

# **”Position Stockholm- Mälaren-2”**

**- nätverks-RTK i produktionstest**

Peter Wiklund

Gävle 2004



Copyright ©

2004-02-20 – Utgåva 1

Författare Peter Wiklund

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 61

ISSN 280-5731

# **”Position Stockholm- Mälaren-2”**

- nätverks-RTK i produktionstest

Peter Wiklund





## 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 Skåne-området och Väst-RTK i västra Sverige. Alla tre projekten finns utförligt dokumenterade på [www.swepos.com](http://www.swepos.com) under rubriken Nätverks-RTK. Denna rapport utgör slutrapport för projekt Position Stockholm-Mälaren - 2.

Lantmäteriet 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

Peter Wiklund



# **”Position Stockholm- Mälaren-2”**

<b>Förord</b>		<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>10</b>
2.1	Varför nätverks-RTK?	10
2.2	Syftet med Position Stockholm-Mälaren-2	12
<b>3</b>	<b>Projektorganisation</b>	<b>12</b>
3.1	Intressenter	13
3.2	Projektgrupp	14
3.3	Styrgrupp	14
3.4	Aktivitetslista och tidplan	15
3.5	Finansiering	16
<b>4</b>	<b>Infrastruktur</b>	<b>18</b>
4.1	SWEPOS®	18
4.2	Utbyggnad av SWEPOS®	19
4.3	Nätutformning	21
<b>5</b>	<b>Nätverks-RTK-tekniken</b>	<b>23</b>
5.1	Hur fungerar det?	23
5.2	Nätverks-RTK-programvaran	23
<b>6</b>	<b>Aktiviteter i projektet</b>	<b>24</b>
6.1	Kick-offträff	25
6.2	Grundläggande utbildning för nya GPS-användare	25
6.3	Uppstartsdagar	25
6.4	Låneutrustningar	26
6.5	Transformationssamband	27
6.6	Användarseminarium	28
6.6.1	Användarseminariet den 12 september 2002	28

6.6.2	Användarseminariet den 16 september 2003	30
<b>7</b>	<b>Användning av nätverks-RTK</b>	<b>31</b>
7.1	Funktionsrapporter	31
7.2	Användarstatistik	34
<b>8</b>	<b>Testmätningar</b>	<b>36</b>
8.1	Planering och framtagning av lämpliga testpunkter	37
8.2	Tillvägagångssätt vid testmätning	38
8.3	Resultat	39
8.3.1	Alla mätningarna i projektet	39
8.3.2	Avstånd till närmsta referensstation	41
8.3.3	Antal satelliter	42
8.3.4	GPS-mottagarens kvalitetstal	42
8.3.5	Programversionbyte - GPSNet	43
<b>9</b>	<b>Diskussion och slutsatser</b>	<b>45</b>
9.1	Diskussion	45
9.2	Slutsatser	46
<b>10</b>	<b>Vad händer efter projektet?</b>	<b>47</b>
10.1	SWEPOS Nätverks-RTK -tjänst	47
10.2	Etableringsprojekt	48
10.3	SWEPOS referensgrupp	51
	<b>Bilaga 1 - Alla mätningar</b>	<b>53</b>
	<b>Bilaga 2 - Avstånd till referensstation</b>	<b>55</b>
	<b>Bilaga 3 - Antal satelliter</b>	<b>57</b>
	<b>Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal</b>	<b>59</b>



# 1 Sammanfattning

GPS/RTK är nu en fungerande teknik, för 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.

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, s. k. Nätverks-RTK. För användaren innebär Nätverks-RTK att varje mätlag behöver bara en GPS-mottagare istället för två vid traditionell RTK.

Under perioden 2002-02-02 – 2003-12-31 har Lantmäteriet - division fastighetsbildning, Banverket, Vägverket, 34 kommuner och 3 konsultfirmor i samarbete med SWEPOS<sup>®</sup> (Geodetiska utvecklingsenheten, Lantmäteriverket) drivit ett produktionsprojekt för Nätverks-RTK i Stockholm-Mälardalen-området.

Syftet med projektet var dels att etablera ett förtätat nät av referensstationer för att möjliggöra produktionsmätning med nätverks-RTK i Stockholm-Mälardalen-området. Parallellt med produktionsmätningarna så har ca, 6000 testmätningar utförts av deltagarna i projektet för att göra det möjligt att utvärdera hur förändringar och förbättringar i systemet under projektets gång påverkat funktionen. Resultatet från projektet ska även kunna fungera som ett underlag för att bedöma vilka vinster det finns med att introducera nätverks-RTK inom befintliga organisationer som arbetar med t.ex. detaljmätning

Nätverks-RTK programmet GPS-Net tillsammans med SWEPOS-nätet och GSM som distributionskanal kan idag användas för t.ex. detaljmätning där noggrannhetskraven ligger på 0,03 cm i plan och 0,05 cm i höjd (95% konfidensnivå) och det finns GSM-täckning.

Sammanställningen av de funktionsrapporter som lämnats in av projektdeltagarna visar att funktionaliteten upplevs som "Bra" eller "Mycket bra". Detta är ett kvitto på att nätverks-RTK håller den kvalité som användarna kräver för sin produktion.

Nätverks-RTK håller även en mycket jämn kvalité över hela det område som täcks in, de tester som gjorts har visat på ett mycket svagt avståndsberoende för både noggrannhet och tid till fixlösning

## 2 Bakgrund

Under 1:a halvåret 2001 genomförde Lantmäteriet - division fastighetsbildning, Banverket, Vägverket och 11 kommuner runt Mälaren i samarbete med SWEPOS<sup>®</sup> (Geodetiska utvecklingsenheten, Lantmäteriverket) ett projekt för att testa och utvärdera Nätverks-RTK. Projektets namn var "Position Stockholm-Mälaren-1".

Resultatet från projektet visade att Nätverks-RTK var ett verktyg som idag kan användas för detaljmätning under produktionsförhållanden där noggrannhetskraven i den horisontella positionen ej överstiger 0.04 meter (i 95 % av fallen) och där GSM-täckning finns.

Resultatet visade även att nätverks-RTK i många situationer ger bättre funktion och bättre ekonomi än vid traditionell RTK-mätning med egen mobil eller fast referensstation. En ytterligare slutsats är att en gemensam regional nätverks-RTK-tjänst skulle underlätta införandet av GPS i de organisationer som har detta framför sig.

Eftersom resultatet från projektet blev så pass positivt togs ett beslut om att försöka gå vidare i ett mer produktionsinriktat försök innan en färdig positioneringstjänst etablerades. Det nya projektet fick namnet "Position Stockholm-Mälaren-2"

### 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.

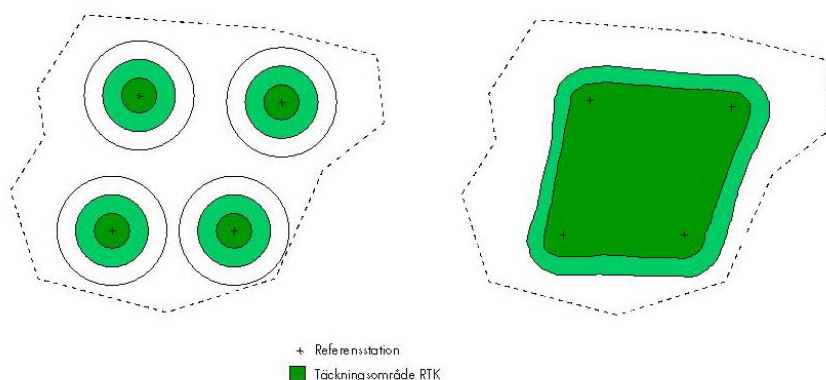
RTK-tekniken kräver alltså tillgång till två avancerade GPS-utrustningar med tillhörande datalänk för överföring av data. Den relativt höga initialkostnaden för att köpa in två sådana GPS-utrustningar (ungefär 300 000 kr) bidrar till att många organisationer (kommuner, mätkonsulter, statliga verk etc.) 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. Instrument-

tillverkarna rekommenderar idag ett maximalt avstånd mellan referensstation och rover på cirka 20 km.

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 Syftet med Position Stockholm-Mälaren-2

Syftet med projektet har varit att etablera ett nät av fasta referensstationer i Stockholm-Mälardalen-området för att möjliggöra produktionsmätning med nätverks-RTK. Under den tid projektet pågick (1 februari 2002 – 31 december 2003) har intressenterna i projektet förutom produktionsmätning utfört testmätningar på ett antal 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 Position Stockholm-Mälaren – 2 har under ungefär samma tidsperiod som Position Stockholm-Mälaren – 2 pågått i Skåne (SKAN-RTK – 2) och i Västra Sverige (Väst-RTK). Slutrapporter från dessa projekt finns liksom utgivna i Lantmäteriets rapportserie Geodesi och geografiska informationssystem (Johansson, 2004) och (Kempe, 2004).

Projektet har också inneburit visst utarbetande av rutiner för transformation av erhållna positioner i referenssystemet SWEREF 99 (det referenssystem som SWEPOS<sup>®</sup> arbetar i) till det lokala referenssystem som redovisningen skall ske i.

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 stomnättsunderhåll, rationalisering i arbetsorganisation jämfört med traditionell teknik m.m.

Mer om projektets mål och syfte finns beskrivet i projektbeskrivningen för Position Stockholm-Mälaren – 2 (Lantmäteriet, 2002).

## 3 Projektorganisation

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

Projektet har styrts av en styrgrupp, som bestått av tolv representanter från kommungruppen, två representanter från de statliga lantmäterimyndigheterna, en representant från statliga verk/organisationer, en representant från övriga intressenter, samt en utsedd person som sammankallande. Representanterna från kommun-

gruppen har fördelats på stora, medelstora och små kommuner samt geografiskt inom projektområdet.

Den operativa verksamheten har letts av projektledaren Peter Wiklund, 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 till användarseminarier för utbyte av erfarenheter vid två tillfällen under projekttiden.

### 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.

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

Följande intressenter har deltagit i projektet.

Tabell 1: Deltagande organisationer.

AB Kartverkstan	Metria
Arboga kommun	Mjölby kommun
Banverket	Mostcom Scandinavia AB
Clinton Mätkonsult AB	Motala Kommun
Comcarta	Nacka kommun
Danderyds kommun	Norrtälje kommun
Enköpings kommun	Norrköpings kommun
Eskilstuna Kommun	Nyköpings kommun
Hallsbergs kommun	Oxelösunds kommun
Hallstahammars kommun	PEAB Sverige AB, Geomät
Haninge kommun	Sigtuna kommun
Huddinge kommun	Stockholms stadsbyggnadskontor
Hällefors kommun	Strängnäs kommun
Kabelteknik	Södertälje kommun
Karlskoga kommun	Tierps kommun

Kristinehamns Energi Elnät AB	Trosa kommun
Köpings kommun	Tyresö kommun
Kristinehamns kommun	Täby kommun
Kumla kommun	Uppsala Kommun
Kungsör kommun	Vattenfall Service Syd AB
Lantmäterimyndigheten i C-län	WSP
Lantmäterimyndigheten i AB-län	Vägverket
Lantmäterimyndigheten i D-län	Värmdö kommun
Lantmäterimyndigheten i T-län	Västerås Stad
Lantmäterimyndigheten i U-län	Örebro kommun
Lindesbergs kommun	Österåkers kommun
Läns-MBK Västmanland	Östhammars kommun

## 3.2 Projektgrupp

Peter Wiklund, Lantmäteriet, har varit projektledare och sammankallande för projektgruppen. Varje deltagande intressent har haft en till två personer anmälda till projektgruppen som totalt bestått av 72 personer.

## 3.3 Styrgrupp

Styrgruppen har under projekttiden sammanträtt 7 gånger. Bo Jonsson, Lantmäteriet, har varit sammankallande för styrgruppen som bestod av följande personer:

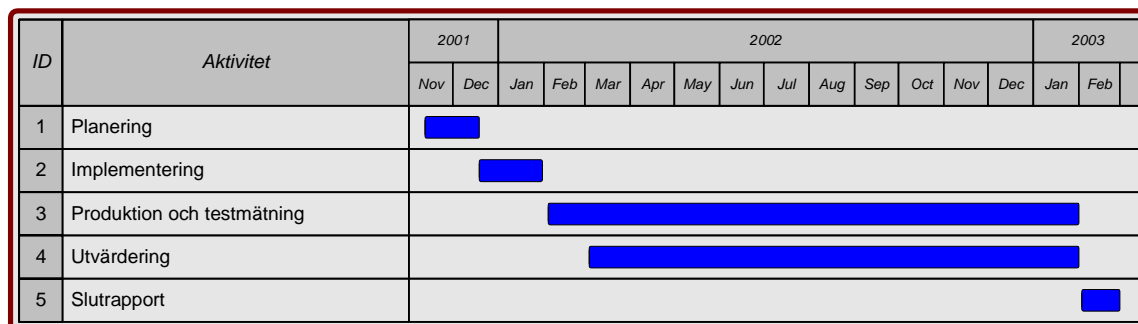
*Tabell 2: Styrgrupp*

Stockholms län	Dan Norin	Stockholm stad
	Patric Jansson	Stockholms stad
Stockholms län	Göran Oredsson	Huddinge kommun
Södermanlands län	Dennis Bano	Eskilstuna kommun
Uppsala län	Per Lindblad	Uppsala kommun
Uppsala län	Stefan Svanström	Tierps kommun
Värmlands län	Miguel Gil	Kristinehamns kommun

Västmanlands län	Per Johansson	Västerås stad
Västmanlands län	Lars Andersson	Köpings kommun
Örebro län	Per Johansson	Karlskoga kommun
Örebro län	Ulf Gustafsson	Örebro kommun
Östergötlands län	Jonas Sjölin	Norrköpings kommun
Östergötlands län	Per Strömberg	Mjölby kommun
Statliga verk	Sven G Johansson	Banverket
Konsulter/ övriga intressenter	Per Lodin	WSP
Statliga lantmäterimyndigheten	Mats Larsson Linda Hillding	Lantmäteriet, Örebro
Statliga lantmäterimyndigheten	Roger Ekman	Lantmäteriet, Eskilstuna
Lantmäteriet	Bo Jonsson	Lantmäteriet, Gävle
Lantmäteriet	Peter Wiklund	Lantmäteriet, Gävle

### 3.4 Aktivitetslista och tidplan

De olika stadier, eller faser, som projektet har genomgått redovisas nedan. Projektets produktions- och testmätningssfas var ursprungligen tänkt att pågå till den 31 januari 2003 men förlängdes till den 31 december 2003, för att få ett gemensamt slutdatum med SKAN-RTK -2 och Väst-RTK.



Figur 2: Översikt över projektets ursprungliga tidplan.

