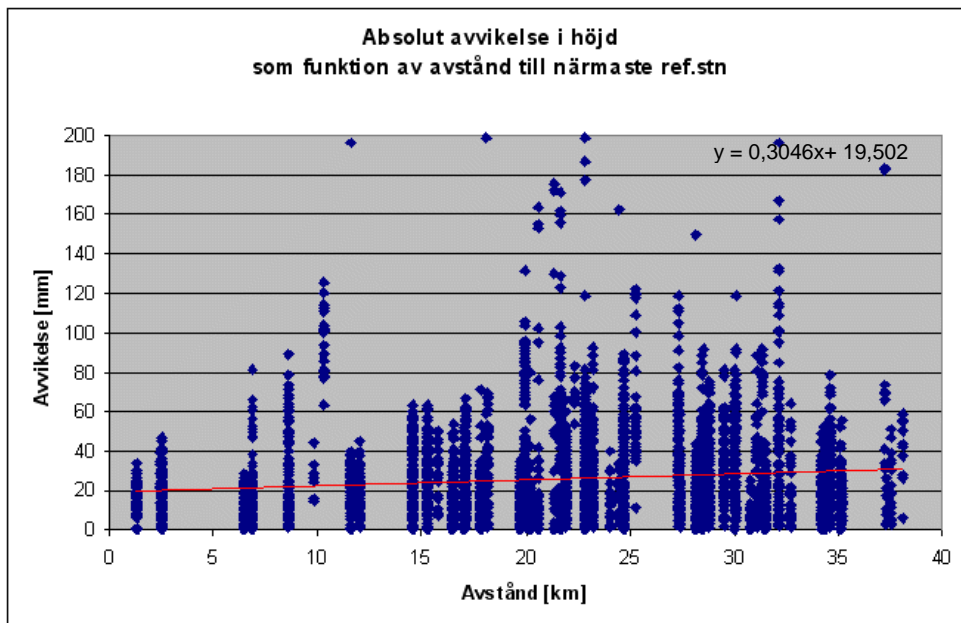
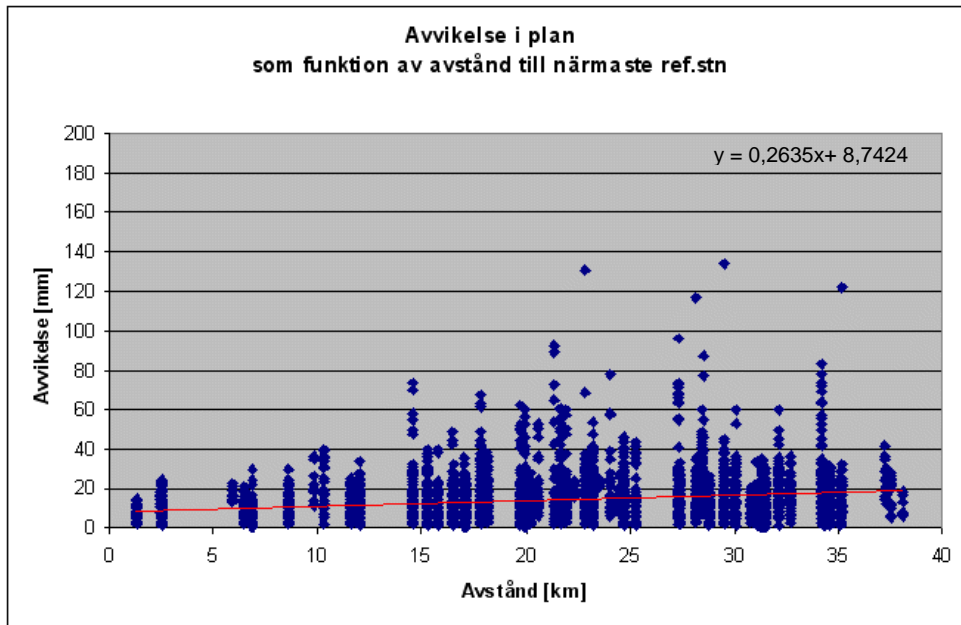
- Alm M & Munsin A-S (2003): Traditionell RTK kontra nätverks-RTK - En noggrannhetsjämförelse. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2003:11, Gävle.
