

SKAN-RTK - 2

– nätverks-RTK i
produktionstest
i södra Sverige

Daniel Johansson

Gävle 2004

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2004-06-28

Författare Daniel Johansson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 54

LMV-Rapport 2004:12 – ISSN 280-5731

SKAN-RTK - 2

– nätverks-RTK i
produktionstest
i södra Sverige

Daniel Johansson



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 SKAN-RTK - 2.

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

Daniel Johansson

SKAN-RTK - 2

Förord		V
1	Sammanfattning	9
2	Bakgrund	11
2.1	Varför nätverks-RTK?	11
2.2	Syfte med SKAN-RTK - 2	12
3	Projektorganisation	13
3.1	Intressenter	14
3.2	Projektgrupp	14
3.3	Styrgrupp	15
3.4	Aktivitetslista och tidplan	15
3.5	Finansiering	16
4	Infrastruktur	18
4.1	SWEPOS®	18
4.2	Utbyggnad av SWEPOS	20
4.3	Nätutformning	21
5	Nätverks-RTK-tekniken	22
5.1	Hur fungerar det?	22
5.2	Nätverks-RTK-programvaran	23
6	Aktiviteter i projektet	24
6.1	Kick-offträff	24
6.2	Grundläggande GPS-utbildning	24
6.3	Uppstartsdagar	25
6.4	Låneutrustning	25
6.5	Användarseminarier	26
6.5.1	Användarseminariet den 6 maj 2003	26
6.5.2	Användarseminariet den 11 dec 2003	26
7	Användningen av nätverks-RTK i projektet	27
7.1	Funktionsrapporter	27
7.2	Användarstatistik	29

8	Testmätningar	31
8.1	Genomförande av testmätningar	31
8.2	Resultat	33
8.2.1	Alla mätningar i projektet	33
8.2.2	Avstånd till närmaste referensstation	34
8.2.3	Antal satelliter	35
8.2.4	GPS-mottagarens kvalitetstal	35
9	Diskussion och slutsatser	36
9.1	Diskussion	36
9.2	Slutsatser	37
10	Vad händer efter projektet?	39
10.1	SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst	39
10.2	Etableringsprojekt	40
10.3	SWEPOS referensgrupp	43
	Bilaga 1 - Alla mätningar	45
	Bilaga 2 - Avstånd till referensstation	47
	Bilaga 3 - Antal satelliter	49
	Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal	51

SKAN-RTK - 2

1 Sammanfattning

En allt större del av vår vardagsmätning utförs med GPS. Då en noggrannhet på någon centimeter eftersträvas används ofta RTK-tekniken. I sin ursprungliga form kräver denna teknik att användaren etablerar en tillfällig referensstation på en stompunkt med kända koordinater samt upprättar en radiolänkförbindelse innan centimeternoggrannhet med en rörlig enhet (rover) kan uppnås.

En del större användare t.ex. kommuner har valt att etablera egna, fasta lokala, referensstationer. Ett problem är att korrektionsdatas praktiska giltighetsområde är begränsat till en radie om cirka 20 km kring referensstationen, främst beroende på atmosfärens negativa inverkan. Ett annat är att radiolänken har begränsad räckvidd. I takt med att antalet fasta lokala referensstationer ökar kan det också bli problem med tillgängliga radiofrekvenser. Ibland krävs också specialkompetens för etablering och drift av sådana referensstationer.

Ett alternativ till traditionell enkelstations-RTK är att låta de fasta referensstationerna samverka genom att sammanbinda dem i ett nätverk, s.k. nätverks-RTK. Detta innebär att avståndet mellan de fasta referensstationerna kan ökas med bibehållen prestanda. För användarna innebär tekniken vidare att ett sammanhängande täckningsområde med kontinuerlig kvalitetskontroll erhålls.

Lantmäteriet / SWEPOS® har därför i samarbete med 43 andra intressenter i Skåne-området etablerat ett nät av fasta referensstationer för produktionstest av nätverks-RTK. Nätet har drivits som ett samarbetsprojekt och pågått mellan 14 mars 2002 och 31 december 2003. Bland projektets intressenter finns stora och små kommuner, statliga verk, konsulter och forskargrupper. Även leverantörer av GPS-utrustning i Sverige har bidragit till projektet.

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

Plankomponentens noggrannhet enligt dessa analyser är 35 mm och höjdkomponentens 51 mm (95% konfidensnivå).

För att genom detta projekt få en uppfattning om hur användarna bedömer teknikens användbarhet har särskilda funktionsrapporter sänts in och sammanställts. Dessa visar att de allra flesta är nöjda eller mycket nöjda med teknikens funktionalitet under större delen av projekttiden.

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 SKAN-RTK - 2 har även två systemprojekt pågått: Position Stockholm-Mälaren - 2 (Wiklund, 2004) samt Väst-RTK (Kempe, 2004). Projektstationerna i dessa tre nät har nu permanentats och utgör tillsammans den nätverks-RTK-tjänst som erbjuds sedan 1 januari 2004. Mer om detta på <http://www.swepos.com>

2 Bakgrund

2.1 Varför nätverks-RTK?

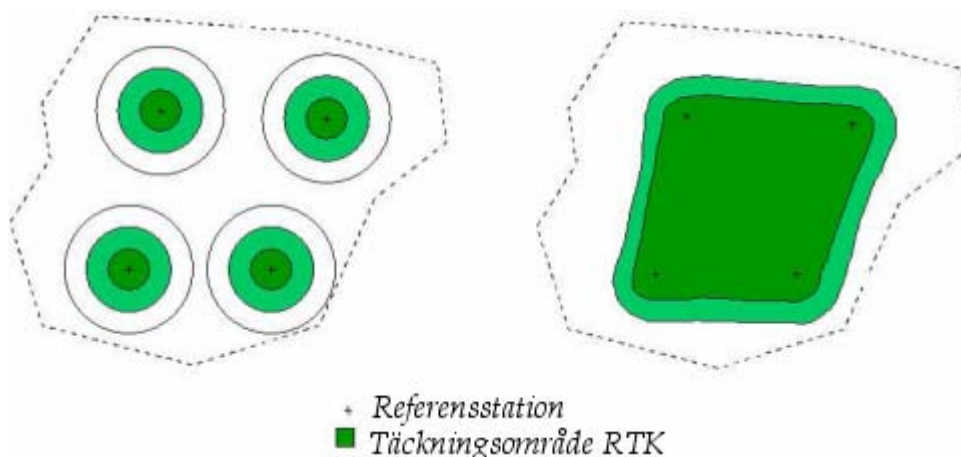
GPS/RTK är nu en fungerande teknik, för praktisk detaljmätning med centimeternoggrannhet, som är på väg att ta över en allt större del av den vardagsmätning som kräver några centimeters noggrannhet i positionen. Vid användning av befintliga referenspunkter i terrängen som utgångspunkter för RTK-mätning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

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 (ca 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), 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 ca 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 rörlig mottagare.

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. 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 med bibehållen noggrannhet och ungefär lika lång initialiseringstid som för 10 km avstånd till referensstationen.

2.2 Syfte med SKAN-RTK - 2

Projektet SKAN-RTK - 2 har etablerat ett nät av fasta referensstationer i Skåne för produktionstest av nätverks-RTK. Under den tid projektet pågick (14 mars 2002 - 31 december 2003) har intressenterna i projektet utfört två typer av mätningar:

- ◆ Produktionsmätningar med nätverks-RTK.
- ◆ Testmätningar med nätverks-RTK 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 SKAN-RTK -2 har under ungefär samma tidsperiod pågått i västra Sverige (Väst-RTK) och i en utvidgad Mälardalsregion (Position Stockholm-Mälaren - 2). Slutrapporter från dessa projekt finns likaledes utgivna i Lantmäteriets rapportserie Geodesi och geografiska informationssystem (Kempe, 2004) och (Wiklund, 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.

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 SKAN-RTK - 2 (Lantmäteriet, 2002).

3 Projektorganisation

Projektet har styrts av en styrgrupp, som bestått av sammanlagt 13 representanter från kommuner, statliga verk, konsulter och Lantmäteriet/SWEPOS. Vid styrgruppsmötena har Lars Ollvik fungerat som sammankallande och ordförande. Vid behov adjungerades ytterligare personer till styrgruppen. Representanterna från kommungruppen fördelades på stora, medelstora och små kommuner. Styrgruppen har sammanträtt vid behov, dock minst en gång per kvartal. Den operativa verksamheten har letts av projektledaren Daniel Johansson från Lantmäteriets geodetiska utvecklingsenhet.

Var och en av projektets intressenter utsåg en eller två deltagare till denna projektgrupp som leddes av projektledaren. Projektledaren har sammankallat hela eller delar av projektgruppen vid behov. Projektgruppen och styrgruppen samlades till ett kick-offmöte i början av projektet. Dessutom samlades man till ett användarseminarium för utbyte av erfarenheter i mitten av projektet samt ett användarseminarium i slutet av projektet.

3.1 Intressenter

Under hela eller delar av projekttiden har 43 intressenter deltagit.

Banverket	Lunds Kommun
Bjuvs Kommun	Malmö Kommun
Bromölla Kommun	Markaryds Kommun
ComCarta	Metria
Entek	Onsala Rymdobservatorium
Geodetica AB	Osby Kommun
Geosat AB	Perstorps Kommun
Geosurvey Mätteknik AB	Scandiakonsult, RST
Helsingborgs Kommun	Simrishamns Kommun
Hässleholms Kommun	Sjöbo Kommun
Höganäs Kommun	Skurups Kommun
Hörby Kommun	Svalövs Kommun
Höörs Kommun	Sölvesborgs Kommun
Klippans Kommun	Tyrens Infrakonsult AB
Kristianstad Kommun	Vägverket
Kävlinge Kommun	Åstorps Kommun
Laholms Kommun	Älmhults Kommun
Landskrona Kommun	Ängelholms Kommun
Lantmäterimyndigheterna i Skåne och Blekinge Län	Öresundskraft AB
	Örkelljunga Kommun
Lomma Kommun	Östra Göinge Kommun
Lunds Energi	

Tabell 1: Projektets intressenter.

3.2 Projektgrupp

Varje aktiv intressent har utsett en eller två personer som ingått i projektgruppen, sammanlagt har projektgruppen bestått av cirka 60 personer. Dessa har sedan fungerat som kontaktpersoner mellan projektledaren och alla användare. De har också haft en viktig uppgift när det gällt återkoppling till SWEPOS via funktionsrapporter.