- ◆ **Planeringsfas** 12 november – 15 december 2001.  
Genomgång av grundförutsättningarna gjordes, liksom planering av aktiviteter under projektet och tidsplanering. Val av platser för de nya referensstationerna gjordes under denna fas, som inleddes den 12 november 2001 med en kick-offträff för intressenterna i projektet.
- ◆ **Stationsetableringsfas** 15 december 2001 – 31 januari 2002.  
Under denna fas gjordes etablering av antennfundament och

installation av stationsutrustning på de 14 nyttillkomna referensstationerna, s.k. projektstationer, se figur 6, sidan 16. För de intressenter i projektet som var nya GPS-användare eller precis hade införskaffat GPS-utrustning erbjöds en kostnadsfri 2-dagars grundutbildning i GPS (kostnadsfritt för max 2 personer per deltagande organisation). Genomgång av systemfunktioner och verifiering av intressenternas fältutrustning gjordes vid s.k. uppstartsdagar. Projektledaren planerade testmätningarna och utarbetade rutiner för dessa mätningar.

- ◆ **Produktions- och testmättningsfas** 1 februari 2002 – 31 jan 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 intressenter testmätningar enligt ett fastställt schema på kända s.k. SWEREF-punkter / RIX 95-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 användarseminarierna den 12 september 2002 och 16 september 2003.

### 3.5 Finansiering

En förbestämd prismodell användes för deltagandet i projektet. För att få en så rättvis modell som möjligt så delades kommunerna in i tre olika prisnivåer beroende av innevånarantal och konsulter i två kategorier beroende av årsomsättning. Prislistan för deltagande såg ut enligt nedan. I kategorin övriga intressenter sorterade Lantmäterimyndigheterna, Banverket och Vägverkets regioner.

- Kommuner med mindre än 10 000 invånare, 10 000 kr/år
- Kommuner med 10 000– 50 000 invånare, 25 000 kr/år
- Kommuner med mer än 50 000 invånare, 50 000 kr/år
- Övriga intressenter, 50 000 kr/år
- Konsulter med omsättning <10 miljoner kr, 25 000 kr/år
- Konsulter med omsättning >10 miljoner kr, 50 000kr/år



Kostnaderna för Lantmäteriet (Geodetiska utvecklingsenheten) har täckts inom ramen för SWEPOS-projektet. Intressenterna och Onsala rymdobservatorium har själva stått för sin egna arbetstid och reskostnader

Lantmäteriet har ställt data från sju SWEPOS-stationer gratis till förfogande samt server på SWEPOS driftsledningscentral och en grundlicens för den använda nätverks-RTK-programvaran GPSNet. Övervakning av de nytillkomna referensstationerna finansieras via den ordinarie SWEPOS-driften. Driftskostnad inkl. kapitalkostnad har uppskattas till 150 000 kr per år och station. Förutom utrustning på stationen inkluderas även kostnader för datakommunikation; se specifikation nedan.

Tabell 3: Uppskattad drift- och kapitalkostnad för en projektstation under ett år.

GPS-mottagare	Ingår i totalsumman
Antenn	Ingår i totalsumman
Accessserver	14 000
PC	5 000
Skärm	1 500
UPS	4 624
Antennfäste	5 000
Trefot utan lod	3 916
Instrumentrack	8 500
Kablage	5 000
Radom	4 000
Anslutning fast ledning	30 000
Anslutning GPSNet	50 000
<b>Summa</b>	<b>260 540</b>
Årskostnad för en station, 5 års avskrivn. (25%)	65 135
Årskostnad för fast ledning	80 000
Underhållslicens GPSNet	5 000
<b>Totalt per station och år</b>	<b>150 000</b>
30 ingående GSM-linjer till SWEPOS (ett tel.nr. för alla + del i router)	38 400 kr/år

Den totala drift- och kapitalkostnaden för 14 projektstationer under ett år blir då totalt 2 100 000 kr, som skulle täckas av projektet.

För nya projektdeltagare som tillkommer under projekttiden tar SWEPOS ut en avgift som motsvarar inträdesavgiften för de som gick med i projektet vid starten. Intressenterna står själva för sina mobiltelefonkostnader

## 4 Infrastruktur

### 4.1 SWEPOS®

SWEPOS® består idag av 21 fullständiga referensstationer för GPS som har etablerats för att täcka in Sveriges yta så bra som möjligt. Dessa 21 fundamentalpunkter består av på berg byggda betongpelare som GPS-antennen är monterad på samt tillhörande instrumentbodar, se figur 3. För kontroll av pelarnas stabilitet används ett på marken runt antennpelarna etablerat precisionsnät. För att hålla en så hög datatillgänglighet som möjligt så är all utrustning dubblerad i instrumentbodarna. Reservkraft ser till att klara uppemot 48 timmars strömbortfall och även innemiljön (temperatur etc.) i bodarna kontrolleras från SWEPOS driftsledningscentral. Alla stationer är anslutna till SWEPOS-driften via fasta dataförbindelser men har även backupförbindelse utifall det uppstår ett avbrott på den ordinarie dataförbindelsen till stationen. Av säkerhetsskäl har instrumentbodarna även försetts med inbrottslarm.

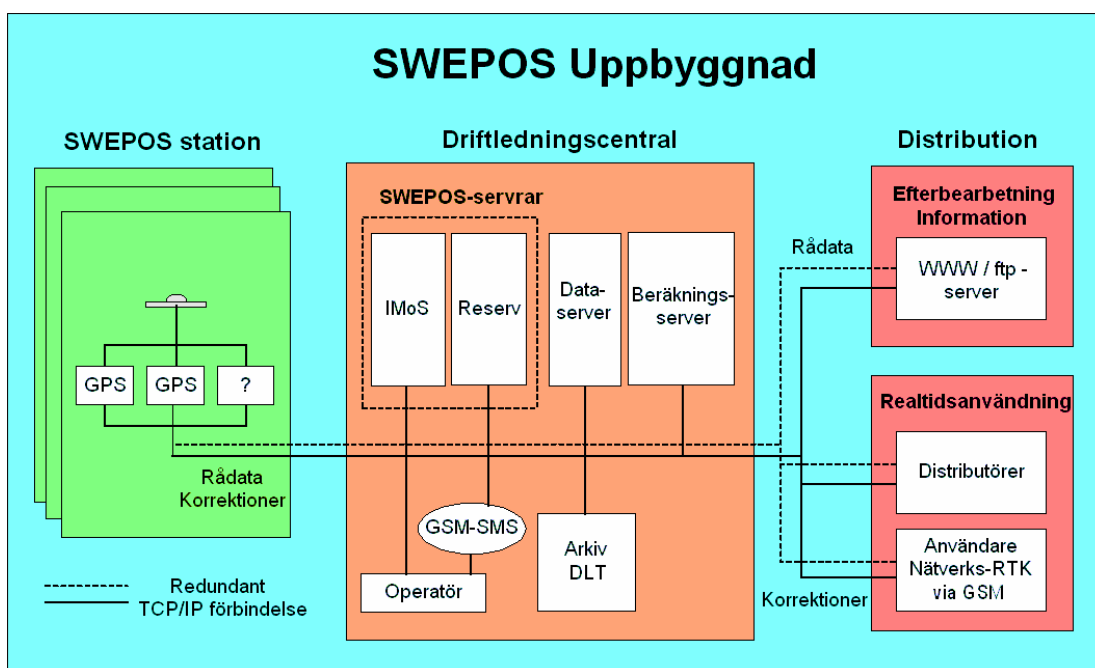


*Figur 3: GPS-pelare med tillhörande instrumentbod*

GPS-data från stationerna levereras varje sekund in till en server på SWEPOS-driften där data kvalitetskontrolleras innan det distribueras

vidare till olika realtidsapplikationer, se figur 4. Data för efterberäkning loggas samtidigt i en-timmes-filer som sedan läggs ut på SWEPOS FTP-server, där de är tillgängliga för användarna. Filerna ligger tillgängliga på FTP-servern under en begränsad tid och arkiveras sedan på databand, data finns därför tillgängligt för alla SWEPOS-stationer sedan uppstarten av respektive stationen.

Under natten när driftcentralen är obemannad får jourhavande operatör larm via GSM-SMS om det uppstår problem på en station och kan då via fjärranslutning med dator ansluta mot SWEPOS-driften och lösa det eventuella problemet.



Figur 4: SWEPOS dataflöde

## 4.2 Utbyggnad av SWEPOS®

En förtätning av det befintliga SWEPOS-nätet gjordes redan i det första projektet, "Position Stockholm-Mälaren-1", med 6 projektstationer för att kunna utföra de första testerna med nätverks-RTK i Stockholm-Mälardalen regionen. Resultatet från nätverks-RTK projektet "Position Stockholm-Mälaren - 1" visade att det är lämpligt att använda ett maximalt avstånd om 70 km. mellan GPS-referensstationerna för att få en bra funktion i nätverks-RTK-programmet. Eftersom några av avstånden mellan projektstationerna i det första projektet var längre än 70 km beslutades det att flytta tre av de västligaste stationerna i det ursprungliga nätet.

Det som skiljer projektstationerna från de fullständiga SWEPOS-stationerna är att GPS-antennerna är monterade med antennstativ på byggnader. De har inte samma dubblering av utrustning, ingen backupförbindelse för dataöverföringen och en enklare reservkraft.



*Figur 5: Ett exempel på hur antennstativ och utrustning kan se ut på en projektstation*

För att kontrollera att det inte förekommer någon rörelse i antennerna på de förenklade stationerna så görs varje dag en kontroll av stabiliteten. De förenklade stationerna får varje dag sina positioner beräknade utifrån runtomkringliggande SWEPOS-stationer, positionerna lagras för varje station och dag och eventuella rörelser kan därmed studeras.

När tillräckligt stort antal intressenter hade anmält sig till projektet kunde planeringen av det nya referensstationsnätet påbörjas på allvar.

För att göra rekognoseringen av de nya referensstationerna så smidig och snabb som möjligt så kontaktades de kommuner där nya stationer planerades. Någon person från kommunen gjorde en första rekognosering och tog fram tänkbara alternativ till lämplig placering av referensstationerna. Kontaktpersonerna fick även en instruktion med riktlinjer om vad man bör tänka på vid rekognosering av nya referensstationer. Efter ca 2 veckor hade de flesta kommit in med förslag på lämpliga placeringar. Projektledaren åkte då runt och tittade på de olika alternativen tillsammans med kontaktpersonerna och de flesta fall gick det bra att hitta en lämplig placering av den nya stationen medan det i ett par fall ledde till ett

antal besök innan en lämplig placering gick att uppbringa. Kommunernas första rekognoscering var till stor hjälp i arbetet med att hitta lämpliga lägen för projektstationerna.

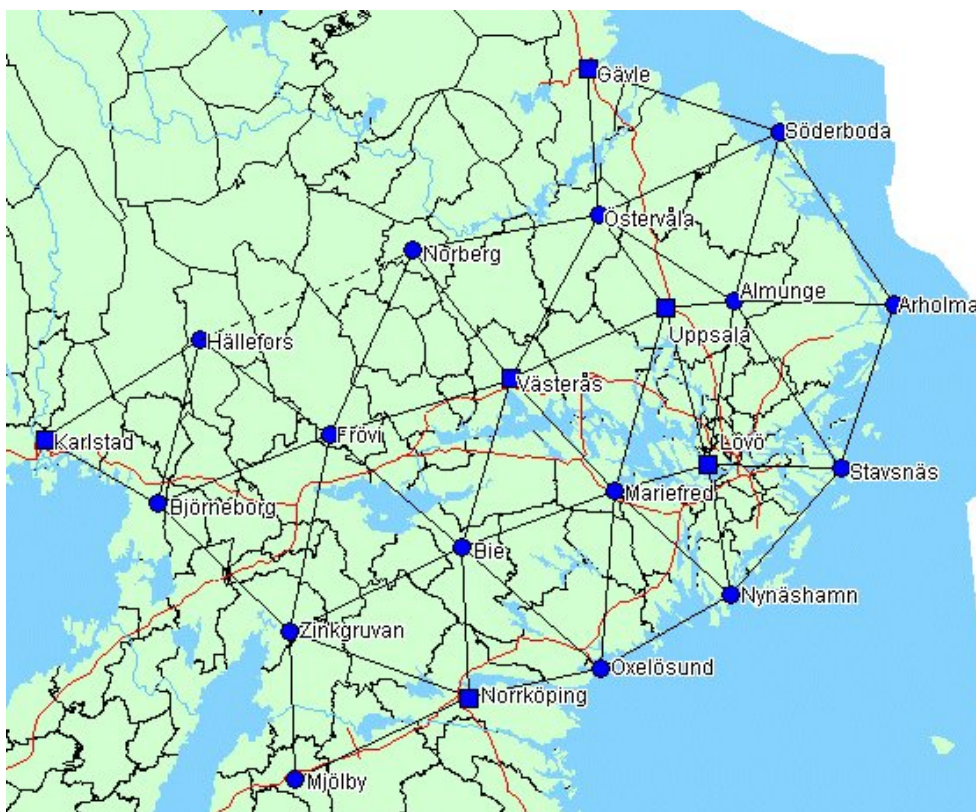
En erfarenhet är att innan rekognosceringen påbörjas kontrollera om det går att få dataförbindelse levererad till den aktuella orten, vilket inte alltid är självklart. De dataförbindelser som erfarenhetsmässigt har fungerat bäst är punkt till punkt förbindelser (dedikerade förbindelser där användaren är ensam om ledningen och har garanterad bandbredd), men det kräver att telestationen på den aktuella orten är utbyggd för att klara av att leverera den typen av förbindelse. En telestation kan på beställning byggas ut för att klara av att leverera P-P-förbindelse. Ett exempel på detta var Zinkgruvan där en telestation byggdes ut för att det skulle gå att få fram en dataförbindelse.

### **4.3 Nätutformning**

Eftersom nätet från Position Stockholm-Mälaren – 1 behövde justeras för att få ner baslinjelängderna mellan stationerna till ca 70 km så flyttades tre stationer till nya platser. SWEPOS-stationen i Örebro flyttades till Frövi, projektstationen i Skinnskatteberg till Norberg och projektstationen i Hälleforsnäs till Bie.

Ett första förslag hade tagits fram som bestod av 18 stationer, men eftersom det fanns intressenter som låg i ytterområdena i söder och väst så utökades nätet med en station i Mjölby, en i Hällefors och den befintliga SWEPOS-stationen i Karlstad. Antalet stationer i nätet blev därför till slut 21, nätet bestod då av SWEPOS-stationerna Gävle, Uppsala, Västerås, Lovö, Frövi, Norrköping och Karlstad samt projektstationerna Östervåla, Söderboda, Almunge, Arholma, Stavnäs, Nynäshamn, Mariefred, Oxelösund, Bie, Zinkgruvan, Mjölby, Björneborg, Hällefors och Norberg





Figur 6: Referensstationernas placering i projektet

En referensstation som krävde lite mer arbete var stationen på Arholma. Stationen var från början projekterad till att ligga i Marum, en mindre ort på Björkö. Efter ett par besök lyckades projektledaren till slut hitta en placering som skulle kunna fungera, tyvärr meddelade då Telia att det inte fanns någon möjlighet att få dit dataförbindelse utan en stor extra kostnad. Efter en förfrågan hos Telia var närmsta leveranspunkt fanns så visade det sig att det fanns förbindelse fram till en liten ö utanför Björkö, nämligen Arholma. En utlokaliserad sambandscentral för polisen var anledningen till den bättre datakommunikationen.