- Engfeldt A, Norin D, Nielsen J, Warming L H, Grinde G, Johansson D, Lilje C, Nilsson A, Wiklund P, Kempe T, Frisk A (2003): The 2002 NKG GNSMART/GPSNet test campaign. Lantmäteriet, Reports in Geodesy and Geographical Information Systems, 2003:4, Gävle.
- Johansson D (2004): SKAN-RTK - 2 - nätverks-RTK i produktionstest i södra Sverige. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2004:12, Gävle.
- Jonsson A & Nordling A (2003): Jämförelse av enkelstations-RTK och nätverks-RTK i Lantmäteriets testnät. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2003:12, Gävle.
- Jonsson B (2003): SWEPOS® Nätverks-RTK-tjänst erbjuder positionering med centimeternoggrannhet. SKMF, Sinus, nr 4 2003, sid. 5-8.
- Lantmäteriet (2002): Projektbeskrivning - Nätverks-RTK för västra Sverige, Lantmäteriets dnr L2002/438.
- Leica Geosystems (2004): <http://www.leica-geosystems.com>, FAQ Knowledge Database: <http://www2.leica-geosystems.com/global/webforms/chher656.nsf/f57e8b8ca21c15e2c1256cd900321028/0f975b098805a93d412569e70049c3ed?OpenDocument>, 2004-02-12.