- ◆ **Planeringsfas** (14 mars till 30 april 2002)
Genomgång av grundförutsättningarna, planering av aktiviteter under projektet, tidsplanering och val av platser för referensstationerna.
- ◆ **Implementerings- och verifieringsfas** (1 maj till 30 juni 2002)
Etablering av antennfundament och installation av stationsutrustning. En tvådagars grundutbildning i GPS erbjöds de nya GPS-användarna i projektet. Genomgång av systemfunktioner och verifiering av intressenternas fältutrustning gjordes vid de så kallade uppstartsdagarna. Projektledaren planerade testmätningarna och utarbetade rutiner för dessa mätningar.
- ◆ **Produktionsmättningsfas och studier av funktion och kostnads/nyttoeffekt för nätverks-RTK** (1 juli 2002 till 1 juli 2003)
Tjänsten var disponibel för obegränsad produktionsmätning. Testmätningar utfördes i genomsnitt 1-2 dagar per månad på kända punkter enligt fastställda rutiner (se kap. 8.1). I de fall intressenten föredrog koncentrerade testmättningsperioder kunde mätningarna koncentreras till 2 eller 3 perioder under projektåret.
- ◆ **Beräknings- och utvärderingsfas** (löpande under projekttiden)
Utvärdering av de genomförda mätningarna för studier av funktion och kostnads/nyttoanalys för nätverks-RTK gjordes löpande under projekttiden. Erfarenheterna från produktionsmätningarna i projektet har också följts upp löpande under projekttiden.
- ◆ **Sammanställning av resultat**
Delresultat och erfarenheter har också sammanställts löpande under projekttiden och delgivits projektdeltagarna. Särskilda avrapporteringar har skett i samband med användarseminarierna i mitten av projekttiden och vid projektets slut.

Eftersom projekttiden förlängdes till 31 december 2003 förlängdes även produktionsmättningsfasen till detta datum. Under den förlängda projekttiden fanns dock inget krav på testmätningar av intressenterna, även om vissa ändå bidrog med sådana. På grund av denna avvikelse från tidplanen sammanställdes även slutrapporten senare än vad som var tänkt från början.

3.5 Finansiering

Kostnaderna för Lantmäteriets geodetiska utvecklingsenhet täcktes inom ramen för SWEPOS-projektet. Intressenterna och Onsala Rymdobservatorium stod för sin egen arbetstid och reskostnader.

Lantmäteriet bekostade data från tre befintliga SWEPOS-stationer samt server på SWEPOS driftsledningscentral och den grundlicens för nätverks-RTK-programvaran GPSNet som användes.

Övervakning av de nyetablerade projektstationerna finansierades via den ordinarie SWEPOS-driften.

Kommunikationskostnad inklusive kapitalkostnad uppskattades till 150 000 kr per år och projektstation. Drifts- och kapitalkostnaderna för de 7 projektstationerna utöver kostnaderna för de tre befintliga SWEPOS-stationerna i projektets föreslagna nätutformning uppskattades till 1 050 000 kr/år plus 1 300 kr/år i anslutningsavgift för varje GSM-linje till SWEPOS-centralen för uppkoppling till nätverks-RTK-servern.

Under projekttiden har Lantmäteriet valt att dubblera viss utrustning på projektstationerna. Bland annat har stationerna försetts med dubbla GPS-mottagare och datorer. Detta gjordes för att öka systemets driftsäkerhet. Åtgärden har inneburit ökade kapitalkostnader, dessa kostnader har dock inte belastat projektets intressenter.

För projektkoordinering och projektledning samt studier av funktion och kostnads/nyttoeffekten av Nätverks-RTK, utvärdering av mätningar på kända punkter samt sammanställning av del- och slutrapporter krävdes en arbetsinsats på 15mv.

Projektkostnaderna för ett år täcktes av intressentinsatser enligt följande förslag:

- ◆ Kommuner med mindre än 10 000 invånare, 10 000 kr/år
- ◆ Kommuner med 10 – 50 000 invånare, 25 000 kr/år
- ◆ Kommuner med mer än 50 000 invånare, 50 000 kr/år
- ◆ Kommuner som ej har egen mättningsverksamhet, 10 000 kr
- ◆ Kommunalt bolag i kommun som är intressent, 10 000 kr
- ◆ 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

För att projektet skulle kunna genomföras krävdes ett tillräckligt stort antal intressenter. SWEPOS förbehöll sig rätten att ta ut intressentavgifter för de intressenter som tillkom efter projektstarten som bidrag till täckningen av de extra kostnader som uppstod i SWEPOS-driften. De intressenter som gått in i projektet hade inga åtaganden efter det projektet slutförts. Målsättningen har varit att intressenterna efter projektåret skulle kunna erbjudas en nätverks-RTK-tjänst till en motsvarande prisnivå.

4 Infrastruktur

4.1 SWEPOS®

SWEPOS® är det 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 stationen 48 timmar. Elförsörjning och inomhusklimat på stationerna kontrolleras och styrs dygnet runt från driftledningscentralen, liksom GPS-mottagarna och annan utrustning som t.ex. backupdatorer.



Figur 3: T.v. karta över de 21 fullständiga SWEPOS-stationerna



Figur 4: Hässleholm är en av de fullständiga SWEPOS-stationerna. Bilden är tagen i samband med en av de regelbundna serviceresorna.

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 ca 200 km, vilket är för långt för användning vid nätverks-RTK. SWEPOS-nätet har därför förtätats med förenklade stationer i de aktuella regionerna.

En förenklad SWEPOS-station har GPS-antennen monterad på ett tak, ofta en kommunal byggnad. Att antennen är placerad på en byggnad innebär att stationens läge inte är fullt lika stabilt som för 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 är 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 en fullständig station.



Figur 5: T.v. Stationen i Skillinge är en av de förenklade projektstationerna i SKAN-RTK – 2. T.h. Stationsutrustningen är samlad i ett datorrack, likadant på alla stationer, vilket underlättar service.

Vid rekognosceringen för placeringen av de nya projektstationerna hade SWEPOS god hjälp av representanter från de kommuner där stationerna var tänkta att ligga. Dessa personer gjorde en första rekognoscering utifrån SWEPOS instruktioner 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 punktförbindelser (dedikerade förbindelser där användaren är ensam om ledningen och har garanterad bandbredd – 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 att 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.

4.3 Nätutformning

Projektets nät av fasta referensstationer omfattade de befintliga SWEPOS-stationerna i Nyhamnsläge, Hässleholm, Falsterbo samt projektstationerna, Knäred, Häradsbäck, Hällevik, Skillinge, Vollsjö, Smygehamn och Löddeköpinge.

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

Figur 6: Nätutformning för SKAN-RTK – 2. Fyrkanter representerar befintliga SWEPOS-stationer. Cirklar symboliserar projektstationer, etablerade inför SKAN-RTK – 2.



5 Nätverks-RTK-tekniken

5.1 Hur fungerar det?

Då man nyttjar RTK-tekniken för att mäta GPS med hög noggrannhet uppstår problem relaterade till jordens atmosfär. Atmosfären kan uppdelas i jonosfär (50-1000 km över markytan) och troposfär (0-10 km över markytan). Då satellitsignalen passerar genom jordens atmosfär fördröjs signalen vilket påverkar mätningens prestanda. Detta yttrar sig ibland genom dålig positionskvalitet, svårighet att lösa periodobekanta m.m. Dessa problem uppstår oftast då avståndet mellan referensstationen och den rörliga mottagaren (rovern) är stort (>10Km) eller då jonosfärsaktiviteten är hög. Skälet är att jonosfärens och troposfärens påverkan på satellitsignalerna kan vara lokala och att atmosfärens egenskaper varierar över tiden. Vid ett stort avstånd mellan referensstation och rover ökar därmed risken för att atmosfärsförhållandena är alltför olika för att RTK-tekniken skall fungera tillfredsställande.

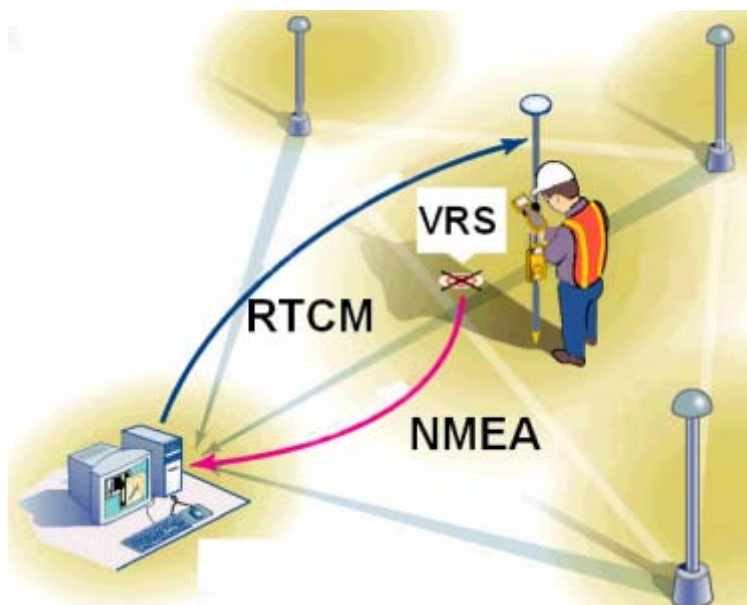
För att minska atmosfärens negativa inverkan på RTK-mätningarna använder man vid nätverks-RTK data från flera referensstationer. Data från dessa referensstationer är sammankopplade i ett nätverk och används för att generera en modell som beskriver hur atmosfärens egenskaper varierar över det område som täcks av referensstationerna. Modellen genereras av programvaran GPSNet. Det är också GPSNet som levererar "skräddarsydda" korrektioner till användarna av nätverks-RTK. Tekniken med skräddarsydda korrektioner från en nätverks-RTK-programvara brukar kallas "virtuella referens stationer" eller "VRS". Precis som namnet antyder får användarna inte korrektionsdata från en verklig/fysisk referensstation utan från en matematiskt konstruerad sådan.

I praktiken fungerar det så att en användare av nätverks-RTK, vid uppkoppling, rapporterar in sin position till den dator som genererar atmosfärsmodellen (GPSNet). Detta sker på ett i hög grad automatiserat sätt och innebär normalt endast ett par knapptryckningar på fältdatorn. Positionen rapporteras in i ett standardiserat format (NMEA, GGA).

När GPSNet tagit emot uppgiften om var användaren befinner sig väljer den ut korrektionsdata från den närmsta fasta/fysiska referensstationen. Dessa korrektionsdata förbättras sedan genom att en interpolation i atmosfärsmodellen görs varpå "skräddarsydda" korrektionsdata som är justerade med avseende på jonosfärens inverkan på användarens position skapas. Dessa korrektioner sänds sedan till användaren i det standardiserade formatet RTCM.

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

Figur 7: Principskiss för nätverks-RTK med "VRS"



5.2 Nätverks-RTK-programvaran

Den nätverks-RTK-programvara som använts i projektet är GPSNet från Trimble. Vid inledningen av projektet i juli 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, från tre till sex. Det innebär att användarna påverkas mindre när 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 p.g.a. bristande hantering av de mottagartyper som används på referensstationerna i systerprojektet 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 är installerat på en PC med operativsystemet Windows NT 4. PC:n är placerad i SWEPOS driftledningscentral i Gävle

För användarnas kommunikation med nätverks-RTK-programvaran via GSM har fem ingående ISDN-multiledningar installerats.

Därifrån kopplas 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 (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.

6 Aktiviteter i projektet

6.1 Kick-offträff

Projektet inleddes med en kick-offträff den 13 mars 2002 på F5 Airport, Ljungbyhed. Träffen lockade cirka 65 deltagare från kommuner, konsulter, statliga verk och myndigheter.

Deltagarna fick en beskrivning om bakgrunden till projektet samt dess mål och syfte. Projektledaren presenterade också den preliminära projektbeskrivningen och gick i genom förutsättningarna för deltagande i projektet. Träffen avslutades med en diskussions- och frågestund.