Eftersom Arholma geografiskt i nätet låg ännu bättre till än Marum så beslutades det för en rekognoscering på ön. Projektledaren åkte därför ut till ön och fick av en tillfällighet på båtresa kontakt med ett par damer som jobbade på polisens sambandscentral. Väl framme vid sambandscentralen ringde de sedan till en person med god lokalkännedom om ön. Av honom och hans arbetskamrat blev sedan projektledaren skjutsad med fyrhjuling och vagn runt hela ön på en ovanligt grundlig och detaljerad guidning.

Denna guidning bidrog till slut till en bra placering av referensstationen på ön. Erfarenheten av detta är att det är lämpligt att redan på planeringsstadiet hålla en dialog med linjeleverantören för att se om det går bra att leverera önskad ledning fram till de planerade stationerna. I vissa fall kan det innebära att

stationskonfigurationen måste ändras för det ska bli ekonomiskt möjligt att etablera nätet.

P.g.a. av detta försenades även igångsättningen av stationen som kom igång ca en månad senare än de övriga stationerna i nätet.

## **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 atmosfärska korrekationer för den position som användaren har, interpolerat ur programvarans atmosfärsmodell. 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 februari 2002 var det version 1.56 som användes. Därefter har löpande uppgraderingar gjorts.

Den 2 augusti 2002 gjordes en uppgradering till version 1.61 som bl.a. innehöll en förbättrad beräkning av trianglarna i nätet. Den 3 februari 2003 gjordes en uppgradering till version 2.0. Den stora nyheten var att programmet för varje uppkoppling använde de sex närmsta referensstationerna från att tidigare endast använt de tre närmsta referensstationerna för atmosfärsmodelleringen. Det innebär även att användarna påverkas mindre om en av referensstationerna av någon anledning faller bort. En annan nyhet var bl.a. att programmet gav bättre övervaknings- och supportstöd till operatörerna.

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

På kvällen den 13 november 2003 installerades GPSNet version 2.20. Denna version använder en förbättrad atmosfärsmodellering 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.

Vid planerade avbrott i utsändningen av korrektioner (t.ex. service eller underhåll) har SWEPOS driftledningscentral meddelat projektets intressenter om detta via e-post. Då oplanerade avbrott i systemet uppstått har användarna meddelats via SMS.

Upplysningarna via SMS om felets orsak och uppskattad tidpunkt för återstart av utsändningen har uppskattats mycket av användarna.

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-korrektioner över DARC-kanalen på FM-radiobandet pågår för närvarande. Vid testerna används en de facto-standard för dataformat, vilken beräknas komma att ingå i kommande version av RTCM-protokollet under 2005.

## **6 Aktiviteter i projektet**

Den 23 augusti 2001 hölls ett informationsmöte i Tekniska nämndhuset i Stockholm som alla tänkbara intressenter i det nya området var inbjudna till, totalt deltog 92 personer på informationsmötet. Under dagen informerades deltagarna på träffen om hur nätverks-RTK-tekniken fungerar och vilka fördelar som finns med tekniken. Ett par deltagare från förstudien (Position Stockholm-Mälaren - 1) berättade även om sina erfarenheter av nätverks-RTK. Ett projektförslag presenterades med en ungefärlig tidplan för de



olika aktiviteterna i projektet och vad de innebar. Deltagarna fick även information om kostnaden för deltagande i projektet och sedan möjlighet till frågor. Dagen avslutades med en snabb intresseförfrågan hos varje deltagare på träffen för att se hur stort initialt intresse som fanns för projektet. Intresset visade sig vara tillräckligt stort för att gå vidare och bilda en arbetsgrupp. Den största uppgiften för arbetsgruppen var att fortsätta bearbeta de tänkbara intressenter som ännu inte hade tagit ställning i fråga om ett deltagande i projektet.

Tre månader senare hade ett tillräckligt stort antal intressenter anmält sig till projektet och därför togs ett beslut om att köra igång projektet.

## **6.1 Kick-offträff**

Den 12 november 2001 ordnades en kick-offträff för de 48 intressenterna som bestämt sig för att delta i projektet. Totalt så kom det 65 personer till kick-offträffen som hölls i Tekniska nämndhuset i Stockholm. Under träffen fick intressenterna information om projektets upplägg och tidplan, vilka aktiviteter som planerades i projektet, innehållet i GPS-grundutbildningen, planerade uppstartsdagar, låneutrustningar, testmätningar, avtal, GSM-abonnemang m.m. Intressenterna fick även under dagen möjlighet att ta upp frågor och funderingar angående projektet.

## **6.2 Grundläggande utbildning för nya GPS-användare**

En grundläggande GPS-utbildning ordnades för de projektdeltagare som hade liten eller ingen erfarenhet av GPS sedan tidigare. Anledningen var att alla skulle få en grundläggande kunskap om GPS inför projektstarten. Lantmäteriet ordnade därför en kostnadsfri två-dagars grundutbildning som varje intressent fick skicka två deltagare till, de som ville fick skicka fler deltagare men måste då betala 3000 kr - för varje extra deltagare. Eftersom totalt 77 personer anmält sig till kursen så delades den upp på fem olika tillfällen för att få lämpligt stora grupper. Kurserna innehöll både teoretiska och praktiska pass och hölls i Gävle i januari 2002. De teoretiska passen innehöll bl.a. information om GPS, Glonass, Galileo, genomgång av olika mätmetoder för GPS, felkällor, planering inför mätning och presentation av SWEPOS-tjänster. Fältövningen innehöll praktisk mätning med olika mätmetoder med GPS.

## **6.3 Uppstartsdagar**

Under februari 2002 anordnades uppstartsdagar för att på ett så smidigt sätt som möjligt hjälpa igång alla projektdeltagare med deras

utrustningar samt informera om de kommande aktiviteterna i projektet. P.g.a. det stora antalet intressenter i projektet ordnades fabrikatindelade uppstarts dagar på följande fem datum.

Tabell 4: Datum och platser för uppstarts dagar

Plats	Datum	Fabrikat
Uppsala	1 februari 2002	Trimble
Huddinge	4 februari 2002	Leica
Tyresö	5 februari 2002	Ashtech
Södertälje	6 februari 2002	Topcon
Västerås	8 februari 2002	Leica

Under dagarna informerade projektledaren deltagarna om tidigare resultat och erfarenheter från förstudien "Position Stockholm-Mälaren -1 ", hur nätverks-RTK fungerar tekniskt och om projektets upplägg. Deltagarna fick sedan information om hur testmätningarna skulle utföras och redovisas och de deltagare som anmält intresse för låneutrustning fick information om hur det praktiskt ska fungera samt schema för låneutrustningen.

Utrustningarna behöver konfigureras så att de kan ringa upp nätverks-RTK-programvaran inne på SWEPOS-driften i Gävle och skicka in sin position till programmet. GPS-mottagarna konfigureras därför så att de skickar ett NMEA, GGA-meddelande, som innehåller den aktuella positionen för mottagaren. Ett GSM-modem måste även anslutas för kommunikationen mot nätverks-RTK-programvaran i Gävle. För att hålla nere kostnaden för uppkopplingstiden med GSM så har projektet försökt förhandla fram bra GSM-abonnemang med olika operatörer. Förhandlingar förs fortlöpande för att få ner uppkopplingskostnaden för GSM. Utrustningarna måste även förses med den/de transformation(er) som användaren behöver för att få sina mätningar redovisade i det egna lokala koordinatsystemet eller annat önskat referenssystem i stället för SWEREF 99 som nätverks-RTK-programmet och SWEPOS arbetar i. Efter konfiguration och inlägg av transformationssamband kunde sedan de första försöken göras med att koppla upp utrustningarna mot nätverks-RTK-programvaran i Gävle.

## 6.4 Låneutrustningar

De intressenter som vid projektets start inte hade tillgång till egen GPS-utrustning erbjöds möjlighet att låna utrustning under delar av projektiden, detta kunde ske tack vare välvilligt inställda

leverantörer. Utrustningarna fördelades geografisk för att minimera transporttiden vid byten mellan de intressenter som skulle ha låneutrustning. Låneutrustningarna cirkulerade sedan mellan intressenterna under projektiden enligt ett fastlagt schema. 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 Transformationssamband

Transformationer mellan SWEREF 99 och kommunernas lokala koordinatsystem har tagits fram av geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriet. Där det har funnits RIX 95-punkter i kommunerna har Lantmäteriet begärt in koordinater i kommunernas lokala referenssystem för RIX95-punkterna och därefter har sambandet mellan det lokala koordinatsystemet och SWEREF 99 räknats fram.

I de områden där RIX 95 inte finns tillgängligt än så har man varit tvungen att lösa det på annat sätt. Alternativen har då varit att antingen göra ett antal statiska GPS-mätningar på några av kommunens stompunkter, räkna fram SWEREF 99-koordinater på stompunkterna och därefter ta fram ett samband mellan SWEREF 99 och det lokala koordinatsystemet. SWEREF 99-koordinater har då räknats fram med hjälp av SWEPOS Beräkningstjänst.

Ett annat alternativ har varit att med nätverks-RTK-utrustningen så noggrant som möjligt mäta in ett antal stompunkter i kommunen för att därefter beräkna ett samband. Vid alternativet med att använda nätverks-RTK-utrustningen för inmätningen så har man använt sig av samma mätprocedur som vid testmätningarna, dvs. göra tio upprepade mätningar med oinitialisering av mottagaren mellan varje mätning. Ytterligare en mätserie görs sedan vid en annan tid under dygnet och med en annan satellitkonfiguration.

## 6.6 Användarseminarium

### 6.6.1 Användarseminariet den 12 september 2002

Syftet med användarseminariet är att ge användarna möjlighet att ge synpunkter på projektet och nätverks-RTK samt att utbyta erfarenheter.

Den 12 september 2002 ordnades i Västerås det första användarseminariet i projektet. Seminariet var ett heldagsseminarium där projektledaren informerade om nuläget för projektet och resultaten från testmätningarna. Därefter följde redovisningar från några användare i projektet. Göran Oredsson på Huddinge kommun, Lennart Gimring på AB Jacobson & Widmark, Ingvar Blomberg på Nyköpings kommun, Leif Sundström på Lantmäterimyndigheten i Uppsala län samt Thomas Hjertqvist på Norrköpings kommun redovisade hur de har upplevt nätverks-RTK -tekniken, hur de har tagit till sig den nya tekniken och på vilket sätt de använder nätverks-RTK idag.

På eftermiddagen delades deltagarna in i instrumentbaserade grupper där de fick möjlighet att ta upp instrumentrelaterade frågor med instrumentleverantörerna. Därefter fick grupperna i uppgift att diskutera igenom några framtagna frågor om nätverks-RTK. Resultatet redovisades sedan på eftermiddagen gemensamt för alla deltagarna på seminariet. Nedan följer en sammanställning över det redovisade resultatet från grupparbetet.

#### *Nätverks-RTK konceptet - nämner fördel*

Möjligt att mäta var som helst med ett instrument.

Tidsvinster (behöver ej leta punkt, ställa upp ref m.m.).

Ingen egen referens behövs.

Nätverks-RTK kan kombineras med traditionell RTK där GSM-täckningen är svag.

Kostnadseffektivt sätt att mäta.

En referensutr. + en roverutr. + Nv-RTK = två roverutrustningar.

Ingen risk för stöld av referensstation.

Lätt att utbyta data mellan olika aktörer (samma utgångspunkter).

Enkelt, man slipper leta polygonpunkter.

Slipper sätta upp en egen referens.

Homogent koordinatsystem.

Sparar kostnaden för en egen basstation.

Behövs bara en mottagare = bra ekonomi.

Bidrar på sikt till ett gemensamt koordinatsystem.

*Nätverks-RTK konceptet - nämn en nackdel*

Osäkerhet beträffande systemets tillgänglighet.  
Svårt att själv bedöma mätningens kvalitet.  
Man är beroende av GSM-täckning.  
Tveksamt resultat i höjd.  
Osäkerhet beträffande framtida kostnader för användning av systemet.  
GSM kan trassla.  
Kräver öppen terräng.  
Uppkopplingskostnader.  
Eget stornät inhomogent.  
GSM täckningen, behövs ett komplement.

*Prototypnätet - vad fungerar bra*

Bra SMS-tjänst för driftstopp.  
Projekttagarna har vidgat sitt kontaktnät i branschen.  
Fungerar bra allmänt.  
Bra tillgänglighet.

*Prototypnätet - vad fungerar mindre bra*

Flera programvarustopp senaste tiden.  
Redovisning av "omöjliga mätningar" i statistiken.  
"Oförklarliga" problem att få fix i vissa områden.  
Lite för lång baslinje Hällefors-Norberg.

*Återstoden av projektet - vad är angelägnast att förbättra*

Utökad info på webben (statistik, jonosfär, driftstopp m.m.).  
Bättre (billigare) GSM-avtal.  
Fler stationer (utökad geografisk täckning).  
Smidigare lösning beträffande geoidmodell.  
Förbättring av noggrannheten.  
GSM täckningen med avseende på olika operatörer.  
Hur påverkar prioritering av taltrafiken datatrafiken?  
Noggrannheten i höjd.  
Stabilare programvara.

*Framtiden - vad är angelägnast på lång sikt*

Annan kommunikation än GSM.  
Förbättring av noggrannheten.  
Fler satelliter.  
Att tjänsten blir kvar och utvecklas vidare.

Utbyggnad av nätet.

## 6.6.2 Användarseminariet den 16 september 2003

Den 16 september 2003 anordnades det andra och sista användarseminariet i projektet, även det i Västerås. Programmet bestod av information om projektet, redovisningar, testmätningar och användarrapporter. Programmet innehöll även information från de övriga pågående nätverks-RTK-projekten i Skåne (SKAN-RTK-2) och Västsverige (Väst-RTK). Därefter följde redovisning från några användare i projektet, Ulf Landström på Lindesbergs kommun och Kjell Larsson på Lantmäteriet i Nyköping samt en redovisning av ett pågående examensarbete på Lantmäteriet av Anders ?? och Albert Jonsson.

Efter lunchen redovisade Jan Johansson från SP lite funderingar kring nätverks-RTK och visioner om framtiden. Därefter följde gruppvisa diskussioner med instrumentleverantörer och sedan gruppvisa diskussioner runt nätverks-RTK. Dagen avslutades med redovisning från grupparbetet och som avslutning fick deltagarna information om nytt höjdsystem och SWEREF99 samt hur de framtida planerna ser ut för nätverks-RTK. Nedan följer en sammanställning över det redovisade resultatet från grupparbetet.

*Vad fungerar bra?*

Nätverks-RTK är smidigt när allt fungerar.

Där det inte finns polygonpunkter kan man lätt lägga ut punkter för traditionell mätning om så behövs.

Nätverks-RTK är snabbt och det är en effektiv mätmetod.

SMS-tjänsten är bra.

Nya programversionen verkar ge bättre prestanda utanför ordinarie täckningsområde.

Nya programversionen verkar ge snabbare fix och bättre höjdresultat.

Bättre GSM-mottagning med antennen som rekommenderades vid förra användarseminariet.

Fixtiderna verkar ha blivit bättre.

Enkelt att allt blir mätt direkt i rikets system.

En tjänst som har kommit för att stanna.

*Vad kan förbättras?*

Det är frustrerande när det inte fungerar och det har varit många avbrott under våren. Vilka är orsakerna?