- Lilje C (2001): Projekt NeW-RTK - en utvärdering av programvaror för nätverks-RTK. SKMF, Sinus, nr 1 2001, sid. 22-24.
- Ollvik L (red.) (2001): SKAN-RTK - referensstationsnät i Skåne för nätverks-RTK. Rapport från projekt SKAN-RTK.
- Peterzon M (2004): Distribution of GPS-data via Internet. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2004:1, Gävle.
- Wiklund P (2002): Slutrapport för projekt "Position Stockholm-Mälaren - 1". Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2002:1, Gävle.
- Wiklund P (2004): "Position Stockholm-Mälaren - 2" - nätverks-RTK i produktionstest. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2004:13, Gävle.

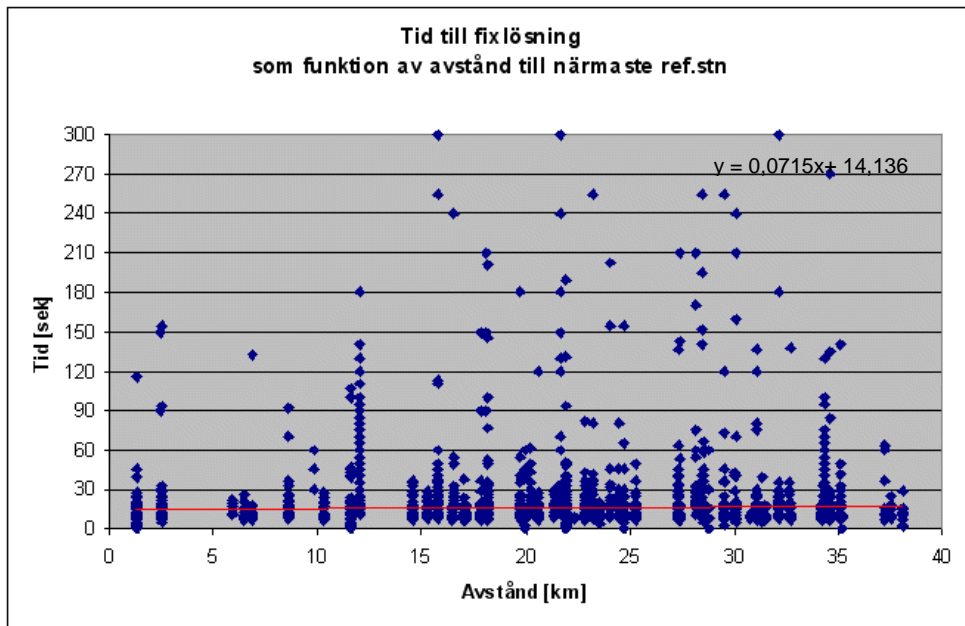
Bilaga 1 - Alla mätningar



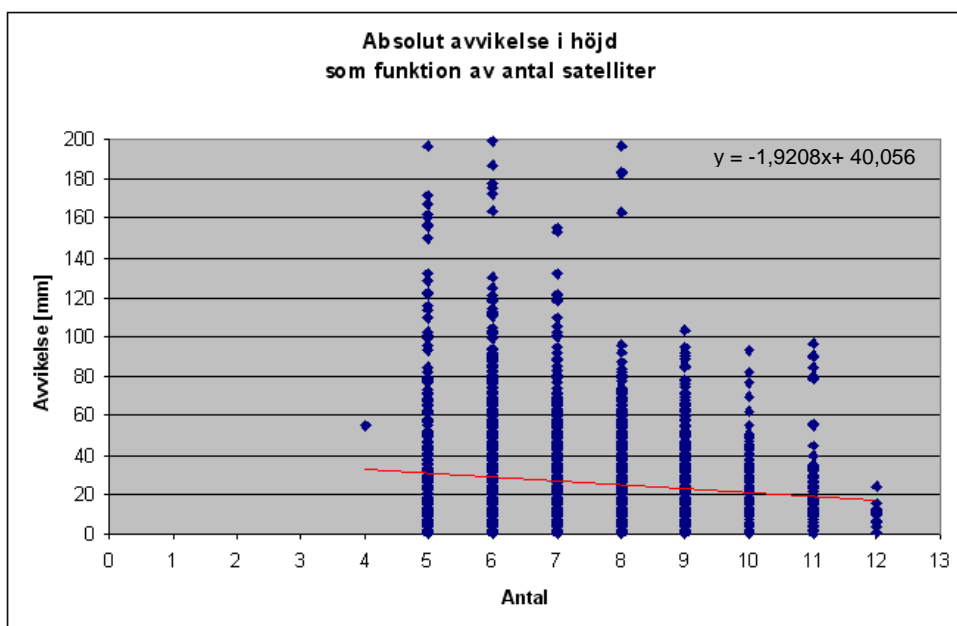
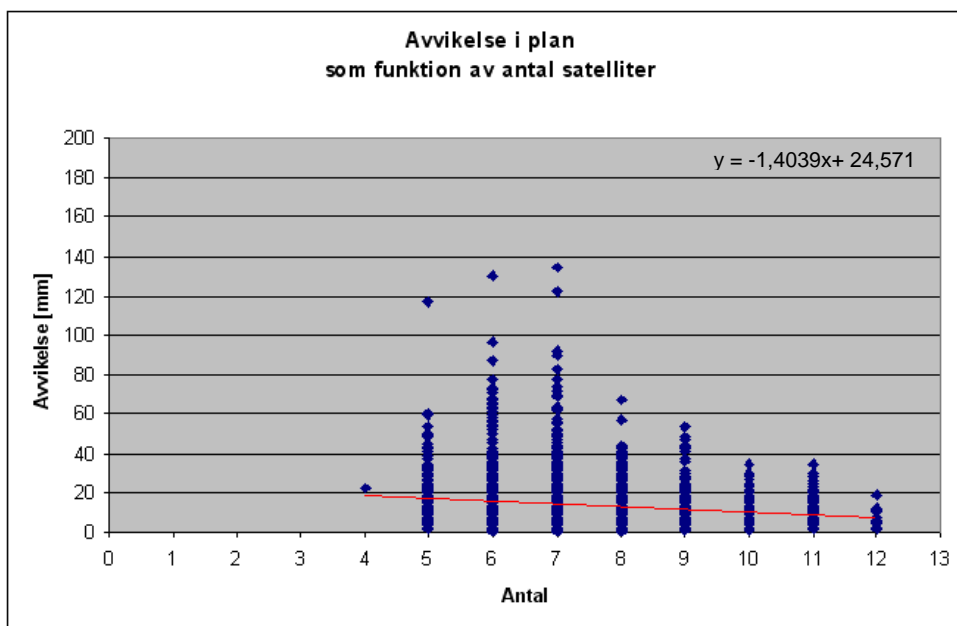


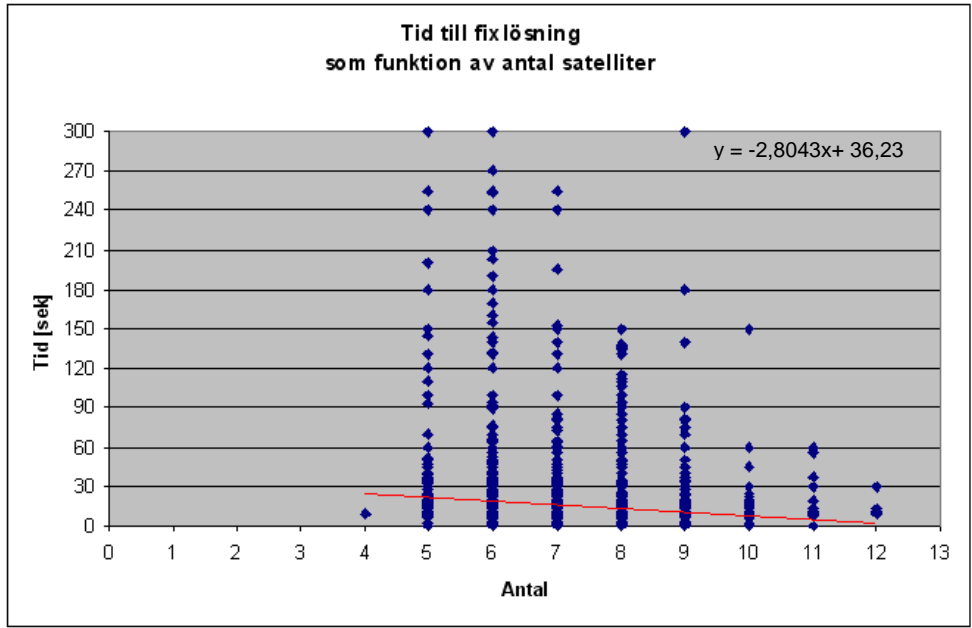
Bilaga 2- Avstånd till referensstation



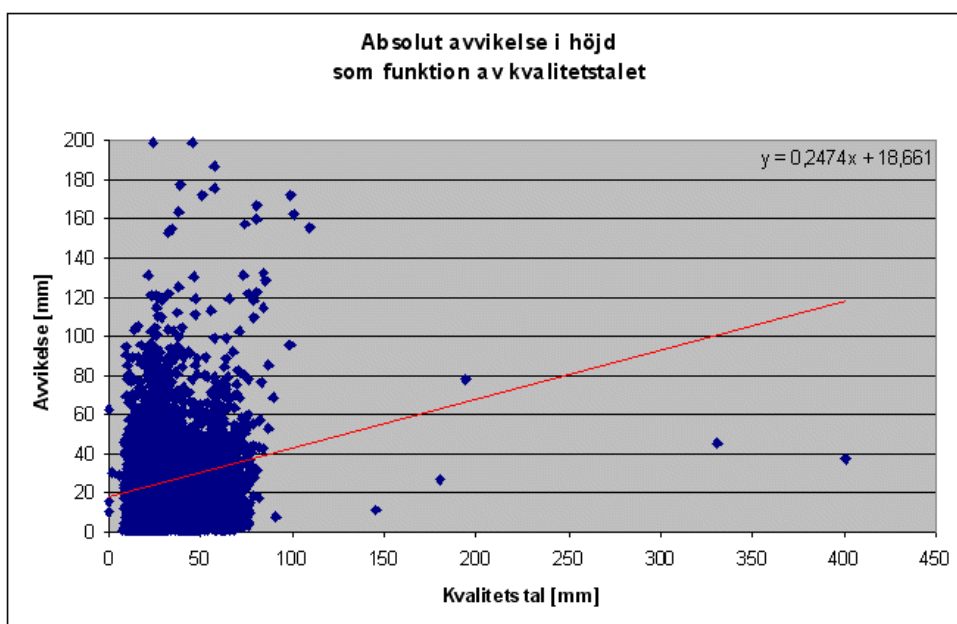
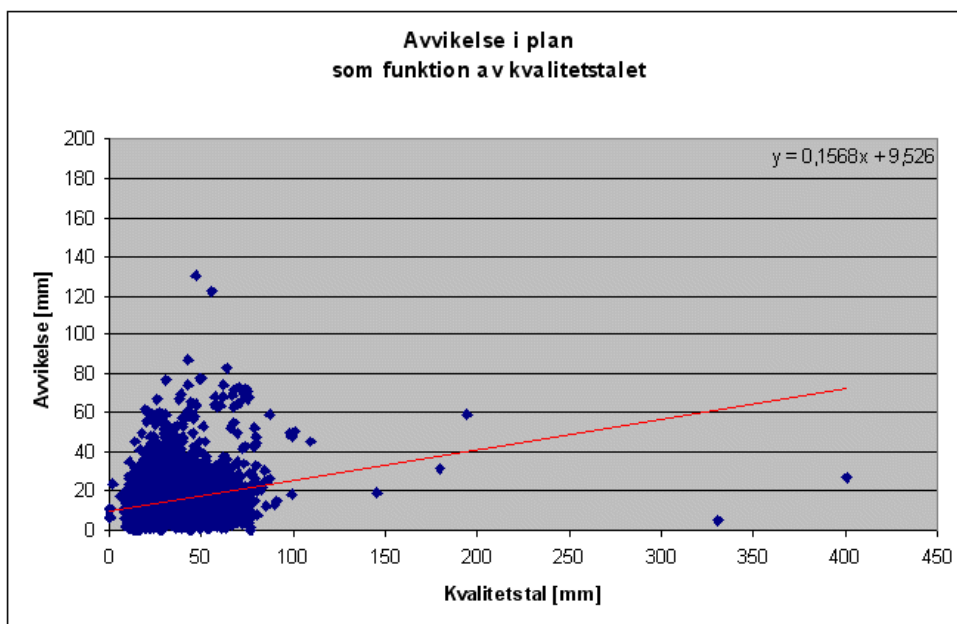


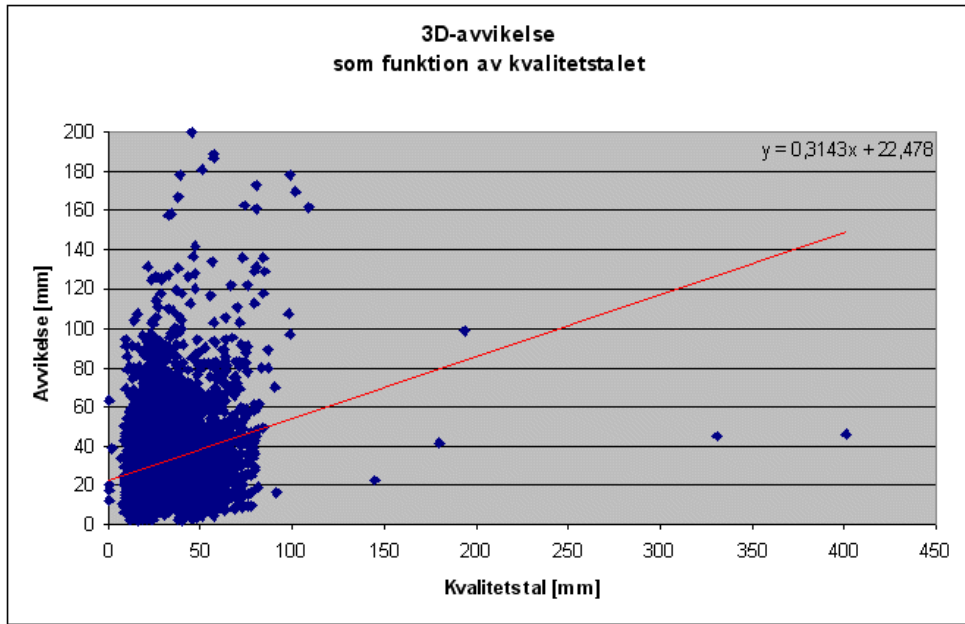
Bilaga 3 – Antal satelliter



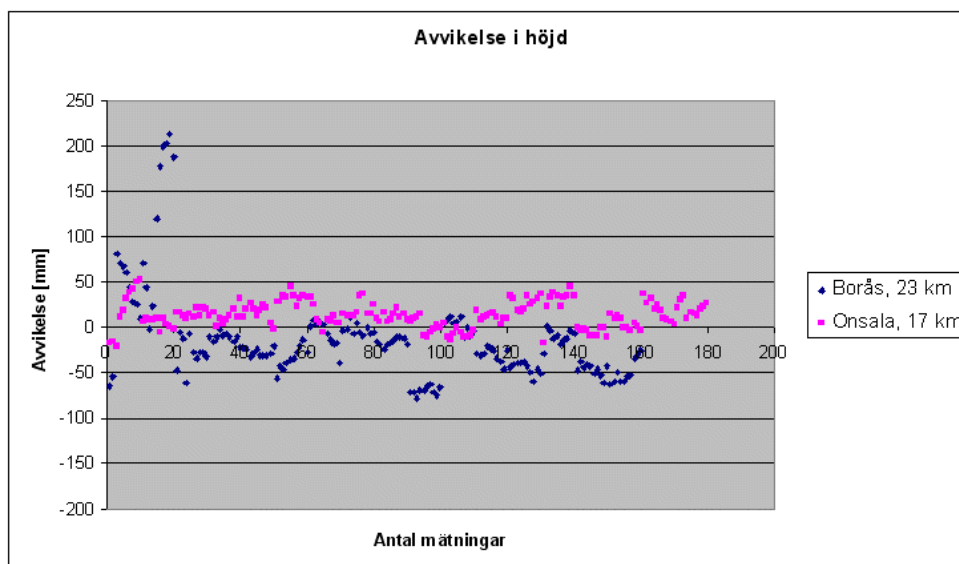
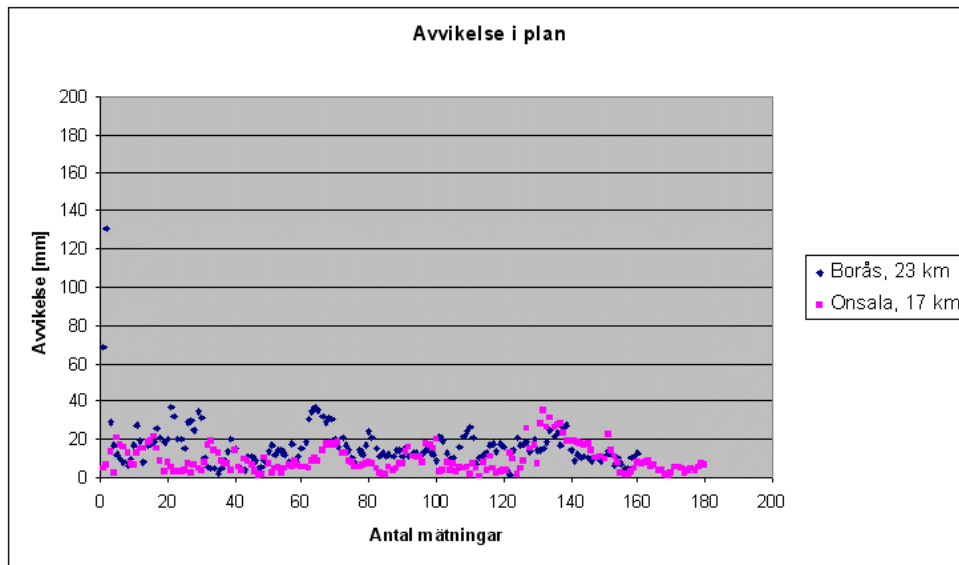


Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal

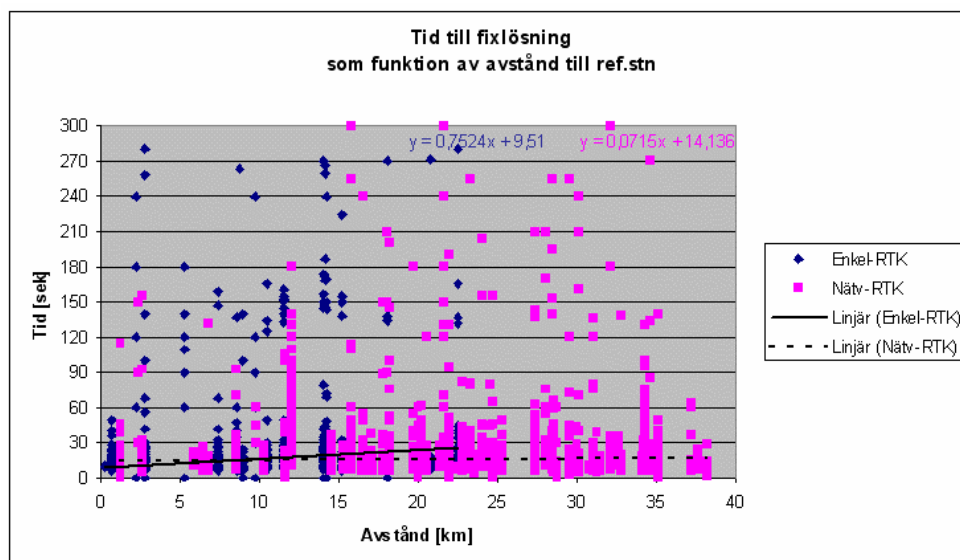
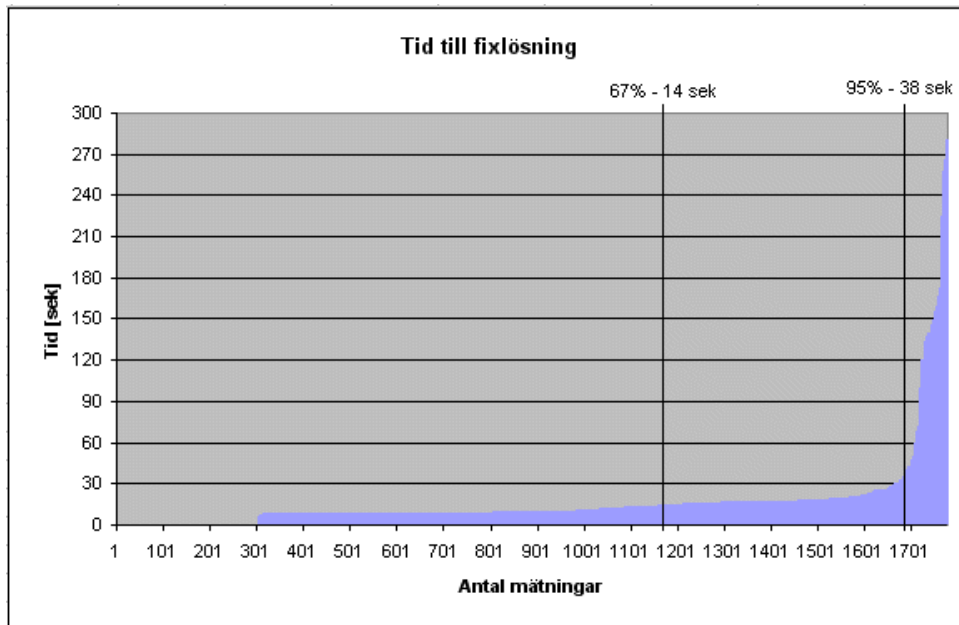


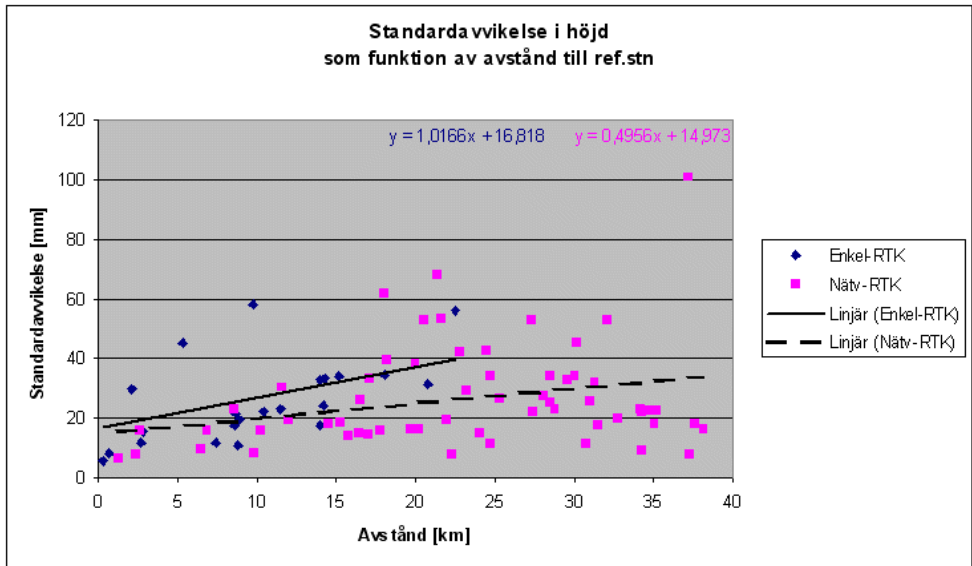
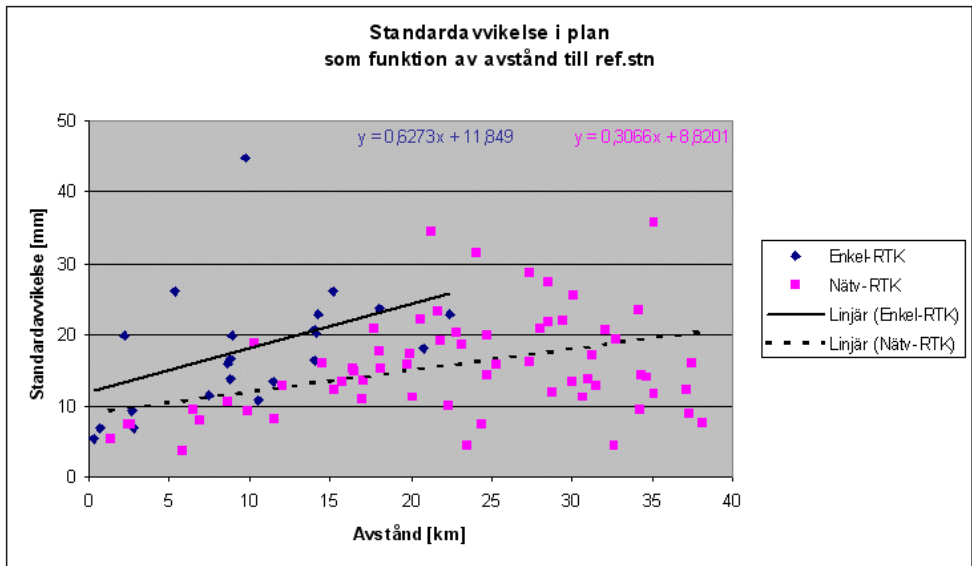


Bilaga 5 – Tidsserier



Bilaga 6 - Jämförelse mot egen referensstation





Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2001:6 Jivall Lotti: SWEREF 99 – new ETRS 89 coordinates in Sweden.
- 2001:7 Jivall Lotti, Lidberg Martin, Lilje Mikael, Reit Bo-Gunnar: Transformationssamband mellan SWEREF 99 och RT 90/RH 70.