Vid detta tillfälle utsågs också styrgruppens representanter

6.2 Grundläggande GPS-utbildning

För de deltagare i projektet som var nya GPS-användare erbjöd Lantmäteriet en kostnadsfri tvådagars grundutbildning i GPS. Varje sådan intressent hade möjlighet att anmäla maximalt två personer kostnadsfritt till utbildningen. De intressenter som önskade anmäla fler än två personer till kursen erbjöds detta till ett rabatterat pris.

Utbildningsdagarna arrangerades i Klippan den 3-6 juni 2002 (två kurstillfällen). Under dessa dagar erhöll 43 personer den grundläggande GPS-utbildningen. Kursledare var Daniel Johansson, Andreas Engfeldt och Christina Kempe, alla från Lantmäteriets geodetiska utvecklingsenhet.

Kursen innehöll såväl teoretiska som praktiska moment. Deltagarna torde ha fått goda översikt-kunskaper om GPS-tekniken samt referens- och koordinatsystem. I utbildningens fokus fanns hela tiden nätverks-RTK-tekniken. Det var också nätverks-RTK som dominerade de praktiska övningarna.

Vid respektive kurstillfälles slut gjordes en utvärdering. Generellt sett var deltagarna nöjda med kursen. Man tyckte att kursinnehållet var relevant och att kursen var lagom lång. Dessutom tyckte man att det var en bra balans mellan teori och praktik. De kritiska synpunkterna var till exempel att kurslokalen var varm och dåligt ventilerad samt att man ville prova på fler fabrikat av GPS-utrustning vid fältövningarna.

6.3 Uppstartsdagar

För att minska risken för problem hos intressenterna anordnades uppstartsdagar i samband med projektstarten. Vid dessa deltog representanter ur projektgruppen, personal från Lantmäteriets geodetiska utvecklingsenhet samt leverantörer av GPS-utrustning. Uppstartsdagarna anordnades fabrikatsvis och syftade bland annat till att hjälpa användarna med nödvändiga inställningar och transformationssamband. Intressenternas GPS-utrustningar provades praktiskt och deras funktion verifierades. Eventuella oklarheter beträffande intressenternas testmätningar redades också ut. Dessa träffar bidrog också till en samhörighetskänsla mellan projektgrupp, leverantörer och personal från Lantmäteriet.

Uppstartsdagarna genomfördes enligt följande:

- ◆ Leica - Klippan, den 11 juni 2002
- ◆ Trimble / Geotracer - Klippan, den 12 juni 2002
- ◆ Topcon / Javad - Klippan, den 13 juni 2002
- ◆ Sokkia / Ashtech / Thales - Helsingborg, den 28 juni 2002

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 med låneutrustning i projektet är:

- ◆ Cartesia Informationsteknik AB [GPS-mottagare]
- ◆ Leica Geosystems AB [GPS-mottagare]
- ◆ Topcon Scandinavia AB [GPS-mottagare]
- ◆ Geograf Sverige AB [GPS-mottagare]
- ◆ 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 Användarseminarier

Inom ramen för projektet har två användarseminarier genomförts. Vid båda tillfällena har seminarierna ägt rum i Hässleholm. Syftet med seminarierna har varit att ge intressenterna möjlighet att tillsammans diskutera funktion, eventuella problem samt för- och nackdelar med nätverks-RTK. Leverantörerna av GPS-utrustning och personal från Lantmäteriet har också deltagit för att besvara frågor från intressenterna. Det har också getts möjlighet att framföra önskemål om förbättringar.

6.5.1 Användarseminariet den 6 maj 2003

Det första användarseminariet i Hässleholm lockade cirka 70 deltagare. Under dagen gavs tillfälle att utbyta erfarenheter med varandra, ta del av resultatet från testmätningarna samt lyssna till flera intressanta föredrag om hur SKAN-RTK - 2 används i praktiken. Dessutom kunde vi lyssna till Jan Johansson från Onsala Rymdobservatorium när han berättade om sina funderingar kring nätverks-RTK och sina visioner om satellitpositionering framtiden.

6.5.2 Användarseminariet den 11 dec 2003

Även projektets andra användarseminarium anordnades på T4 i Hässleholm. Seminariet hade omkring 90 deltagare, däribland även intresserade representanter från konsultföretag och kommuner som inte tidigare deltagit i projektet. Vid denna träff hade fokus satts på referenssystem, transformationer och höjdmätning kopplat till GPS. Nätverks-RTK-teknikens fördelar och utmaningar framkom genom olika presentationer under dagen. Deltagarna fick också möjlighet att praktiskt prova olika moment med lokal inpassning i fält.

7 Användningen av nätverks-RTK i projektet

7.1 Funktionsrapporter

Under projekttiden uppmanades användarna att kontinuerligt lämna in funktionsrapporter till projektledaren. Rapporteringen har skett via fördefinierade mallar. På rapportmallarna har användaren lämnat uppgifter om vilken typ av mätjobb som utförts, tidpunkten samt vilken utrustning som använts. Användarna har också ombetts att gradera hur bra nätverks-RTK-tekniken har fungerat vid aktuellt jobb. Dessutom har en grov uppskattning gjorts avseende antalet inmätta punkter med nätverks-RTK respektive andra metoder såsom traditionell RTK och/eller totalstation. Det har också funnits plats på blanketten för användarens kommentarer och dennes uppfattning om trolig orsak till bra eller dålig funktion vid mättillfället.

Denna rapportering har varit ett mycket viktigt verktyg för att kunna upptäcka eventuella problem med tekniken. I början av projekttiden gav användargränssnittet för GPSNet brisfällig information om funktionen på användarsidan. Under denna period var användarrapporterna tillsammans med användarnas telefonsamtal i stort sett den enda återkoppling beträffande systemets funktion till operatörerna.

Under projekttiden har cirka 75 funktionsrapporter lämnats in.

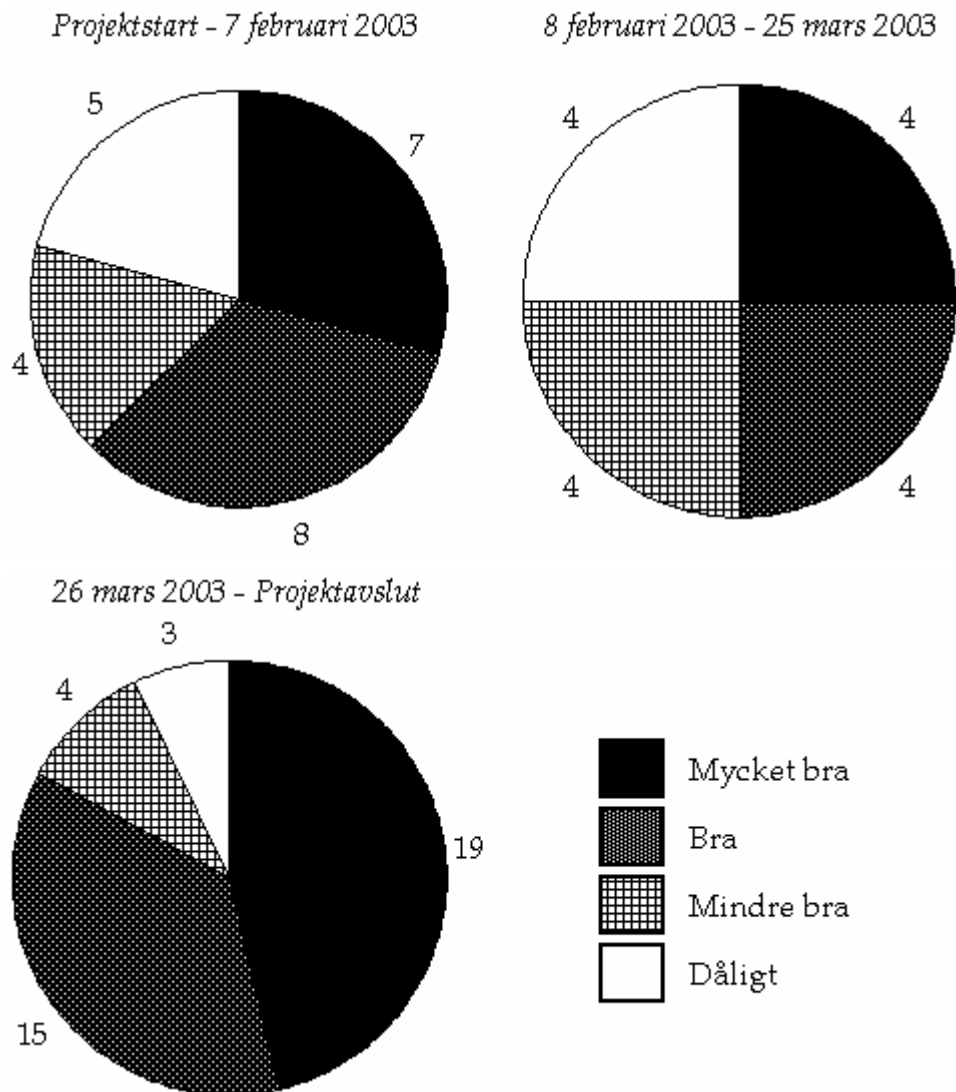
När det gäller förhållandet mellan punkter som rapporterats inmätta med nätverks-RTK respektive annan teknik är förhållandet enligt inkomna funktionsrapporter cirka 4:1. Drygt 8000 punkter har rapporterats inmätta med nätverks-RTK mot knappt 2000 med traditionell RTK eller totalstation.

Den graderade redovisningen av teknikens funktion har indelats i tre perioder. Detta har gjorts eftersom GPSNet har uppgraderats vid dessa tillfällen vilket medfört stora förändringar i funktionalitet (se kap. 5.2)

Bland användarnas kommentarer i funktionsrapporterna vid de tillfällen nätverks-RTK fungerat mindre bra eller dåligt märks en del återkommande uppgifter t.ex. – för få satelliter, – dålig GSM-kontakt, – serveravbrott och – dålig positionskvalitet. I flera fall har den dåliga funktionen helt säkert berott på sådant som har med nätverks-RTK-programvaran GPSNet att göra, eller kanske på kommunikations- eller serverproblem. I vissa fall har problemen berott på att mjukvaran i användarens GPS-mottagare inte hanterat inkommande korrektioner på ett optimalt sätt. Andra gånger kanske användaren, genom att göra en satellitplanering, kunnat undvika en del problem.

Sammantaget är användarna nöjda eller till och med mycket nöjda med hur tekniken fungerat sedan den 25:e mars 2003, d.v.s. under större delen av projektet.