Fler distributionssätt önskas, så man inte behöver vara beroende av GSM-täckning.

Mer utveckling av nätverks-RTK-programvaran, så man kan kapa ytterligare någon/några mm på noggrannheten.  
Man upplever att man blir teknikberoende.  
Ej tillräcklig driftssäkerhet.  
Fixtiderna kan bli långa vid dåliga förhållanden.  
SMS-tjänsten kan förfinas genom att dela upp den i mindre geografiska områden. Slipper då få information om driftstörningar i delar av nätet som man inte använder.  
Mindre avbrott i tjänsten.

*Vad förväntar du dig av framtiden?*

Det är angeläget att man kan använda en och samma GNSS-mottagare för alla aktuella satellitsystem (GPS, Galileo, GLONASS). Förhoppningen är att fixlösningen ska komma lättare – om det är många satelliter upplever en del att det är svårt att få fix. De som verkar i projektets "gränstrakter" vill få igång de nya projekten så de får ökad/fullständig täckning i sitt verksamhetsområde.  
Det är viktigt att användarna får inflytande genom t.ex. en styrgrupp eller ett användarråd. Kontaktnätet som skapats genom projekten är viktigt att behålla i t.ex. användarmöten.  
Dubblering av utrustning för att öka driftssäkerhet.  
Utveckling av envägskommunikation.  
Att tjänsten finns kvar, till rimlig kostnad.  
Ännu bättre höjdnoggrannhet.  
Att nätet byggs ut.

## **7      Användning av nätverks-RTK**

### **7.1      Funktionsrapporter**

Testmätningarna är i huvudsak till för att undersöka hur bra Nätverks-RTK fungerar med avseende på noggrannhet och funktionalitet. Vilken noggrannhet systemet levererar erhålls direkt ur testmätningarna och funktionaliteten från fixtidslösningarna. Det stora antalet testmätningarna ger en bra grund för att utvärdera Nätverks-RTK tekniken och även ett underlag för att utvärdera hur förändringar i t.ex. programvara påverkar noggrannhet och funktionalitet över en längre period. Nu är det inte bara förändringar och förbättringar i systemet som kan påverka resultatet utan det finns även andra effekter t.ex. varierande jonosfärsaktivitet som kan påverka resultatet. Hursomhelst så ger testmätningarna ett mycket brett underlag för att bedöma Nätverks-RTK tekniken.

För att få in mer information om hur användarna upplevde funktionaliteten under produktionsmätning med Nätverks-RTK tog styrgruppen beslut om att ta fram en funktionsrapport. Syftet med rapporten var att varje projektdeltagare för varje vecka rapporterar in hur det har fungerat att mäta med Nätverks-RTK.

Funktionsrapporten bestod av ett enkelt A4 blad där användaren fick fylla i hur han/hon upplevt funktionaliteten. Om det fungerat dåligt, uppmanades användaren att fylla i tänkbara orsaker till problemet, om det varit dåligt med satelliter, svåra förhållanden med skog eller annat som skymt sikten mot satelliterna, om det varit problem med GSM-täckningen i området etc. Om det inte funnits någon uppenbar orsak så kan problemet kanske härledas till dålig funktionalitet i nätverks-RTK-systemet.

Förutom en bedömning av funktionaliteten fick användarna även fylla i hur många punkter som mätts in/satts ut med Nätverks-RTK kontra traditionell/annan teknik under veckan. Detta för att kunna göra en uppskattning av hur användarna använder Nätverks-RTK tekniken i förhållande till traditionell teknik.

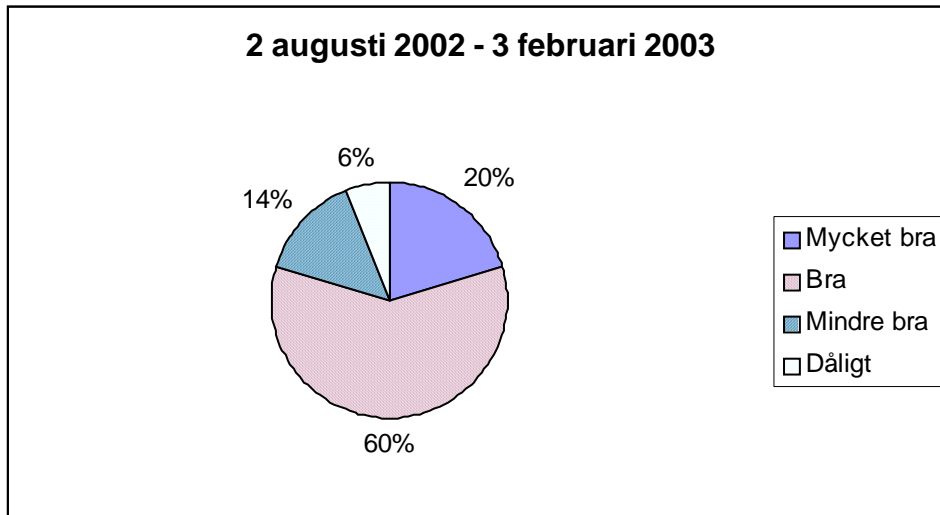
Funktionaliteten delades in i följande bedömningar. 1= Mycket bra, 2= Bra, 3= Mindre bra och 4= Dåligt.

Det har totalt kommit in 248 användarrapporter varav 114 rapporter under perioden 16 september 2002 till 3 februari 2003 respektive 134 rapporter mellan den 3 februari och 19 december 2003. En indelning av funktionsrapporterna i två perioder har gjorts för att kunna se om programversionbytet den 3 februari 2003 medförde någon förändring i funktionaliteten.

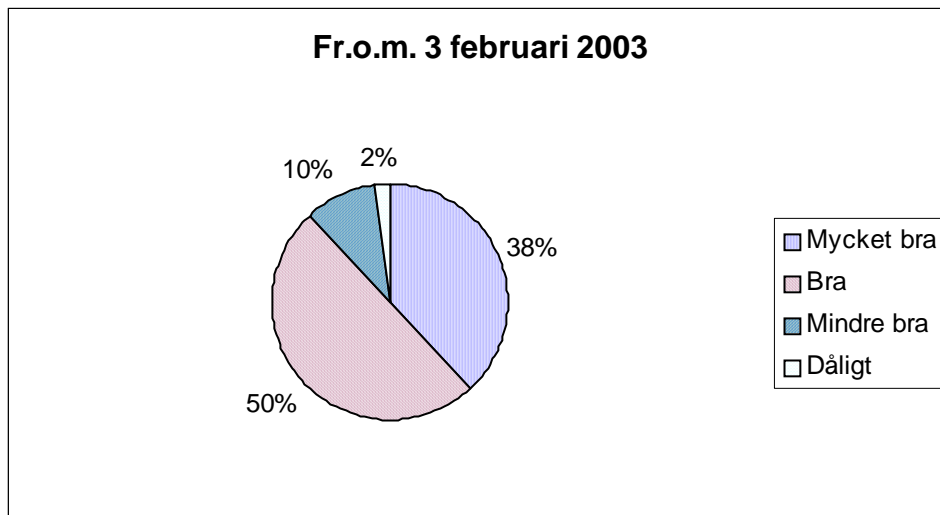
Tittar vi på den första perioden, se figur 6, så kan vi konstatera att 80% bedömde funktionaliteten som Bra eller Mycket bra och 6 % som bedömde funktionaliteten som Dåligt. För den andra perioden, se figur 7, är det istället 88% som bedömt funktionaliteten som Bra eller Mycket bra och bara 2 % som bedömt funktionaliteten som Dåligt.

Om vi försöker betygsätta nätverks-RTK utifrån de inlämnade funktionsrapporterna på en skala där 1 = Mycket bra och 4 = Dåligt så får vi ett medel på 2,05 för den första perioden och ett medel på 1,73 för den andra perioden. Det verkar som om användarna har märkt en viss förbättring efter programversionbytet den 3 februari 2003.





Figur 7: Funktionaliteten 2 augusti 2002 – 3 februari 2003



Figur 8: Funktionaliteten fr.o.m. 3 februari 2003

Några av de kommentarer som har följt med funktionsrapporterna då det har förekommit problem har handlat om;

- driftsavbrott från SWEPOS-driften,
- dålig GSM-mottagning
- svårighet att få fixlösning
- dåliga kvalitetstal i mottagaren
- svårighet att mäta i skog

De oplanerade driftsavbrotten kan bero av flera olika saker, problem med utrustningen på en station, problem med dataförbindelsen från en GPS-station in till SWEPOS driften eller generella problem med nätverks-RTK-programvaran inne på SWEPOS-driften. Problem med

utrustning på stationerna kan till stor del byggas bort genom att höja redundansen, dvs. installera dubbla GPS-mottagare och dubbel nätverksutrustning. En del förbättringar har redan gjorts genom en dubblering av GPS-mottagarna på flera projektstationer. Förbättrade versioner av nätverks-RTK-programvaran har installerats för att minska antalet avbrott orsakade av programvaran.

Problemet med dålig GSM-mottagning kan man i vissa fall komma ifrån genom att använda en bättre typ av GSM antenn, en jordplansantenn som förstärker signalen.

Dåliga kvalitetstal i mottagaren kan bero på allmänt dåliga förhållanden, få satelliter, dålig satellitkonfiguration men testresultaten visar även att kvalitetstalen ofta är ganska pessimistiskt beräknade, se avsnitt 8.3.4.

Att det är svårt att mäta i skog är tyvärr ganska vanligt och beror av att träden blockerar signalen från satelliterna. Det finns även en risk att signalen, även om den når fram till mottagaren, har störts på sin väg genom skogen.

Problem med att få fixlösning kan bero av ett antal olika anledningar däribland de som nämnts ovan. En annan anledning kan vara om jonosfärsaktiviteten har varit så hög att nätverks-RTK programvaran inte klarat av att modellera bort hela felet. Problem med hög jonosfärsaktivitet uppstod oftare i början av projektet då solen fortfarande var inne i en ganska aktiv solfläcksperiod. Mot slutet av projektet har problem med väldigt hög jonosfärsaktivitet blivit alltmer sällsynt.

## 7.2 Användarstatistik

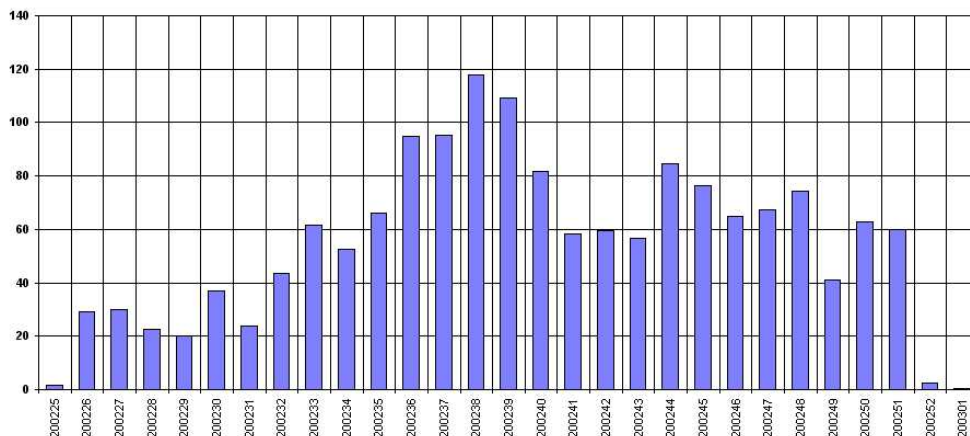
För att få en uppfattning om hur mycket nätverks-RTK används i fält har SWEPOS driftledningscentral fört statistik över användarnas uppkopplingar mot nätverks-RTK-programvaran

En annan anledning till användarstatistiken har varit att göra det möjligt för projektdeltagarna att följa sin egen och de övriga deltagarnas användning av nätverks-RTK under projektiden.

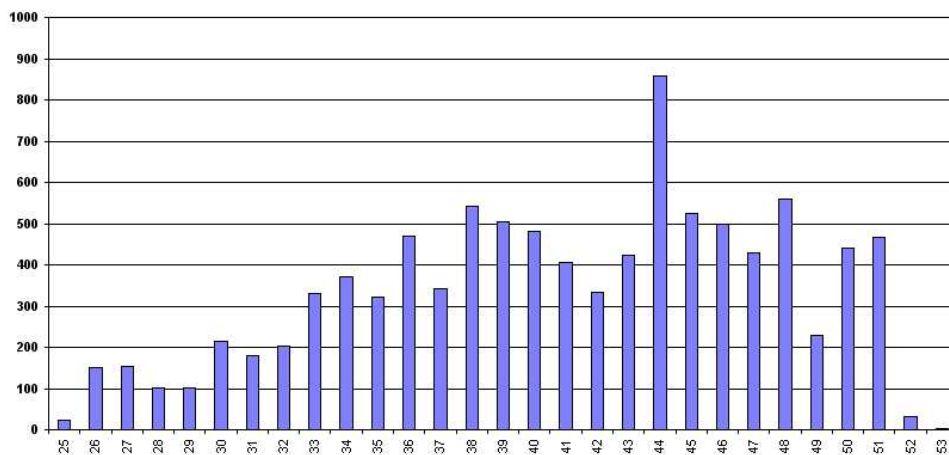
Användarstatistiken har uppdaterats varje vecka och funnits tillgänglig på SWEPOS webbsida, [www.swepos.com](http://www.swepos.com).

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.

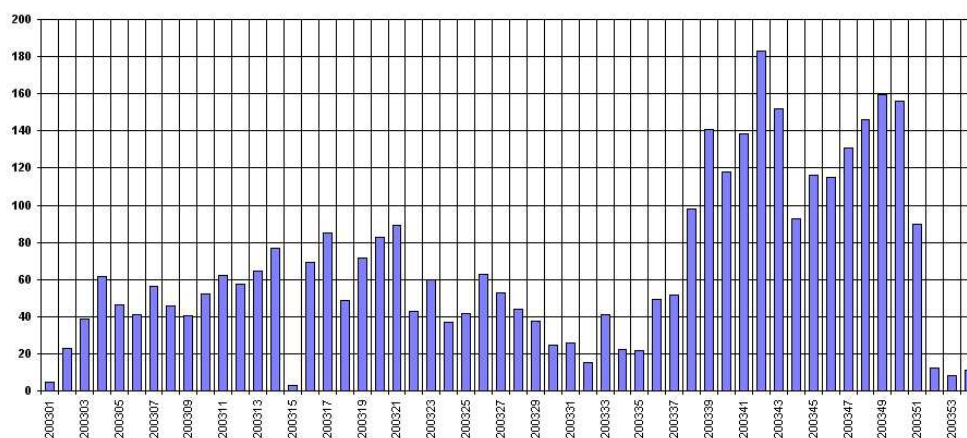
I exemplen nedan kan ses hur användningen av nätverks-RTK har ökat under projektets gång.