- 2001:10 Rönnerberg Andreas: Undersökning av tjänster för differentiell GPS.
- 2002:1 Wiklund Peter: Slutrapport för projekt "Position Stockholm-Mälaren – 1".
- 2002:2 Wahlund Sara: Production measurements with network RTK – tests and analysis.
- 2002:5 Alfredsson Anders: Studier av deformationer vid byte av koordinatsystem.
- 2002:7 Persson Jan & Brynte Stefan: Kompatibilitet för nätverks-RTK-programvaran Trimble GPS-Net med olika typer av rörliga mottagare.
- 2003:4 Engfeldt Andreas, Norin Dan, Nielsen Jan, Holm Warming Louise, Grinde Gro, Johansson Daniel, Lilje Christina, Nilsson Andreas, Wiklund Peter, Kempe Tina, Frisk Anders: The 2002 NKG GNSMART/GPSNet test campaign.
- 2003:8 Vejdeland Sofia & Dahlberg Liselotte: Tolkarhet av GGD-objekt i bilder registrerade av olika sensorer.
- 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.
- 2004:12 Johansson Daniel: SKAN-RTK – 2 – nätverks-RTK i produktionstest i södra Sverige.
- 2004:13 Wiklund Peter: "Position Stockholm-Mälaren – 2" – nätverks-RTK i produktionstest.

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