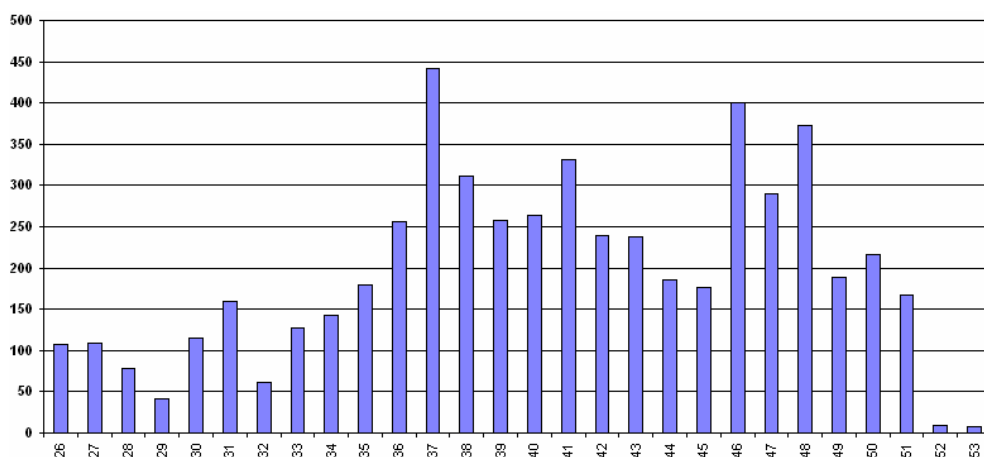
Figur 8: Grafisk sammanställning av användarnas uppfattning om teknikens funktionalitet.



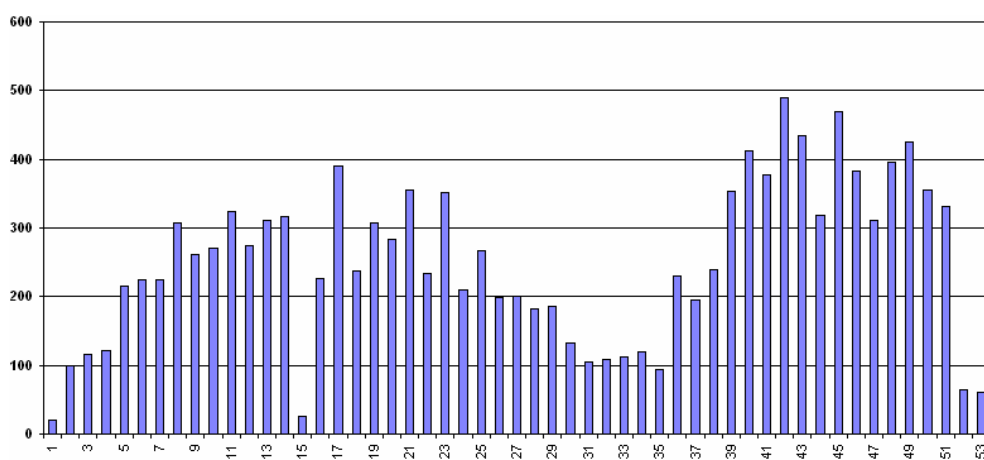
7.2 Användarstatistik

För att ge både Lantmäteriet och intressenterna själva möjlighet att följa upp användningen av nätverks-RTK-tekniken i projektet har en dator på SWEPOS-driftledningscentral genererat användarstatistik. Användarstatistiken finns tillgänglig från och med vecka 26 2002. Datorn som genererat statistiken har registrerat tidpunkt för anslutning och nedkoppling samt knutit denna information till en viss användare genom att använda nummerpresentation som identifierare.

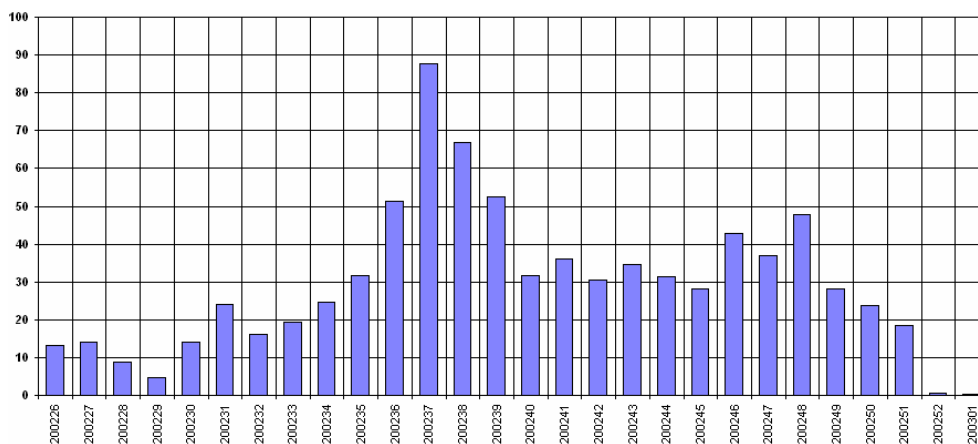
Statistiken har sammanställts av SWEPOS driftledningscentral och publicerats veckovis på <http://www.swepos.com>. Den generella delen av statistiken har varit allmänt tillgänglig medan den del som redovisar användningen på intressentnivå varit lösenordsskyddad. Dessutom har intressenterna haft möjlighet att begära mer detaljerad information om den egna användningen, t.ex. uppkopplad tid per telefonnummer.



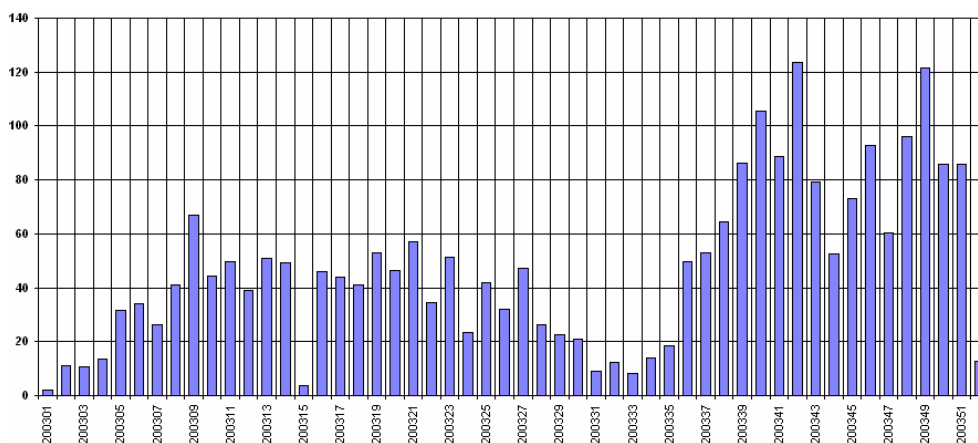
Figur 9: Antal uppkopplingar per vecka under 2002 i projektet SKAN-RTK – 2 (fr.o.m. vecka 26).



Figur 10: Antal uppkopplingar per vecka under 2003 i projektet SKAN-RTK – 2.



Figur 11: Uppkopplad tid (timmar per vecka) under 2002 i projektet SKAN-RTK - 2 (fr.o.m. vecka 26).



Figur 12: Uppkopplad tid (timmar per vecka) under 2003 i projektet SKAN-RTK - 2.

Under projektets första veckor var användningen ganska blygsam. Efter semestermånaderna juli och augusti 2002 tog användningen fart för att sedan under hösten 2002 ligga på omkring 40 timmar per vecka.

Något förvånade konstaterade de inblandade i projektet att den effektiva tiden man verkligen mäter vid fältarbete var mindre än man hittills föreställt sig. Detta i sig är väl inte så konstigt eftersom fältarbetet i sig innehåller många fler moment än bara själva mätningen. Detta antagande visade sig senare emellertid inte vara helt korrekt.

Genom samverkan mellan personal på SWEPOS-driftledningscentral och en av nätverks-RTK-användarna kunde man konstatera att datorn som registrerar användarnas inkommande samtal missade en del av dessa. Dessa brister åtgärdades i två steg under vecka 35 respektive vecka 38 2003.

Dessa åtgärder i kombination med ökad driftssäkerhet och användarerfarenhet har medfört att användningen under senare delen av 2003 legat på närmare 100 timmar per vecka.

Den till synes låga användningen under vecka 15 2003 har sin förklaring i att det program som används för att registrera användningen var ur funktion större delen av veckan.

8 Testmätningar

För att göra det möjligt att, genom praktiska tester, få en uppfattning om vilken prestanda man kan förvänta sig vid mätning med nätverks-RTK uppmanades intressenterna i projektet att testmäta enligt ett standardiserat förfarande (se kap. 8.1). Ur dessa testmätningar har sedan diverse statistiska mått beräknats. Målsättningen är att de statistiska måtten sammantaget skall beskriva det som en användare upplever som teknikens prestanda. För detta ändamål har projektets intressenter tillsammans levererat närmare 800 testmätningar för analys till projektledaren.

Några grafiska och numeriska exempel på dessa statistiska mått redovisas i kap. 8.2.

Tanken var också att en jämförande studie som visar skillnaderna (eller likheterna) mellan RTK med egen, fast, referensstation och nätverks-RTK skulle genomföras i projektet. Tyvärr har ingen sådan studie kunnat göras inom ramen för projektet då ingen intressent kunnat tillhandahålla sådana testmätningar i tillräcklig omfattning. Däremot har andra tester gjorts med samma eller liknande syfte [Alm och Munsin (2003), Jonsson och Nordling (2003) och Kempe (2004)].

8.1 Genomförande av testmätningar

Vid analysen av intressenternas testmätningar har de enskilda mätningarnas avvikelse beräknats i förhållande till punkter vars koordinater betraktats som "kända". Dessa "kända" punkter är punkter som är mycket noggrant bestämda i det nationella referenssystemet SWEREF 99 med hjälp av statisk GPS-mätning under lång tid. Punkterna som använts är både s.k. SWEREF-punkter och RIX 95-punkter. Dessa punkter har alltså betraktats som ett "felfritt facit" vid de statistiska analyserna.

För att i möjligaste mån, undvika att tillföra fel som inte är direkt kopplade till nätverks-RTK-tekniken har ett antal åtgärder vidtagits vid testmätningarna. Bland annat så har alla analyser gjorts i det nationella referenssystemet SWEREF 99 för att undvika felaktigheter orsakade av bristfälliga transformations samband. Dessutom har intressenterna uppmanats att använda stativ med optiskt lod vid testmätningarna för att minimera centreringsfelen.

För att öka testmätningarnas användbarhet för olika forskargrupper har intressenterna också uppmanats att lagra råa observationsdata vid testtillfällena.

De punkter som använts för testmätningarna har varit fördelade så att avståndet till närmsta fasta referensstation legat i intervallet 1 till 35 kilometer. Fördelningen av punkterna gjordes av projektledaren och varje testmätande intressent försågs med 2-4 punkter inom sitt arbetsområde. Syftet med varierande avstånd till närmsta fasta referensstation var att erhålla statistiska mått på ett eventuellt avståndsberoende fel hos nätverks-RTK-tekniken.

För att minska påverkan av de felkällor som är kopplade till tidpunkten för mätningen (t.ex. satellitgeometri och jonosfärsaktivitet) har testmätningarna genomförts som s.k. mätserier som sedan upprepats vid flera tillfällen. Varje mätserie har utgjorts av 10 mätningar utan medeltalsbildning. Mätningarna har varit oberoende i den meningen att en ny lösning av periodobekanta har erhållits mellan varje registrering. Dessa mätserier har sedan upprepats flera gånger, antingen vid en annan tidpunkt eller på en annan dag.