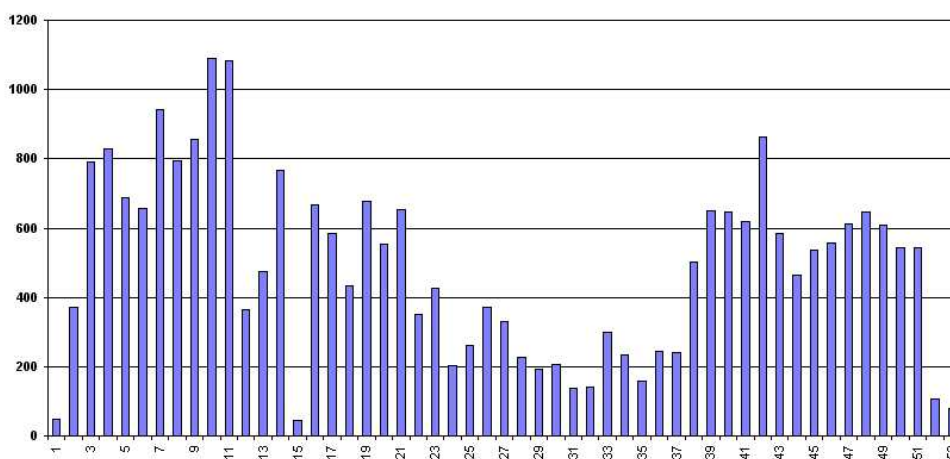
Figur 9: Total uppkopplingstid för projektet under 2002. Uppkopplingstiden redovisas i timmar per vecka.



Figur 10: Totalt antal uppkopplingar per vecka i projektet under 2002



Figur 11: Total uppkopplingstid för projektet under 2003. Uppkopplingstiden redovisas i timmar per vecka. Den branta ökningen under sensommaren beror till viss del på en felaktighet i registreringen av uppkopplingarna (se nedan).



Figur 12: Totalt antal uppkopplingar per vecka i projektet under 2003

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

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 användningen under sensommaren och hösten 2003.

Under vecka 15, 2003 så var tyvärr loggningsprogrammet av misstag avstängt, därav den låga användningsstatistiken för den veckan. Utifrån diagrammen kan vi se att användningen av nätverks-RTK har ökat ganska markant under speciellt den andra hälften av 2003. Från starten av projektet och fram till hösten har den totala uppkopplade tiden legat på ca, 60 timmar i veckan men under hösten 2003 har den uppkopplade tiden nästan dubblerats, men för en del av ökningen står som nämnts den felaktiga registreringen för. Antalet uppkopplingar per vecka har även de följt samma trend, under 2002 var antalet uppkopplingar ca, 350 i veckan och för 2003 har antalet ökat till ca, 550 i veckan. Vi kan även se att vi har en mindre användning under sommarmånaderna vilket kanske inte är så konstigt med tanke på semestrar.

## 8 Testmätningar

Genom deltagandet i projektet gjorde intressenterna ett åtagande om att hjälpa till med testmätningar under projektåret. Fördelen med att alla i projektet hjälpts åt med testmätningar är att projektet fått in ett

stort underlag för att bedöma kvalitén och noggrannheten i Nätverks-RTK tekniken. Testmätningarna ger dessutom ett mått på hur Nätverks-RTK tekniken fungerar över längre tidsperioder och om det under projekttiden förekommer variationer i kvalitén.

Tanken var att två olika typer av testmätningar skulle utföras i projektet. De deltagare som hade egen referensstation skulle göra jämförande testmätningar mot Nätverks-RTK och egen referensstation och de deltagare som ej hade egen referensstation skulle utföra testmätningar på RIX95 punkter. Tyvärr så utfördes det inte några jämförande testmätningar mot egen referensstation i projektet utan de med egen referensstation har istället utfört testmätningar på fasta RIX 95 punkter med Nätverks-RTK-tjänsten. RIX 95 punkterna har vid beräkningen av resultatet betraktats som felfria.

## **8.1 Planering och framtagning av lämpliga testpunkter**

För testmätningarna på de fasta RIX 95 punkterna så tog projektledaren fram förslag på punkter som skickades ut till deltagarna i projektet. Varje intressent fick förslag på fyra RIX 95 punkter som valts ut så att de låg på varierande avstånd från närmsta fysiska referensstation, detta för att göra det möjligt att undersöka eventuella avståndsberoende effekter. För att begränsa antalet testpunkter till ett någorlunda rimligt antal så fick några deltagare använda samma punkter. Totalt sett har testmätningar utförts på 89 RIX 95 punkter fördelade över området som nätet täcker in, se bild ??



Figur 12: Testpunkternas placering i området

Rix 95 punkter är normalt sett bra eller mycket bra lämpade för GPS-mätning, resultaten som erhållits är därför vad man kan förvänta sig vid mätning under liknande omgivningsmässiga förhållanden. Testmätningarna har utförts under olika tider på dagen och därför även med mycket varierande tillgänglighet av GPS-satelliter vilket därför bör motsvara de förhållanden som normalt kan förekomma under en mättdag.

## 8.2 Tillvägagångssätt vid testmätning

Testmätningarna har utförts på välbestämda sk. RIX 95 punkter. Punkterna har valts med varierat avstånd till närmsta referensstation för att göra det möjligt att studera om avståndet till närmsta referensstation påverkar noggrannhet och funktionalitet. Stativ har används för att få så noggrann centring som möjligt över punkten och alla mätningar har lagrats direkt i SWEREF 99 för att ej få med fel som beror av transformationer mellan SWEREF 99 och olika lokala system. En mätserie om 10 individuella mätningar med initialisering mellan varje mätning utförs på varje punkt, punkten återbesöks sedan vid annan tid på dygnet för att få mätningar under en annan satellitkonfiguration

### *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. **Eventuella anmärkningar** görs nedtill på bladet.
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

#### **Sammanställning av resultatet**

- Mätfilerna levereras i lämpligt format som är enkelt att importera i t.ex. Excel.

## **8.3 Resultat**

### **8.3.1 Alla mätningarna i projektet**

Totalt har det gjorts 6172 testmätningar i projektet. Av de 6172 gjorda testmätningarna så har 6 mätningar i plan och 10 i höjd sorterats bort som orimliga sk. "outliers" och ej tagits med i resultatet. Gränsen för outliers har i det här fallet satts till 200 mm. En mätserie med mycket dåliga satellitförhållande har tagits bort helt från resultatet då denna mätserie hade en systematisk avvikelse om 1 dm, troligen orsakad av felaktig fixlösning.

I ett fall har mätning utförts på en felaktig närbelägen punkt vilket gett ett systematiskt fel, mätningarna på den punkten har därför ej tagits med i resultatet. I några fall har även systematiska fel smugit sig in i höjdkomponenten och i de fall då det ej har gått att rätta till felet i mätningarna så har mätningarna utelämnats från resultatet.

Vid beräkningen av tid till fixlösning så har en övre gräns om 5 minuter satts, instruktionen vid testmätning var att ominitialisering

skulle göras om fixlösning ej uppnåtts inom 5 minuter. 36 mätningar har därför tagits bort från resultatet. De mätningarna låg alla mellan 5 och 10 minuters fixlösning.

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% 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 5: Största avvikelse i plan och höjd för 67% respektive 95% av alla mätningar i projektet, då "orimliga" värden (6 mätningar i plan och 10 st. i höjd) är bortsorterade, samt längsta tid till fixlösning för 67% respektive 95% av alla mätningar, då 38 mätningar med längre redovisad tid än 5 minuter är bortsorterade.*

	$x = 67\%$	$x = 95\%$
Största avvikelse i plan för $x$ % av alla mätningar [mm]	18	39
Största avvikelse i höjd för $x$ % av alla mätningar [mm]	27	68
Längsta tid till fixlösning för $x$ % av alla mätningar [sek]	17	60

För alla testmätningar i projektet har även medelavvikelse, standardavvikelse och RMS (root mean square) beräknats.

Standardavvikelsen anger spridningen kring mätseriens medelvärde eller tyngdpunkt:

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

där  $x$  är mätvärdet,  $\bar{x}$  är mätseriens 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 avvikelser från "sant" värde och  $n$  är antal mätningar.

Tabell 6: Medelavvikelse, standardavvikelse och RMS för alla mätningar (exkl. outliers). Alla värden i [mm].

Medelavvikelse	Lat	1,0
	Long	1,3
	Plan	1,7
	Höjd	3,3
Standardavvikelse	Lat	17,5
	Long	11,9
	Plan	21,1
	Höjd	33,5
RMS	Lat	17,5
	Long	11,9
	Plan	21,2
	Höjd	33,6

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.

### 8.3.2 Avstånd till närmsta referensstation

För att se om det föreligger något avståndsberoende i testmätningarna så har mätningarna även plottats upp i diagram med avseende på avstånd till närmsta referensstation. Trendlinjen som har lagts in i diagrammet visar avvikelser i plan respektive höjd vid varje givet avstånd, samt tiden till fixlösning, se bilaga 2.

I diagrammet som visar avvikelse i plan med avseende på närmsta referensstation kan vi se att vi har ett mycket svagt avståndsberoende på 13 mm + 0,14 mm/km. Även i höjd har vi ett lite högre men fortfarande mycket svagt avståndsberoende om 18 mm + 0,26 mm/km. På liknande sätt kan vi se att tid till fixlösning inte heller påverkas nämnvärt av avståndet till närmsta referensstation, tiden till fixlösning har ett svagt avståndsberoende på 16 + 0,21 sekunder/km.

### 8.3.3 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.

Genomgående så kan vi se att ett ökande antal satelliter bidrar till bättre noggrannhet i både plan och höjd. På samma sätt så ger även ett ökande antal satelliter en förbättring med avseende på tid till fixlösning.

Det verkar även som att ökande antal satelliter ger en mindre spridning av mätvärdena och därmed säkrare resultat.

### 8.3.4 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 brusig satellitsignalen är. Man kan anta att även de andra GPS-mottagarfabrikaten gör motsvarande beräkningar.

För att se hur bra kvalitetstalen överensstämmer med verkligheten har diagram över avvikelsen i plan och höjd och tre dimensioner (3D) tagits fram, se bilaga 4. Grova fel i plan och höjd samt tre orimliga kvalitetstal har sorterats bort från resultatet.

Det diagram som bäst avspeglar verkligheten är förstås diagrammet med 3D-avvikelsen i förhållande till kvalitetstalet. Om kvalitetstalet skulle motsvara verkligheten så bra som möjligt så borde trendlinjen ha ett 1 till 1 förhållande. I det här fallet så har vi en trendlinje med följande ekvation:

$$y = 0,4934x + 18,599$$

Om vi i formeln har ett kvalitetstal ( $x$ ) på 50 mm blir den uppskattade avvikelsen ( $y$ ) 43 mm, den uppskattade avvikelsen är med andra ord något pessimistisk.

Om vi tittar på avvikelsen i plan i förhållande till kvalitetstalet så får vi en ännu större skillnad. En trendlinje inlagd i diagrammet får följande ekvation:

$$y = 0,2515x + 9,76$$

Om vi i formeln har ett kvalitetstal ( $x$ ) på 50 mm blir den uppskattade avvikelsen ( $y$ ) 22 mm i plan. I en del GPS-utrustningar går det att välja om utrustningen ska visa den uppskattade 3D avvikelsen eller 2D avvikelsen. I det fall man enbart är intresserad av noggrannheten

i plan så är det naturligtvis bättre att använda ett kvalitetstal som enbart uppskattar 2D avvikelser.

### 8.3.5 Programversionbyte - GPSNet

Under projekttiden har nätverks-RTK programmet uppgraderats med nya versioner vid ett antal tillfällen. För att se om programuppgraderingarna medfört någon förbättring av noggrannhet och funktionalitet så har testmätningarna delats in i olika perioder med avseende på programversion. Denna indelning har inte gjorts för varje uppgradering utan endast för de tillfällen då den nya versionen har inneburit en förbättring som uppenbart kunnat medföra en förbättring för användarna som t.ex, en annorlunda beräkningen av jonosfär och troposförsmodellen i programmet . I vissa fall har nya versioner endast inneburit förbättringar som operatörerna på SWEPOS-driften haft nytta av. Det har t.ex handlat om förbättrade möjligheter för felsökning och stöd då användare ringer till SWEPOS-driften vid problem. De uppgraderingar som kan ha påverkat noggrannhet och funktionalitet har gjorts vid följande datum;

- 2 augusti 2002 uppgradering till version 1.61
- 3 februari 2003 uppgradering till version 2.0

I tabellen nedan redovisas testresultaten utifrån nämnda perioder för de olika programversionerna.

Tabell 7: Testmätningar före och efter programversionbyten

Tidsperiod	T.o.m. 2 augusti 2002			2002-08-02 – 2003-02-03			Fr.o.m. 3 februari 2003		
Antal mätn.	1915/1913			3203/2978			1045/1015		
Plan/höjd.									
	67%	95%	Outliers	67%	95%	Outliers	67%	95%	Outliers
Plan [mm]	18	38	1 st.	19	42	5 st.	14	31	0 st.
Höjd [mm]	30	77	3 st.	27	66	7 st.	21	48	0 st.
Fixtid [sek]	18	84		18	88		12	25	

Under den första perioden fram till den 2 augusti 2002 gjordes 1915 mätningar i plan och 1913 i höjd, 1 outlier i plan och 3 outliers i höjd har tagits bort från sammanställningen. Under perioden 2 augusti 2002 till den 3 februari 2003 gjordes 3203 mätningar i plan och 2978 mätningar i höjd, 5 outliers i plan och 7 outliers i höjd har tagits bort

från resultatet. För den sista perioden från den 3 februari 2003 gjordes 1045 mätningar i plan och 1015 i höjd, ingen outlier fanns med i den sista perioden.

Uppgraderingen den 2 augusti 2002 verkar inte ha påverkat resultatet nämnvärt, det som förbättrades något var avvikelse i höjd. Uppgraderingen den 3 februari 2003 verkar däremot ha inneburit en större förbättring. Avvikelsen i både plan och höjd har förbättrats tillsammans med fixtiden som minskat ganska dramatiskt. En annan intressant förbättring är att det inte har förekommit någon outlier alls under den sista perioden.

På samma sätt som för alla mätningarna i projektet, se avsnitt 8.3.1, har medelavvikelse, standardavvikelse och RMS (root mean square) beräknats för respektive tidsperiod.

Tabell 8: Medelavvikelse, standardavvikelse och RMS för alla mätningar (exkl. outliers) före och efter programversionbyten. Alla värden i [mm].

		<i>T.o.m. 2 augusti 2002</i>	<i>2002-08-02 – 2003-02-03</i>	<i>Fr.o.m. 3 februari 2003</i>
Medelavvikelse	Lat	0,0	1,2	2,5
	Long	-0,2	1,8	2,9
	Plan	0,2	2,1	3,8
	Höjd	2,5	5,4	-1,5
Standardavvikelse	Lat	15,5	19,7	13,3
	Long	12,1	12,6	8,2
	Plan	19,7	23,4	15,7
	Höjd	37,0	33,8	23,6
RMS	Lat	15,5	19,7	13,6
	Long	12,1	12,7	8,7
	Plan	19,7	23,4	16,1
	Höjd	37,1	34,2	23,7

Även i den här sammanställningen kan vi se att det senaste programversionbytet medfört stora förbättringar i både plan och höjdkomponenter.