Som ett minimum har följande uppgifter registrerats vid varje mätning:

- ◆ Punktidentitet
- ◆ Latitud / longitud / höjd över ellipsoiden (i SWEREF 99)
- ◆ Antal satelliter / PDOP
- ◆ Tidpunkt och datum
- ◆ Tidsåtgång för lösning av periodobekanta ("tid till fixlösning")

I vissa fall har även andra kompletterande uppgifter registrerats vid mättillfället t.ex. utrustningens interna kvalitetsangivelse, GSM-länkens kvalitet och övriga anmärkningar.

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 utrustningens interna kvalitetstal vid fixlösning.
4. Notera antal satelliter på rover/referensstation/gemensamt vid fix.
5. Notera PDOP vid fix.
6. Notera kvalitetstal för GSM-länk och ålder på referensstationsdata.

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. Notera eventuella anmärkningar.

9. Upprepa sekvens 1 - 8.

8.2 Resultat

8.2.1 Alla mätningar i projektet

Av de testmätningar som rapporterats in till projektledaren (785 st.) har två mätningar betraktats som "outliers" eller grova fel. De båda mätningarna avviker mer än 200 mm i plan och/eller höjd från sant värde. Avvikelserna kan inte motiveras genom höga DOP-värden, dåliga kvalitetstal i mottagaren eller andra kända problem. Däremot härrör åtminstone den ena av dessa mätningar från en dag då jonosfärsaktiviteten varit mycket hög. De två grova felen ingår inte i efterföljande statistik.

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 de två grova felen är bortsorterade, samt längsta tid till fixlösning för 67% respektive 95% av alla mätningar.

	$x = 67\%$	$x = 95\%$
Största avvikelse i plan för x % av alla mätningar [mm]	19	35
Största avvikelse i höjd för x % av alla mätningar [mm]	25	51
Längsta tid till fixlösning för x % av alla mätningar [sek]	17	57

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

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

Standardavvikelse anger spridningen kring mätningarnas medelvärde eller tyngdpunkt:

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

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

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

Medelavvikelse	Lat	0,5
	Long	0,6
	Plan	0,7
	Höjd	3,9
Standardavvikelse	Lat	15,5
	Long	12,4
	Plan	19,8
	Höjd	26,2
RMS	Lat	15,5
	Long	12,4
	Plan	19,8
	Höjd	26,5

8.2.2 Avstånd till närmaste referensstation

För att undersöka nätverks-RTK-teknikens avståndsberoende har testmätningarnas avvikelser och tid till fixlösning redovisats som en funktion av avståndet till närmsta fasta referensstation i bilaga 2.

I diagrammen har sedan en linjär trendlinje infogats. Denna ger en grafisk redovisning av avståndsberoendet och visar positionsavvikelsen (eller tiden till fixlösning) för varje avstånd. Trendlinjens lutning är mycket svagt positiv i alla tre diagram. Detta innebär att nätverks-RTK-teknikens avståndsberoende är mycket litet. Avvikelsen i plan är 13 mm + 0,1 mm/km och i höjd är den 14 mm + 0,3 mm/km. Tiden till fixlösning är 13 sekunder + 0,3 sekunder/km.

Man kan dock se en ökad spridning i såväl planavvikelse och höjdavvikelse som tid till fixlösning när avståndet till den fysiska referensstationen ökar.

8.2.3 Antal satelliter

För att erhålla sin position i tre dimensioner vid mätning med RTK krävs minst 4, med referensstationen, gemensamma satelliter. För att kunna lösa periodobekanta "On The Fly" (OTF), det vill säga medan rovern är i rörelse, krävs minst fem gemensamma satelliter mellan rover och referensstation. Som de flesta med vana av RTK-mätning upptäckt går det dock normalt snabbare att erhålla fixlösning ju fler satelliter man har tillgång till. Även mätningens noggrannhet och tillförlitlighet i plan och höjd borde öka med antalet gemensamma satelliter eftersom antalet överbestämningar i positionsbestämningen då ökar.

I diagrammen i bilaga 3 redovisas avvikelse i plan och höjd samt tid till fixlösning som funktion av antalet gemensamma satelliter. I diagrammen har sedan en linjär trendlinje infogats. Denna ger en grafisk redovisning av medelavvikelsen (eller medeltiden till fixlösning) för varje antal gemensamma satelliter.

Trendlinjens lutning i de diagram som redovisar avvikelse i plan och höjd är mycket svagt negativ. Detta innebär att ett större antal gemensamma satelliter normalt ger ett bättre resultat i positionsbestämningen, men sambandet är svagt.

I diagrammet som redovisar tiden till fix som en funktion av antalet gemensamma satelliter lutar däremot trendlinjen ganska kraftigt negativt. Detta visar att tidsåtgången för att lösa periodobekanta signifikant minskar då antalet gemensamma satelliter ökar.

8.2.4 GPS-mottagarens kvalitetstal

De flesta fältdatorer / GPS-utrustningar kan lagra och presentera ett internt kvalitetstal för varje mätning. Detta kvalitetstal kan fungera som en vägledande information för den som mäter samt tjäna som en kvalitetsmärkning i mätningens resultatfil. Vari mottagarens interna kvalitetstal har sin grund skiljer sig mellan olika fabrikat men man kan anta att de flesta tar hänsyn till parametrar såsom DOP, antal gemensamma satelliter, avstånd till referensstation m.m. Under projektets gång har det också visat sig finnas betydande skillnader med avseende på internt kvalitetstal mellan olika firmwareversioner för samma fabrikat och modell av GPS-mottagare.

Det vore naturligtvis allvarligt om det interna kvalitetstalet var en "glädjemätare" som systematiskt indikerade en bättre kvalitet än vad som var det verkliga utfallet. Men samtidigt är det ju bra om det interna kvalitetstalet har stark verklighetsförankring eftersom annars

kan resultatet bli att den som mäter avstår från att registrera alltför ofta då denne låter sig vägledas av ett dåligt internt kvalitetstal.

I bilaga 4 redovisas avvikelser i plan, höjd och tre dimensioner som funktion av mottagarens interna kvalitetstal. Eftersom det lagrade interna kvalitetstalet för de ingående mätningarna i de flesta fall avser den tredimensionella kvaliteten är det sista diagrammet mest relevant. Om mottagarens interna kvalitetstal avbildat den verkliga avvikelserna på ett optimalt sätt skulle trendlinjen i det sista diagrammet lutat positivt 45° och passerat genom origo.

Som vi kan se lutar linjen positivt vilket visar att det finns en koppling mellan internt kvalitetstal och verklig avvikelse. Lutningen är dock långt mindre än 45° vilket indikerar att det interna kvalitetstalet generellt är "pessimistiskt" (uppges också av vissa tillverkare). Trendlinjen passerar heller inte genom origo vilket i detta fall gör att vid riktigt låga interna kvalitetstal tenderar dessa att ge en något optimistisk indikation på kvaliteten.

9 Diskussion och slutsatser

9.1 Diskussion

Nätverks-RTK-tekniken kan fortfarande betraktas som relativt ny. Flera av detta projekts intressenter hade tidigare erfarenhet av användning av nätverks-RTK genom projektet SKAN-RTK (Ollvik, 2001). Under denna period fanns en del brister i såväl nätverks-RTK-programvarans modellering som systemets driftssäkerhet. Vid tidpunkten för SKAN-RTK fanns heller inte tillgång till rover-enheter som var förberedda för nätverks-RTK och GSM-kommunikation. På marknaden fanns heller inga färdiga GSM-modem som kunde kopplas till rovern, i många fall blev lösningen därför ett otympligt "hemmabygge" som var allt annat än fältmässigt. Kortfattat var förutsättningarna vid denna tidpunkt inte de rätta för en omedelbar förlängning av projektet. Däremot har erfarenheterna från detta projekt varit viktiga i de efterföljande projekten.

Under perioden mellan SKAN-RTK och SKAN-RTK - 2 har intensiv utveckling av programvaror för nätverks-RTK bedrivits. Tillverkarna av rover-utrustning kan nu erbjuda "färdiga nätverks-RTK-lösningar" med lätt integrerbara GSM-moduler och bättre anpassad mjukvara i GPS-mottagarna.

Det är roligt att se att "pionjärerna" från projektet SKAN-RTK inte låtit sig nedslås av motgångarna i Skånes första nätverks-RTK-projekt utan att de med förnyade krafter deltagit i SKAN-RTK - 2.

Allteftersom utvecklingen gått framåt har man med nätverks-RTK kunnat mäta noggrannare, snabbare och enklare. Redan nu kan man konstatera att prestanda hos nätverks-RTK är i stort sett densamma som för enkelstations-RTK vid korta baslinjer och avsevärt bättre vid längre baslinjer. Genom intressenternas egna testmätningar i de svenska nätverks-RTK-projekten har vi kunnat följa och driva på utvecklingen av tekniken.

Utvecklingen har medfört att nätverks-RTK nu kan användas i nya tillämpningar där dess prestanda inte tidigare varit tillräcklig. Man kan nog t.ex. utgå ifrån att nätverks-RTK kommer att användas i maskinstyrningstillämpningar i större utsträckning framöver.

Ett problem för vissa tillämpningar av tekniken har hittills varit att GSM varit det enda alternativet för distribution av korrekationer. Detta gäller i synnerhet maskinstyrning i större skala då man har många rörliga enheter som samtidigt skall vara mer eller mindre konstant uppkopplade med GSM vilket blir kostsamt. Förutom att trafikkostnaderna för GSM framöver förutspås minska så hyser Lantmäteriet gott hopp om att kunna erbjuda alternativa distributionssätt. Förutsättningarna att kunna erbjuda alternativa distributionssätt ökar när standardformatet RTCM ver. 3.0 är klart. Denna standard medger distribution av nätverks-RTK-korrekationer med envägskommunikation, t.ex. via DARC-kanalen på FM-radionätet. Ett annat alternativ som torde vara intressant för större infrastrukturprojekt såsom vägbyggen är distribution via Internet till arbetsplatsområdet och sedan vidare distribution via UHF-radio till användarna.

Även nya satellitsystem och signaler kommer att bidra till ökade prestanda på några års sikt. Dessutom står vi sannolikt bättre rustade inför nästa jonosfärsmaximum (ca 2012) med fler frekvenser, fler satelliter, bättre signalbehandling och förbättrad modellering i nätverks-RTK-programvarorna.

9.2 Slutsatser

Denna slutrapport för projektet SKAN-RTK - 2 tillsammans med slutrapporterna från systerprojekten Väst-RTK (Kempe, 2004) och Position Stockholm-Mälaren - 2 (Wiklund, 2004) visar tydligt att nätverks-RTK är fullt användbar för t.ex. detaljmätning med GPS i produktion där noggrannhetskraven i plan är 35 mm (95% konfidensnivå). Även teknikens höjdnoggrannhet är fullt tillräcklig för de allra flesta detaljmätningstillämpningar 51 mm (95% konfidensnivå).

Man kan också konstatera nätverks-RTK-teknikens avståndsberoende är mycket litet.

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

Man kan också konstatera att tillverkarna av rover-enheter intresserat sig för tekniken och numera kan erbjuda lösningar anpassade för mätning med nätverks-RTK. De svenska leverantörerna av sådan utrustning har också aktivt bidragit till spridandet av kunskap om teknikens möjligheter genom sitt engagemang i projektet.

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

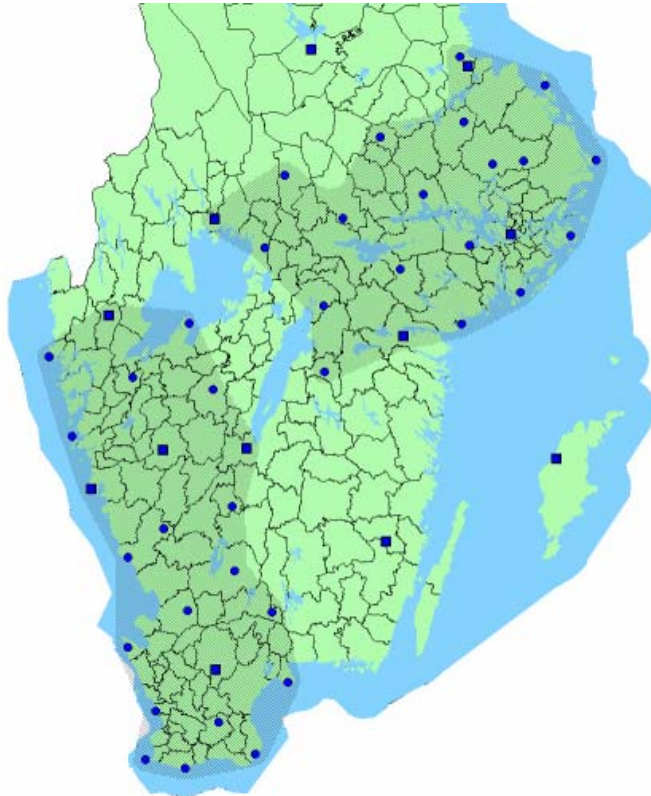
Genom SKAN-RTK - 2 har intressenterna i Skåne också fått ett nytt, effektivt verktyg som gör det möjligt att undersöka homogeniteten i de lokala/kommunala koordinatsystemen. Under vissa förutsättningar kan nätverks-RTK också användas för att mäta in passpunkter som i slutändan används för att ta fram ett direktsamband mellan SWEREF 99 och lokala eller kommunala system. När dessa transformationssamband väl är etablerade kan nätverks-RTK-tekniken nyttjas väldigt effektivt i många tillämpningar.

Förutom att SKAN-RTK - 2 resulterat i ett nätverk av fasta referensstationer i Skåne har också grunden lagts för ett nätverk på ett mer mänskligt plan. Ett nätverk mellan olika kommuner, konsulter, leverantörer och andra intressenter i projektet. Ett prestigelöst forum för kunskaps- och erfarenhetsutbyte som jag hoppas kommer att bestå även efter projektets slut.

10 Vad händer efter projektet?

10.1 SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

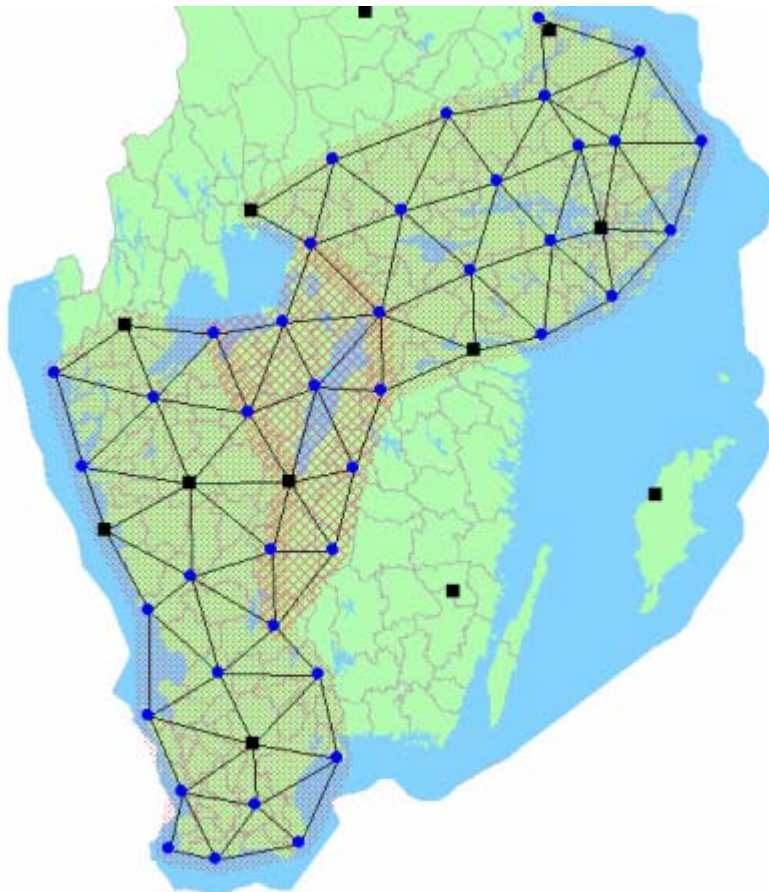
När projektet tillsammans med de två andra projekten Väst-RTK och Position Stockholm-Mälaren - 2 avslutades den 31 december 2003 övergick dessa den 1 januari 2004 till SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (Jonsson, 2003). För tillgång till tjänsten tas avgifter ut. Prislista och blanketter för anmälan av abonnemang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



Figur 13: Inledande täckningsområde för SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst den 1 januari 2004.

10.2 Etableringsprojekt

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

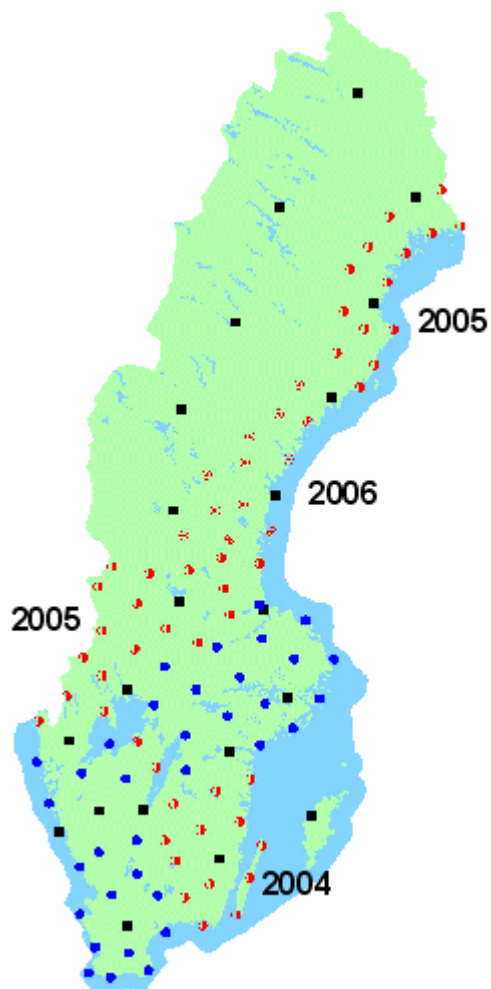


Figur 14: I och med starten av projekt Mitt-Ost-RTK (det mörkare markerade området kring Vättern) ökade också täckningsområdet för nätverks-RTK-tjänsten den 15 februari 2004. De två tidigare täckta områdena bands samman till ett enda.

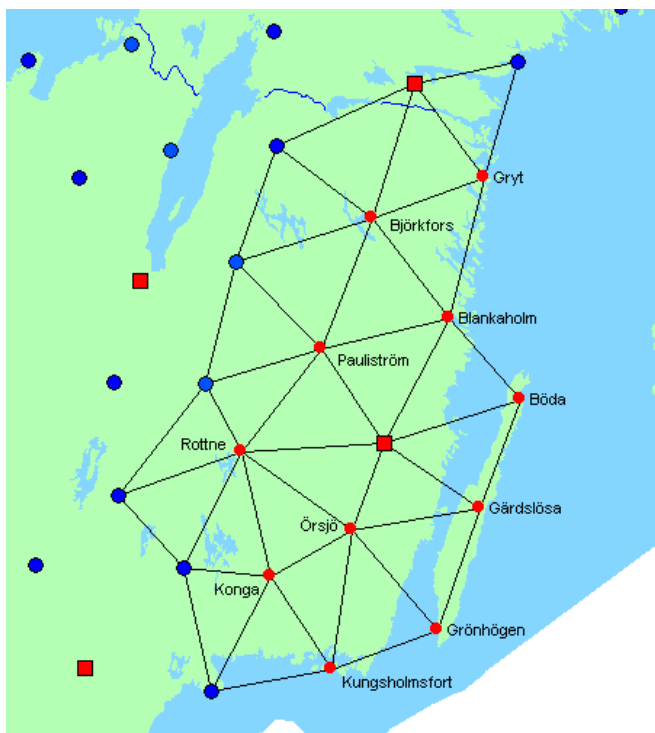
Vidare pågår förhandlingar med intressenter i sydöstra Götaland om att starta ett etableringsprojekt i området (Ost-RTK). Planerad driftstart för detta projekt är under sommaren 2004.

Planer finns även för projekt i Värmland /Dalarna (Position Mitt) och längs Norrlandskusten (Nordost-RTK och Mellan-RTK).

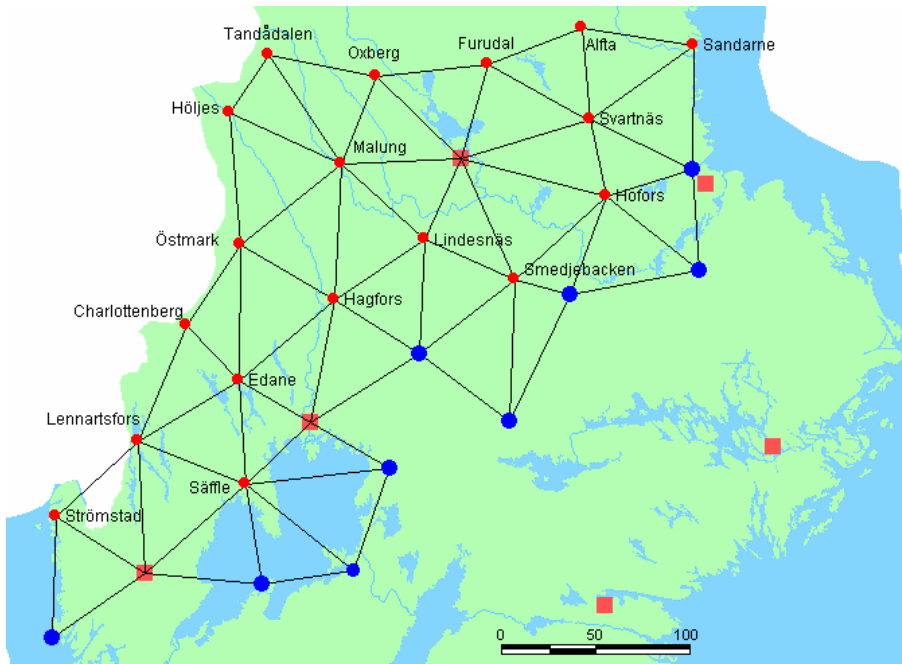
Förutsättningen för dessa etableringsprojekt är att finansieringen kan säkras genom intressentmedel och extern finansiering, t.ex. EU-medel.