## 9 Diskussion och slutsatser

### 9.1 Diskussion

Om vi jämför resultaten från testmätningarna i "Position Stockholm-Mälaren-1" med testmätningarna från första perioden i "Position Stockholm-Mälaren-2" så kan vi se förbättringar i framförallt höjdkomponenten och tid till fixlösning. Vi kan dessutom konstatera att det under projekttiden har skett ytterligare förbättringar av både plan och -höjdkomponent samt tid till fixlösning. En del av denna förbättring kan med stor säkerhet tillskrivas förbättrade versioner av nätverks-RTK programvaran men naturligtvis så kan även bättre atmosfäriska förhållanden ha spelat en roll i detta.

Vi hade en relativt hög solfläcksaktivitet under förstudien med nätverks-RTK i Mälardalen men även under den första perioden av Position Stockholm-Mälaren-2 -projektet. Under projekttiden så har dock solaktiviteten minskat och har med undantag för något kort utbrott legat på en relativt låg nivå. Den period av låg solaktivitet som vi är på väg mot kommer att gynna den här typen av mätning. Solaktiviteten varierar över en elvaårig cykel och vid nästa maximum omkring år 2012 kan problemet troligtvis hanteras bättre genom förbättrade beräkningsalgoritmer i både nätverks-RTK-program och GPS-mottagare samt observationer på ytterligare en frekvens.

Om trenden håller i sig så kommer vi med tiden se ytterligare förbättringar i noggrannhet och funktionalitet för nätverks-RTK. De första försöken med nätverks-RTK för maskinstyrning har redan utförts och med tiden kommer vi säkert få se en större användning av nätverks-RTK även i dessa tillämpningar. För viss typ av maskinstyrning så räcker noggrannheten till redan idag och på sikt kommer det förhoppningsvis även bli användbart för maskinstyrning som kräver högre noggrannhet. Det är idag främst höjkomponenten som behöver förbättras ytterligare för att räkna till vid maskinstyrning med högre krav.

Vid maskinstyrning så är det inte ovanligt att maskinerna går hela dagarna, dvs, det blir en dyr lösning att använda GSM som distributionskanal. Tester har utförts med att distribuera korrekationer via DARC-kanalen, som är en underbärvåg till FM-radionätet, där användaren tar emot korrektionerna genom ett radiomodem istället för via GSM-modem. Denna lösning skulle passa bättre för maskinstyrningstillämpningar och även bli ett komplement till GSM i områden med dålig GSM täckning.

Det pågår även tester med att distribuera nätverks-RTK data via GPRS. GPRS är en datapaket lösning där användaren betalar för mängden data som skickas och tas emot. Tillsammans med det nya

effektivare standardformatet RTCM 3 kan därför GPRS bli ett intressant alternativ.

Ett annat alternativ kan vara att till en arbetsplats distribuera nätverks-RTK -data via t.ex internet och vidare ut med radiomodem.

Nätverks-RTK-projekten har för många mindre kommuner och konsulter inneburit en möjlighet att prova på och testa vad GPS-tekniken kan innebära för just deras verksamhet. Eftersom ett deltagande även ger möjlighet till att kostnadsfritt låna en GPS-utrustning under en del av projekttiden så kan projektdeltagarna prova till en rimlig kostnad. De flesta deltagare som har lånat utrustning under projekttiden har sedan även köpt egen utrustning. Kostnaden för att investera i två utrustningar för enkelstations-RTK gör att mindre verksamheter kanske tvekar att göra den investeringen. Att istället komma igång för i stort sett halva kostnaden som är fallet med nätverks-RTK kan i många fall vara enklare att motivera.

Från de första försöken med nätverks-RTK fram till idag har det skett en hel del förändringar som har påverkat funktion och noggrannhet för nätverks-RTK i rätt riktning. Samtidigt har utvecklingen av fältutrustningarna gått vidare och det är inga problem att idag beställa en färdig GPS-utrustning för nätverks-RTK från instrumentleverantörerna.

## 9.2 Slutsatser

Nätverks-RTK programmet GPS-Net tillsammans med SWEPOS-nätet och GSM som distributionskanal kan idag användas för t.ex. detaljmätning där noggrannhetskraven ligger på 0,03 cm i plan och 0,05 cm i höjd (95% konfidensnivå) och det finns GSM-täckning.

Projektdeltagarna har bedömt funktionaliteten hos nätverks-RTK som "Bra" eller "Mycket bra" vilket är ett kvitto på att nätverks-RTK håller den kvalitet som användarna kräver för sin produktion. Nätverks-RTK har på kort tid gått från testverksamhet till att bli ett accepterat verktyg hos de mätorganisationer som har höga krav på noggrannhet i sina tillämpningar.

Resultaten från de testmätningar och funktionsrapporter som kommit in under projekttiden visar att noggrannhet och funktionalitet för nätverks-RTK har förbättrats under projekttiden, och om trenden håller i sig så bör vi se ytterligare förbättringar i noggrannheten framöver. Det verkar även som om risken att få grova fel i mätningen s.k. outliers, har minskat efter den senaste uppgraderingen av nätverks-RTK -programvaran. Nätverks-RTK håller en jämn kvalitet över hela det område som täcks in,

testmätningarna visar på ett mycket svagt avståndsberoende för både noggrannhet och tid till fixlösning.

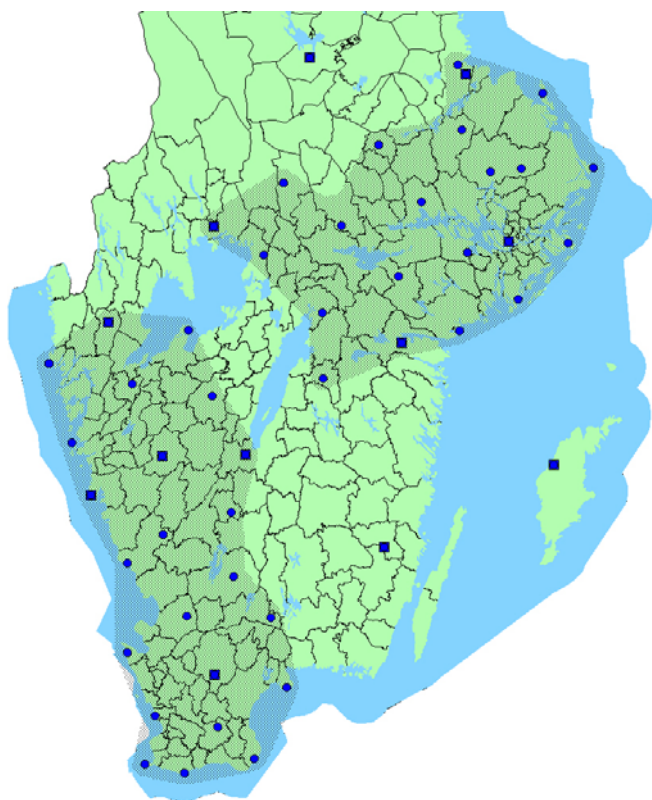
Något som även nämndes i slutrapporten från det första projektet i Mälardalen och som bör undersökas vidare är hur GPS-mottagarna hanterar korrektionerna från nätverks-RTK-programvaran, t.ex. så bör båda frekvenserna användas vid beräkningen i GPS-mottagarna. En annan fråga är hur antenmodeller hanteras i de olika fabrikaten av GPS-mottagare.

Något som har efterfrågats av användarna är en handledning för nätverks-RTK mätning. Handledningen är tänkt att innehålla rekommendationer och tips om vad man bör tänka på vid mätning för att erhålla så bra mätningar som möjligt och undvika grova fel. Ett sådant arbete är planerat att genomföras på Geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriverket.

## 10 Vad händer efter projektet?

### 10.1 SWEPOS Nätverks-RTK -tjänst

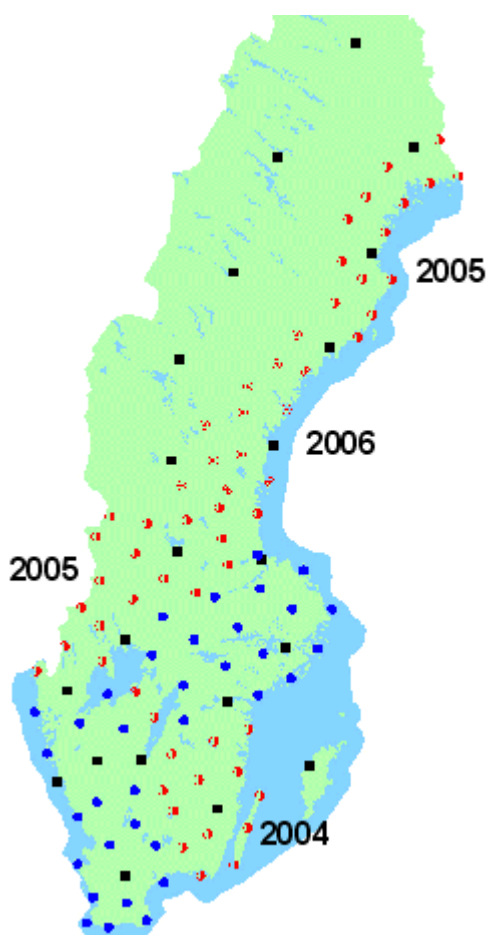
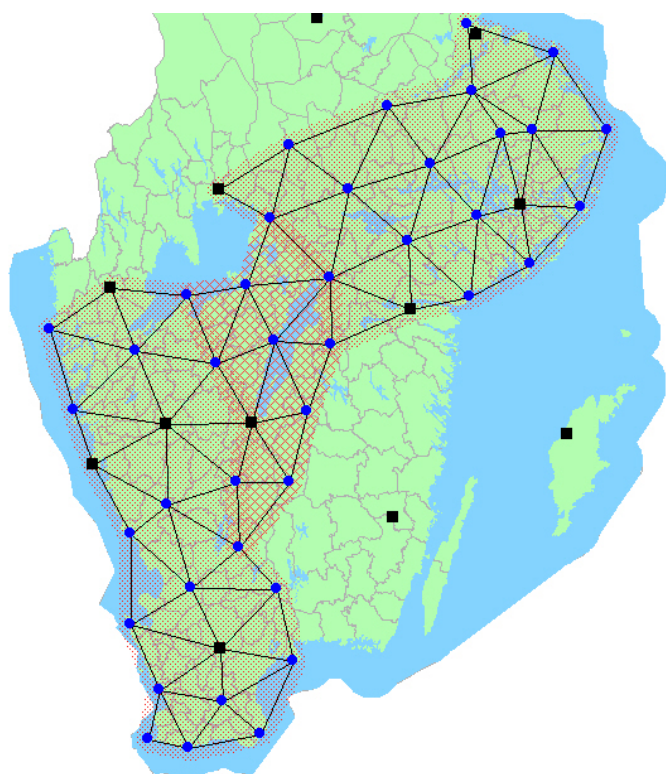
När projektet tillsammans med de två andra projekten SKAN-RTK – 2 och Väst-RTK avslutades övergick dessa den 1 januari 2004 till SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (Jonsson, 2003). För tillgång till tjänsten tas avgifter ut. Blanketter för anmälan av abonnemang finns på [www.swepos.com](http://www.swepos.com).



Figur 13: Inledande täckningsområde för nätverks-RTK-tjänsten den 1 januari 2004.

## 10.2 Etableringsprojekt

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



Figur 14: 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.

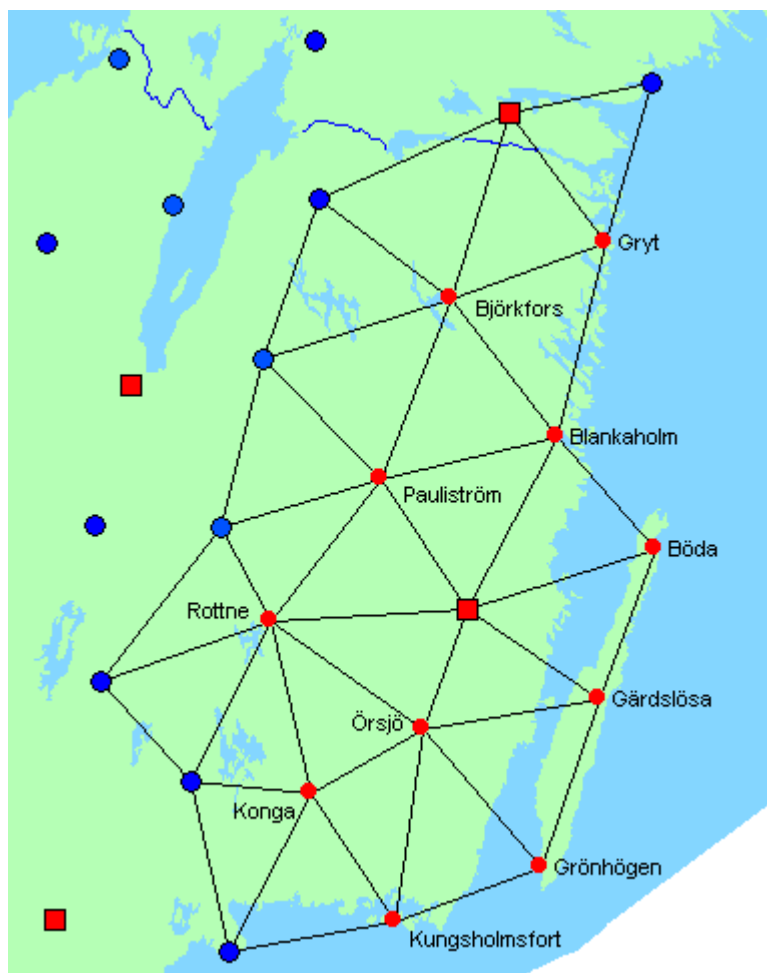
Det finns även planer på projekt i Värmland /Dalarna (Position Mitt) och längs



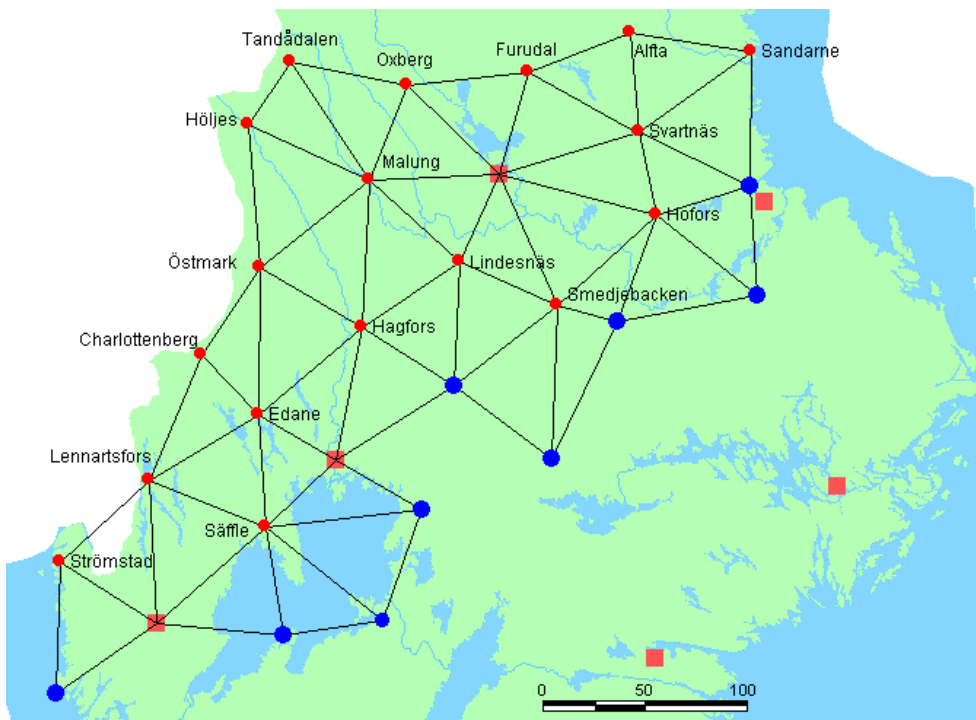
Norrlandskusten (Nordost-RTK och Mellan-RTK).