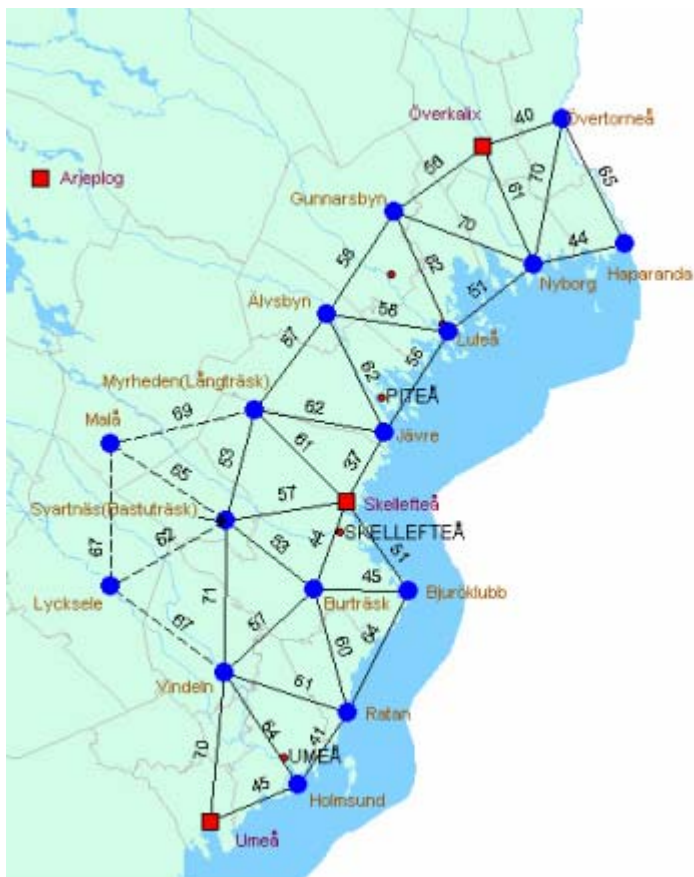
Figur 15: Översikt över planerade etableringsprojekt för nätverks-RTK-tjänsten. Årtalen i kartan indikerar planerad start för resp. projekt.



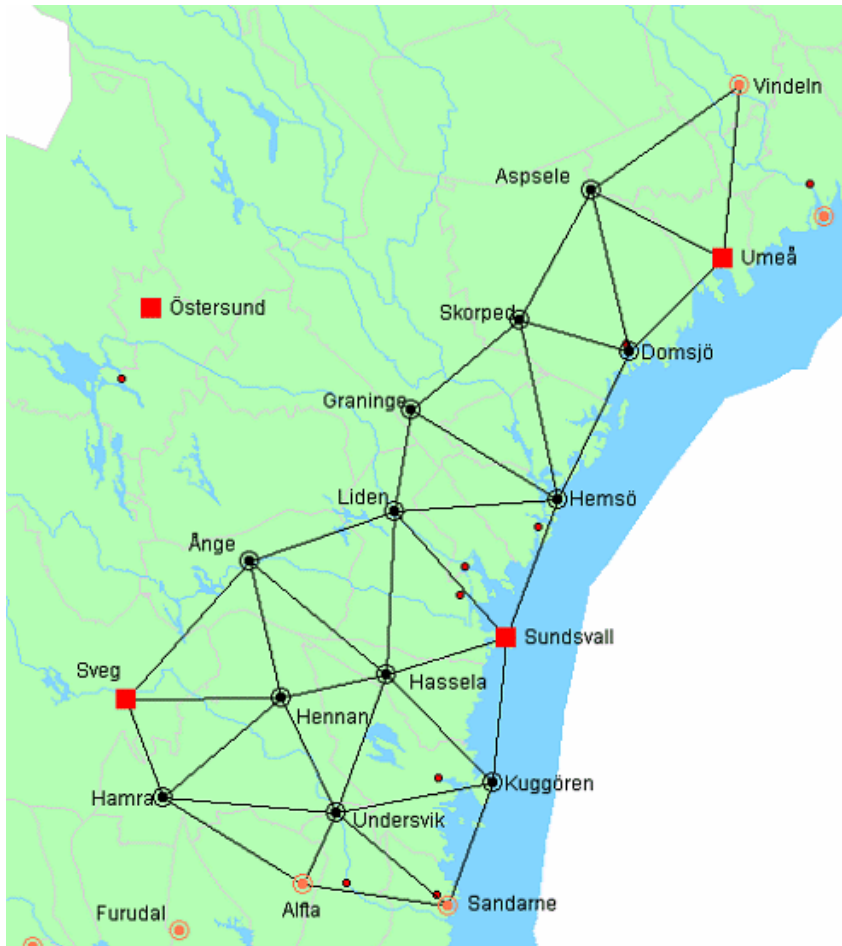
Figur 16: Nätkonfigurationen för det planerade Ost-RTK, som kommer att ansluta mot nätverks-RTK-tjänstens täckningsområde.



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

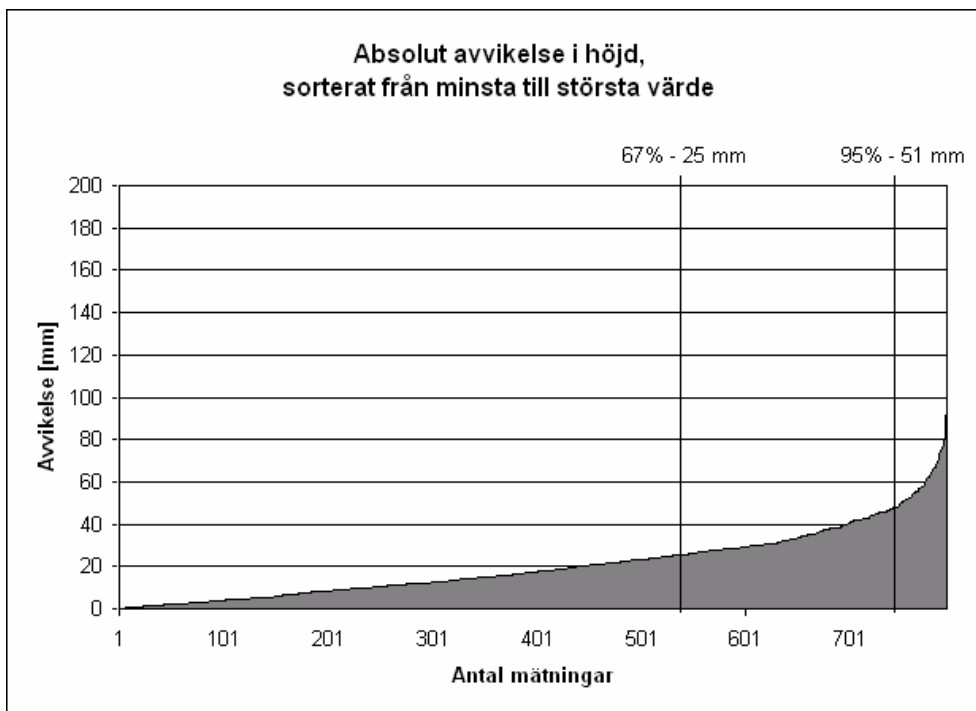
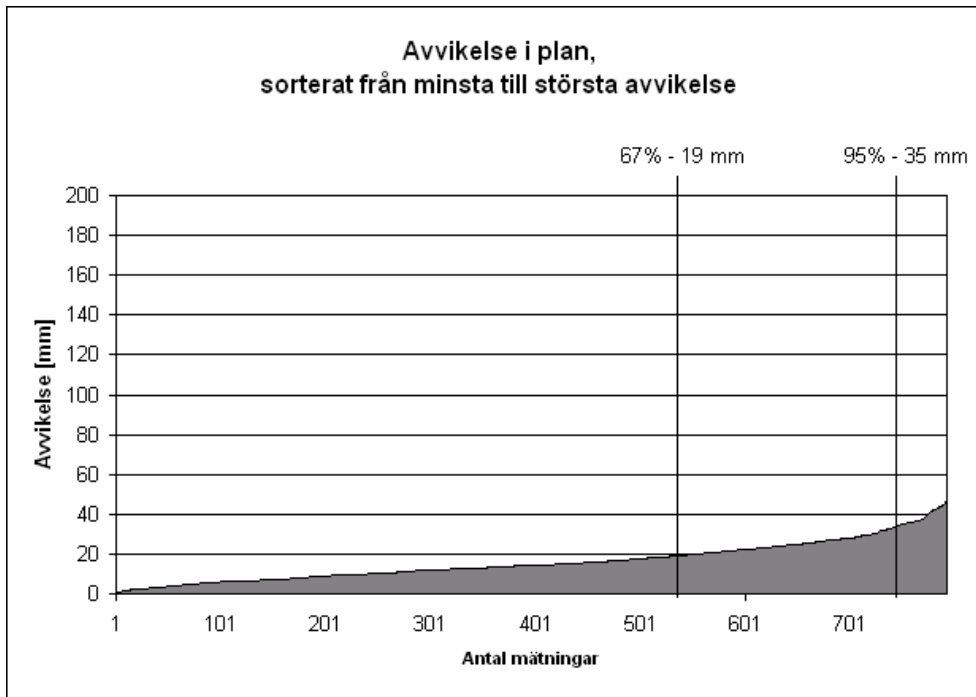
För att bibehålla de kontaktnät som uppkommit under de tre nätverks-RTK-projekten Väst-RTK, SKAN-RTK – 2 och Position Stockholm-Mälaren – 2 har en referensgrupp inrättats. Referensgruppen består av några lokala representanter från varje projektområde samt representanter på nationell nivå från statliga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

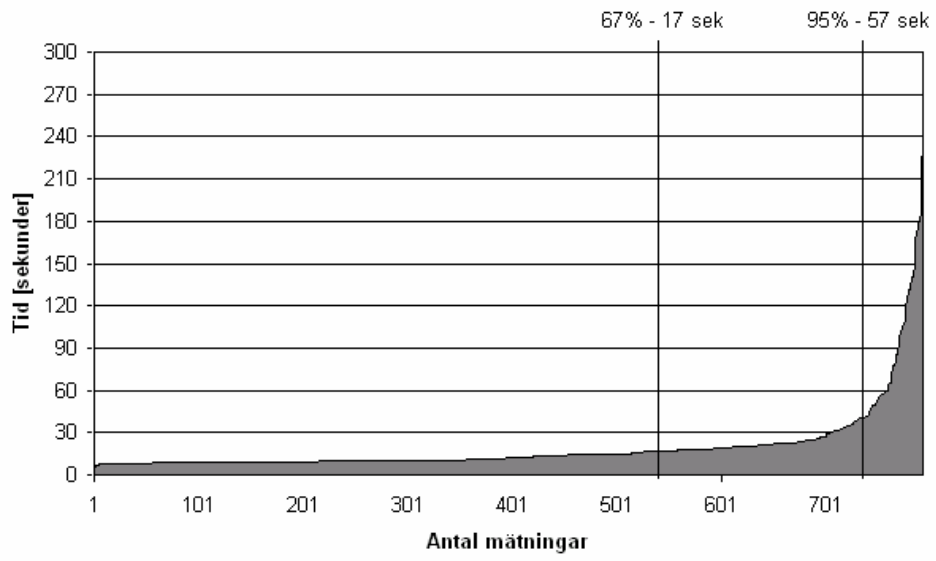
Referenser

- 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.
- 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 C (2004): Slutrapport för projekt "Väst-RTK". Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och geografiska informationssystem, 2004:11, Gävle.
- Lantmäteriet (2002): Projektbeskrivning - SKAN-RTK - 2.
- 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.