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

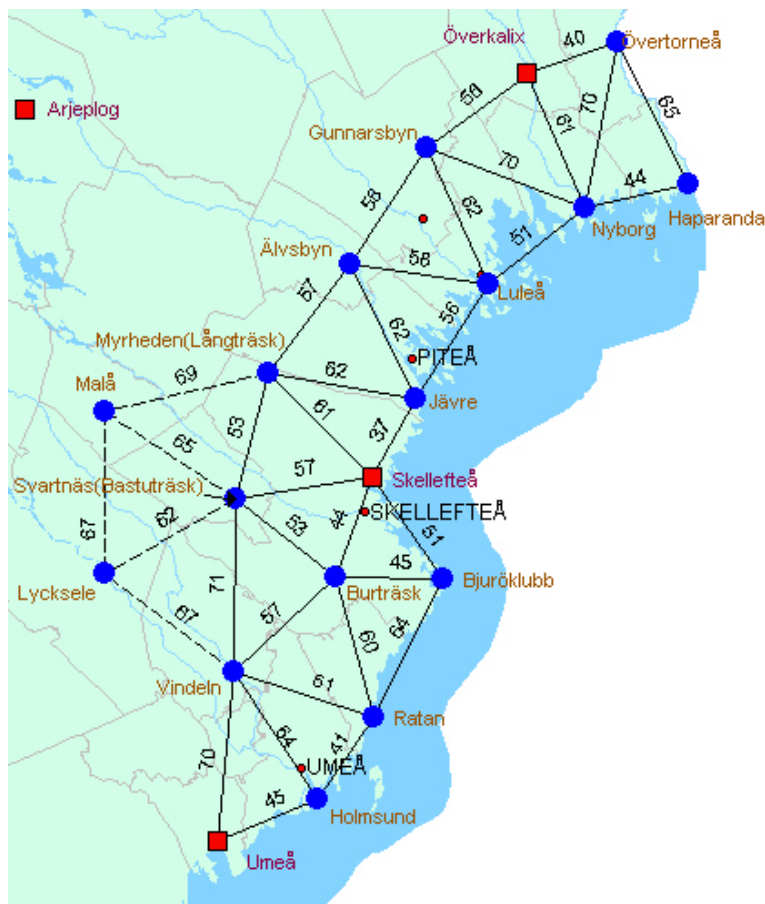
Figur 15: Översikt över planerade etableringsprojekt för nätverks-RTK-tjänsten. Årtalen i kartan indikerar planerad start för resp. projekt.



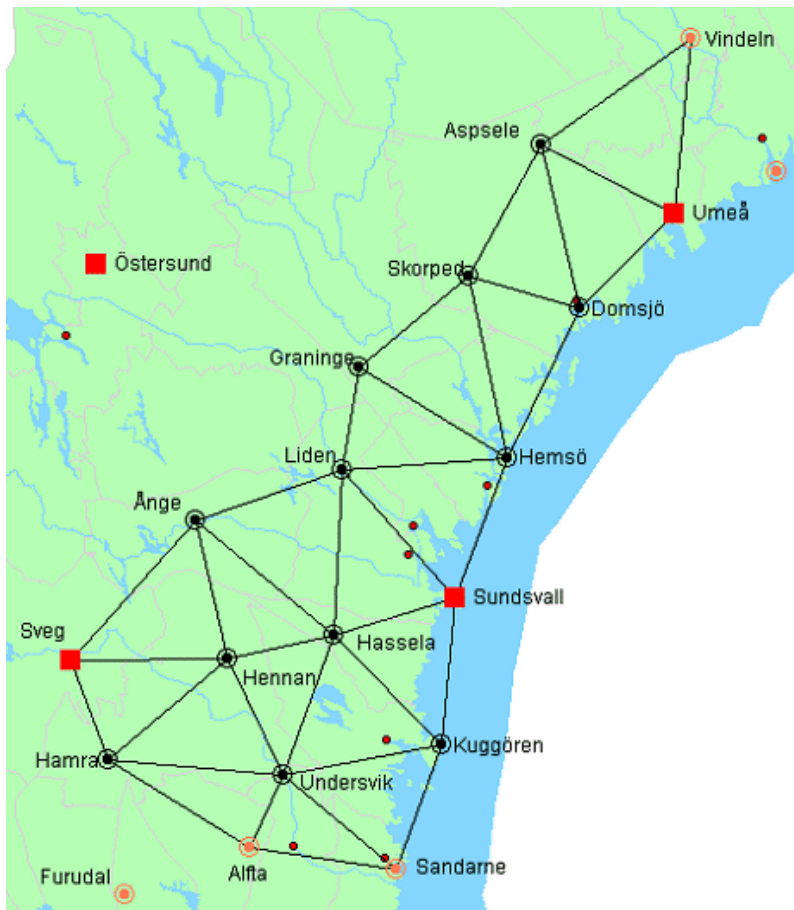
Figur 16: Nätkonfigurationen Ost-RTK, som startade upp den 15 september och ansluter mot nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde.



Figur 17: Det planerade referensstationsnätet för Position Mitt. Nätet ansluter i söder till nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde.



Figur 18: Den föreslagna nätutformningen för Nordost-RTK.



Figur 19: Mellan-RTK föreslås binda samman områdena för Nordost-RTK och Position Mitt

### 10.3 SWEPOS referensgrupp

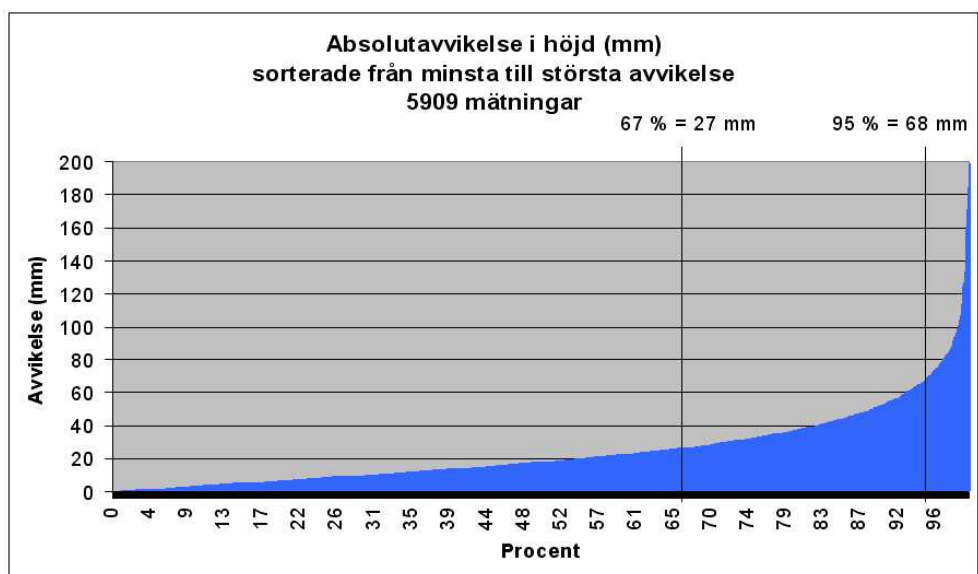
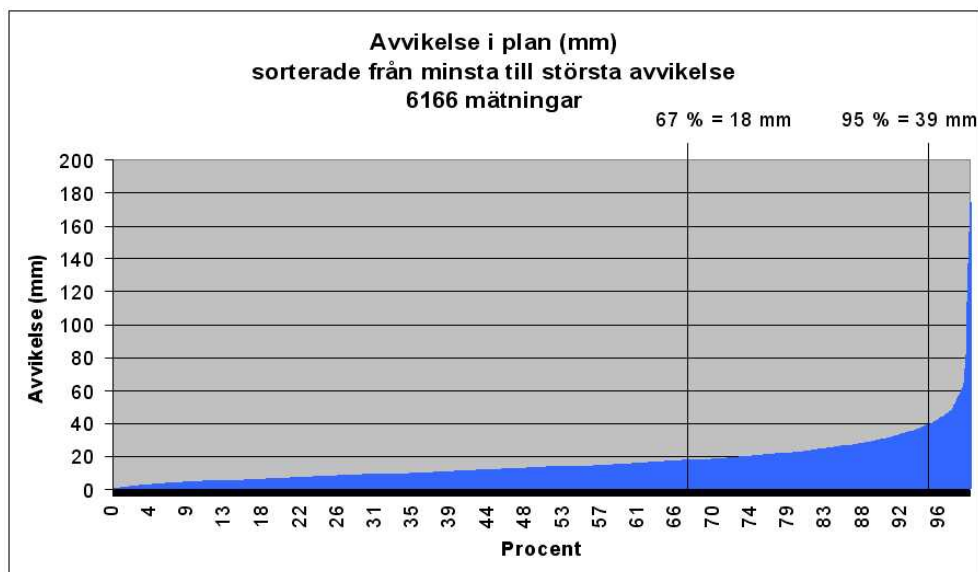
För att bibehålla de kontaktnät som uppkommit under de tre nätverks-RTK projekten Väst-RTK, SKAN-RTK - 2 och Position Stockholm-Mälaren - 2 har en referensgrupp inrättats. Referensgruppen består av några lokala representanter från varje projektområde samt representanter på nationell nivå från statliga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

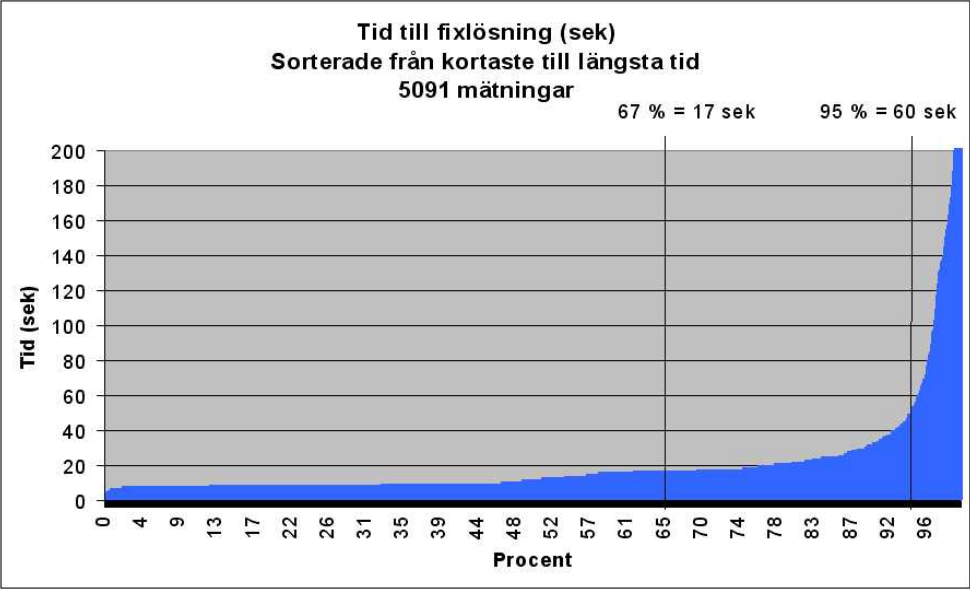
Denna referensgrupp är tänkt att fungera som forum för kommunikation mellan nätverks-RTK-användarna och SWEPOS. De lokala representanterna i sin tur fungerar som kontaktpersoner för de lokala nätverks-RTK-användarna och kan assistera vid lokala användarseminarier.

## Referenser

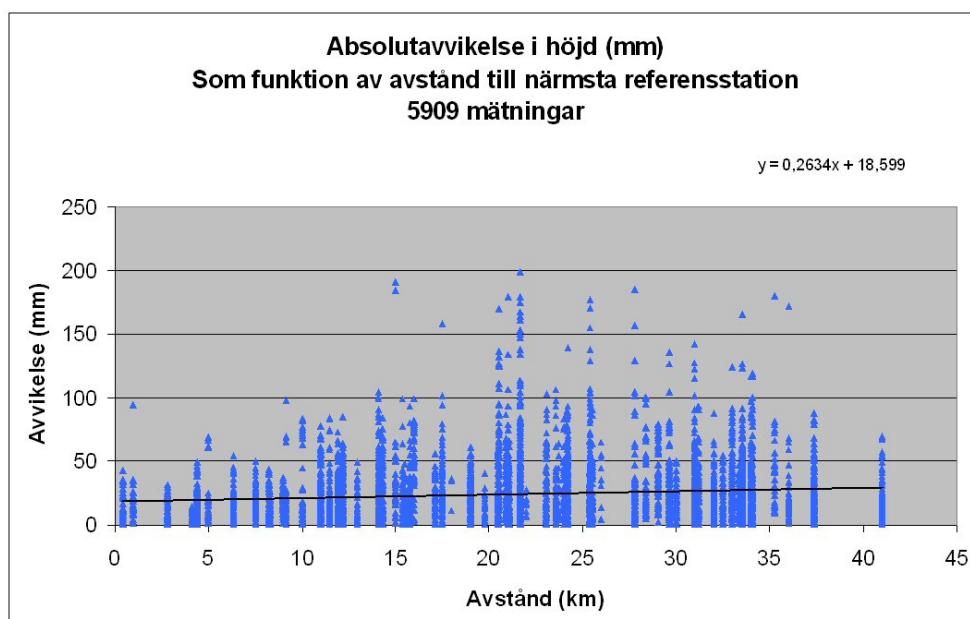
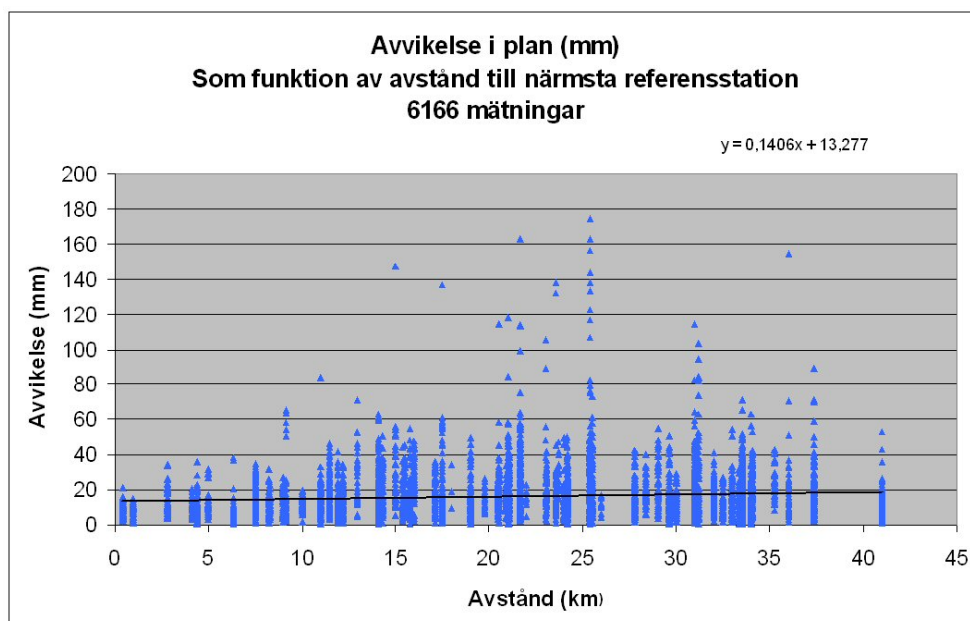
- Alm M & Munsin A-S (2003). Traditionell RTK kontra nätverks-RTK - En noggrannhetsjämförelse. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2003:11, Gävle.
- Engfeldt A, Norin D, Nielsen J, Warming L H, Grinde G, Johansson D, Lilje C, Nilsson A, Wiklund P, Kempe T, Frisk A (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". Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2004:X, 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.
- Kempe T (2004): "Väst-RTK - nätverks-RTK i produktionstest". Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2004:X, Gävle.
- 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.
- Lantmäteriet (2001): Projektbeskrivning för Position Stockholm Mälaren - 2, Lantmäteriets dnr L2001/851.
- Ollvik L (red.) (2001): SKAN-RTK - referensstationsnät i Skåne för nätverks-RTK. Rapport från projekt SKAN-RTK.
- Wiklund P (2002): Slutrapport för projekt "Position Stockholm-Mälaren - 1". Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2002:1, Gävle.

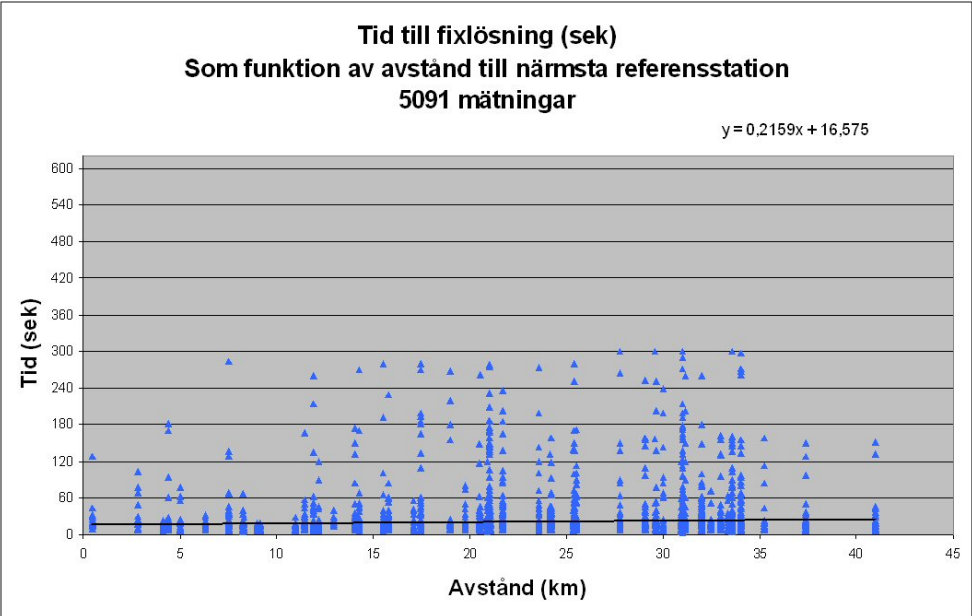
# Bilaga 1 - Alla mätningar





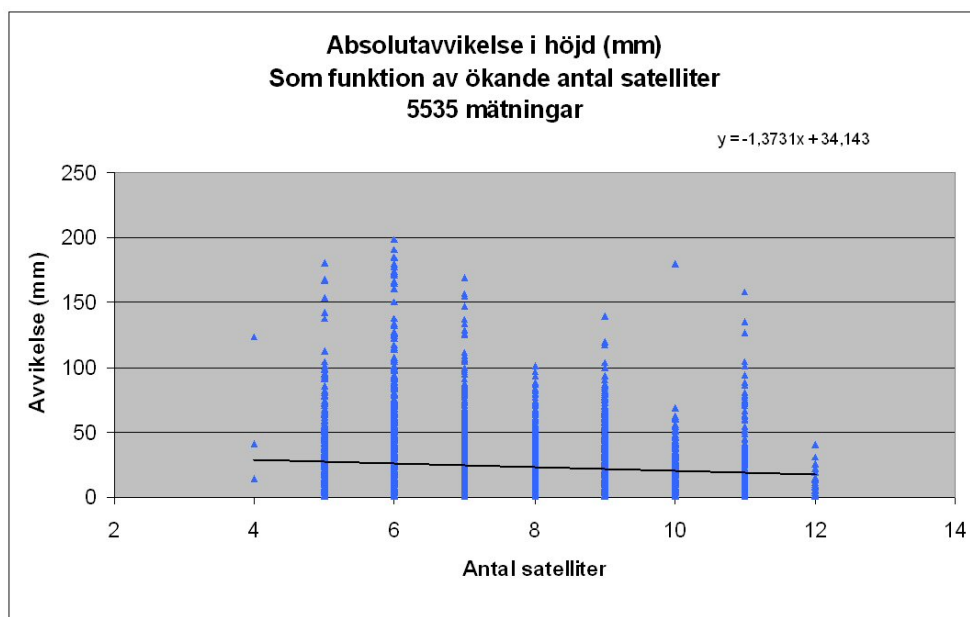
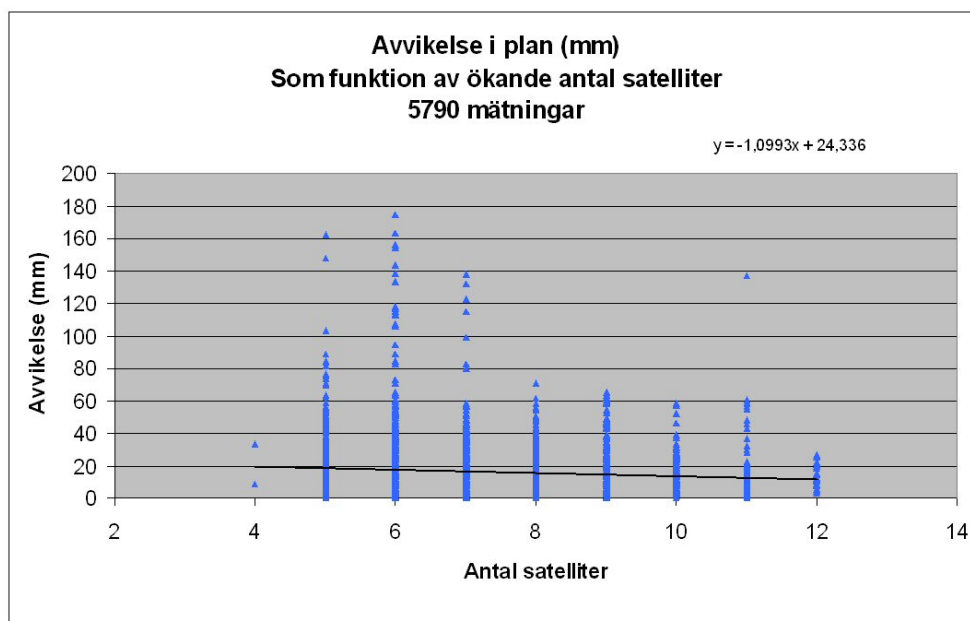
## Bilaga 2 – Avstånd till referensstation





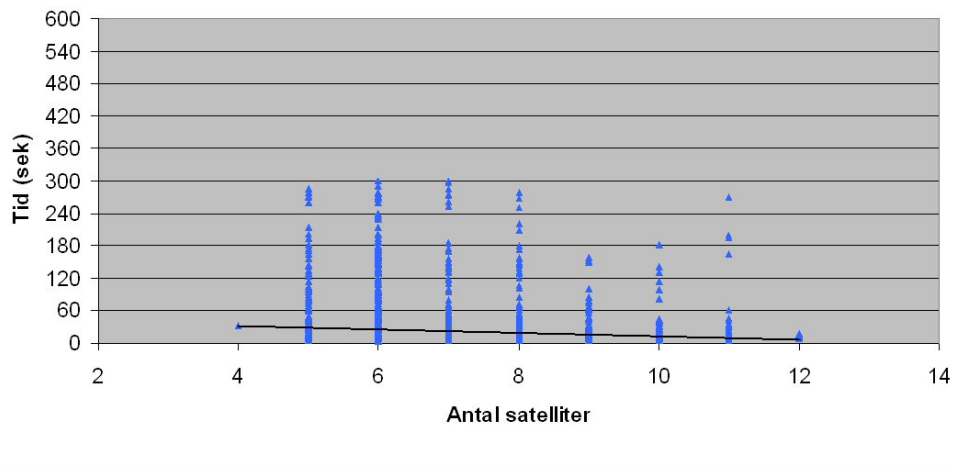


## Bilaga 3 – Antal satelliter

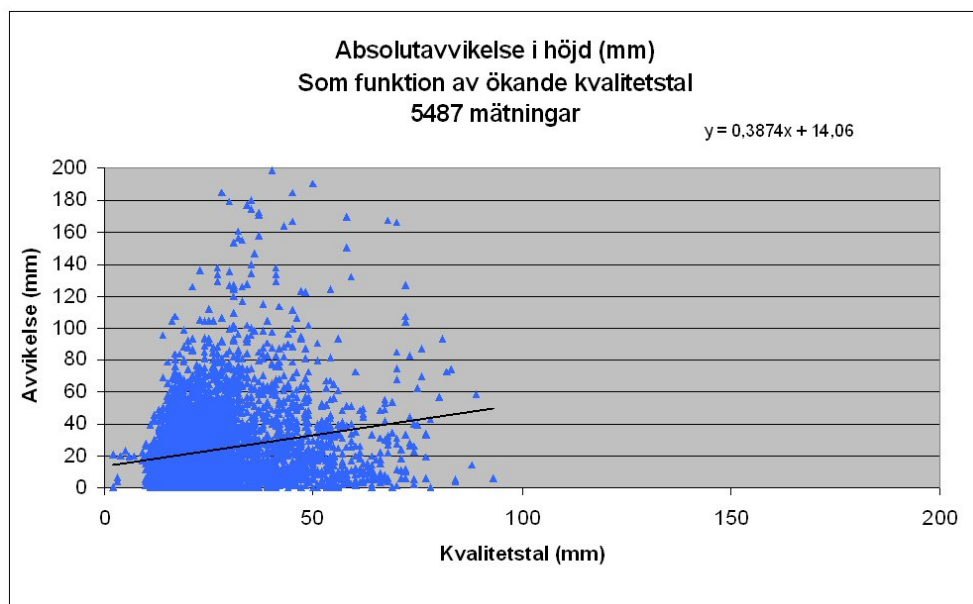
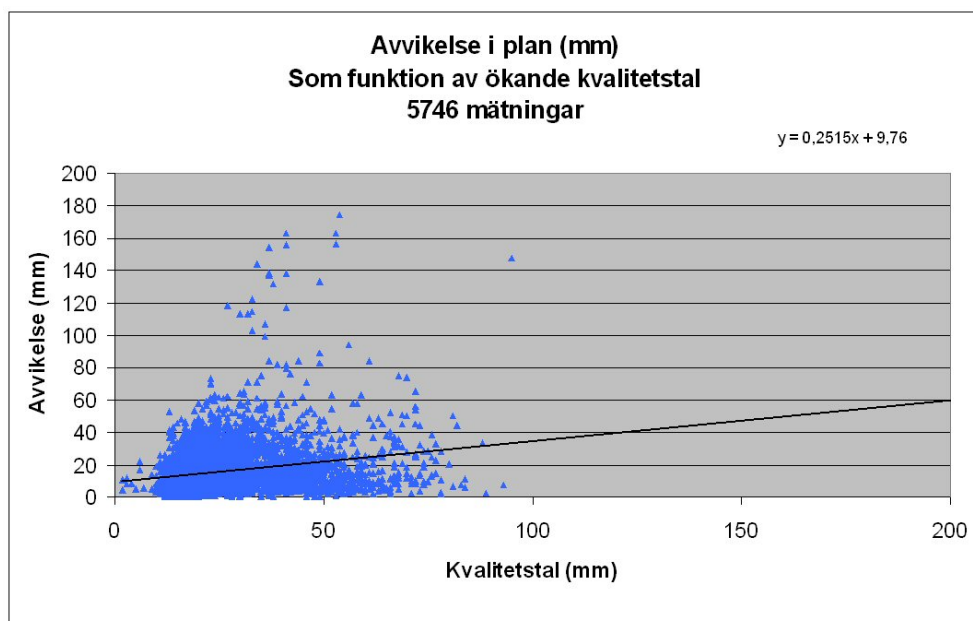


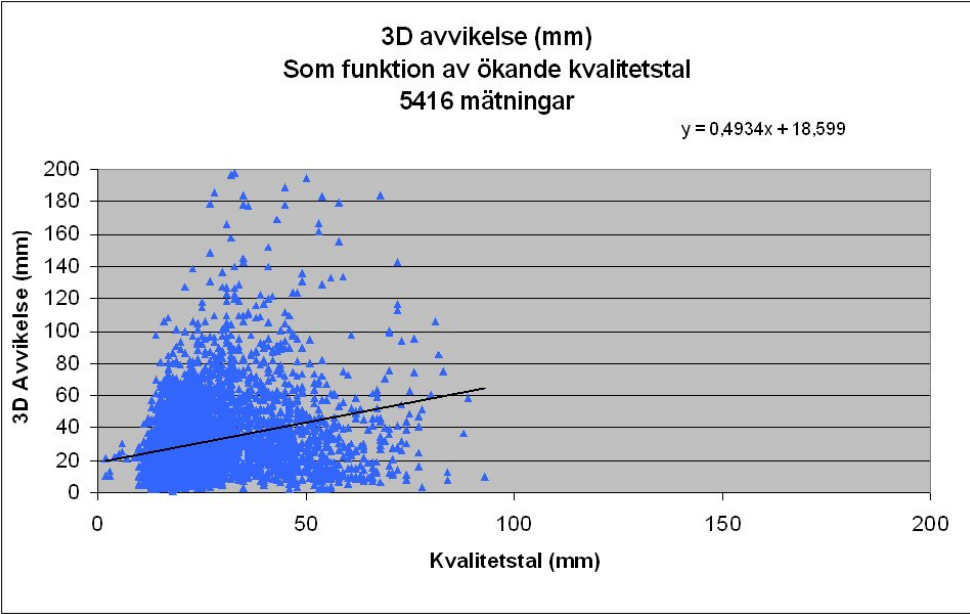
**Tid till fixlösning (sek)**  
**Som funktion av ökande antal satelliter**  
**4996 mätningar**

$$y = -3,4796x + 47,124$$



## Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal





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](http://www.lantmateriet.se)