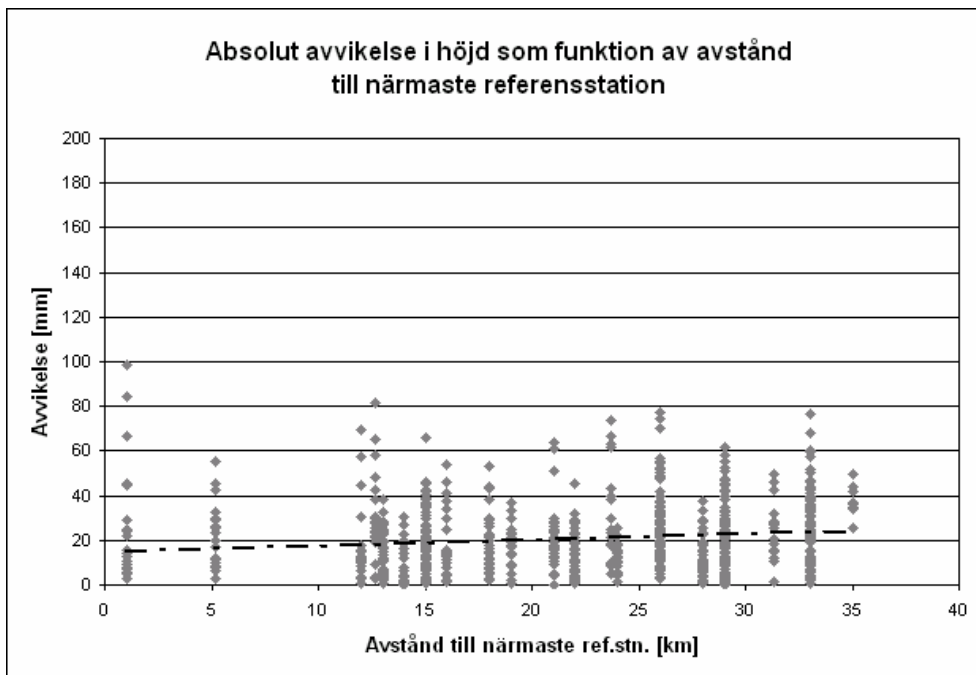
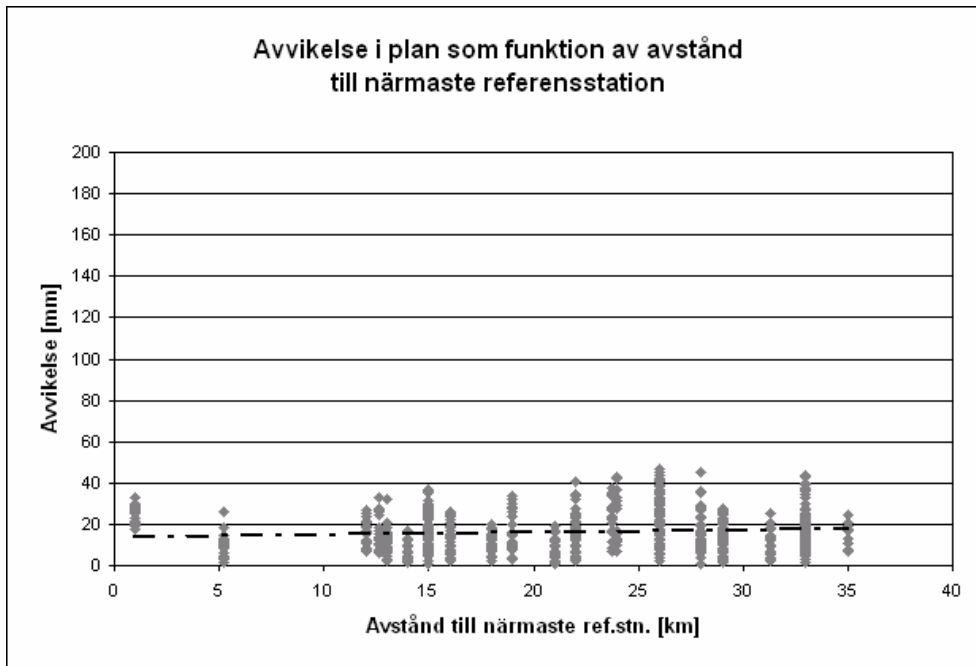
Bilaga 1 - Alla mätningar

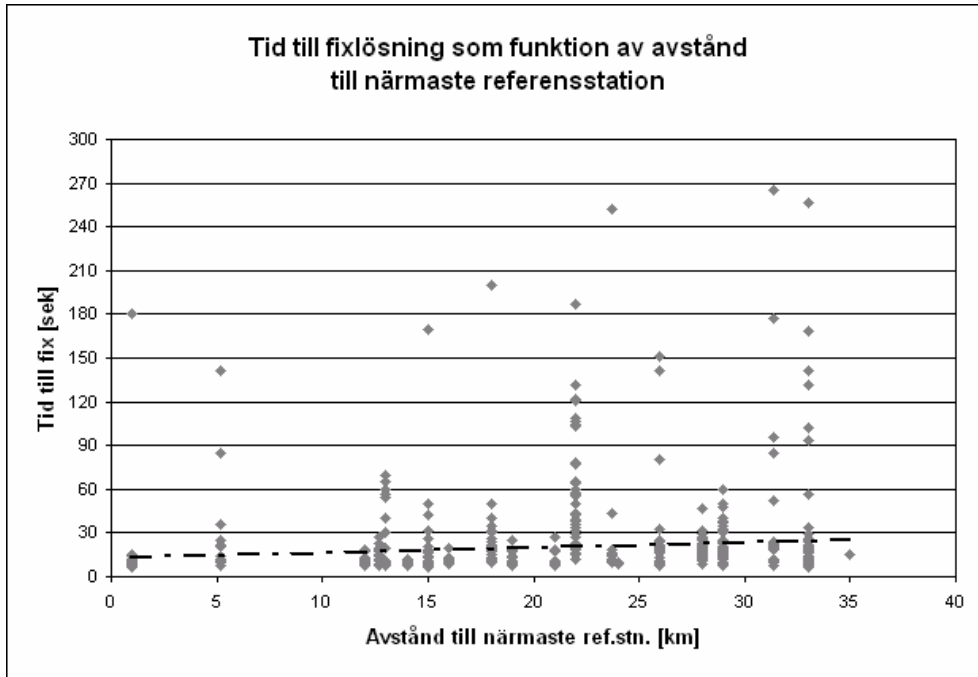


**Tid till fixlösning,
sorterat från kortaste till längsta**

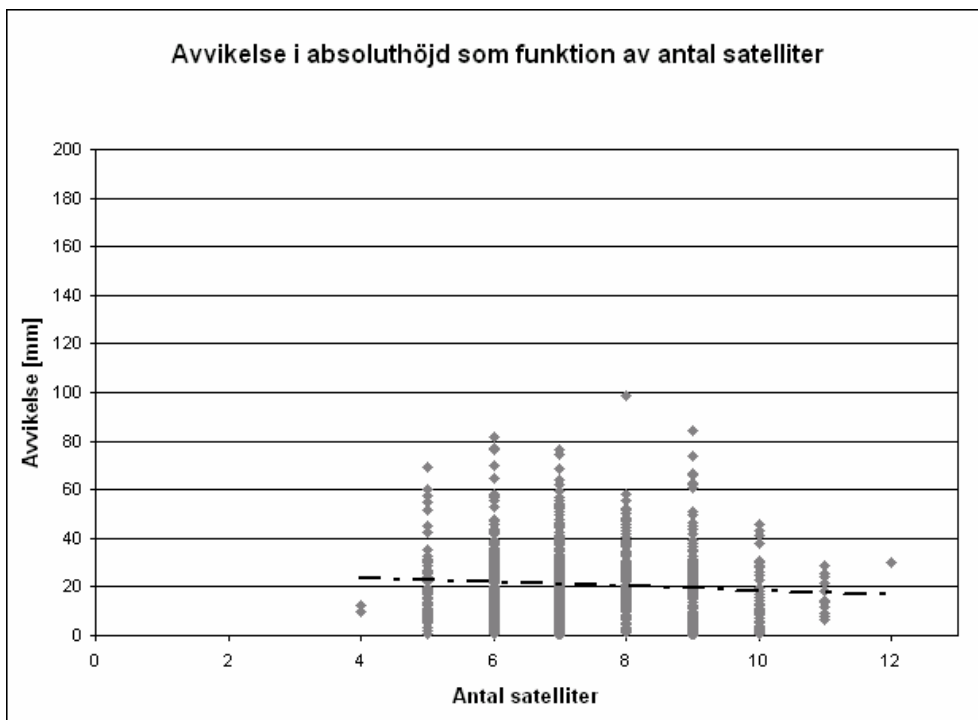
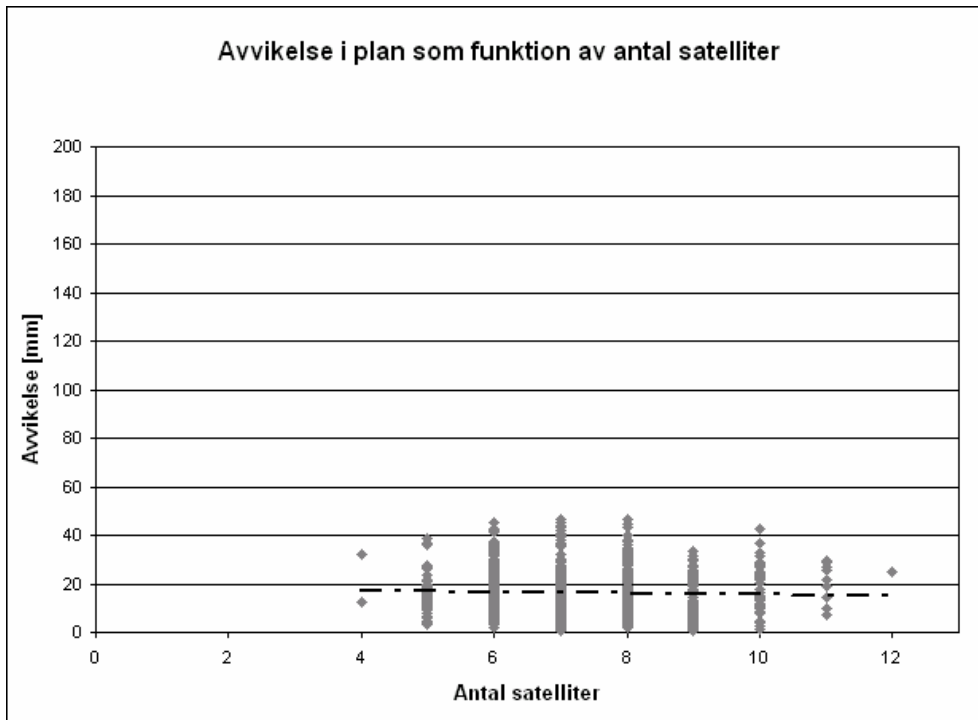


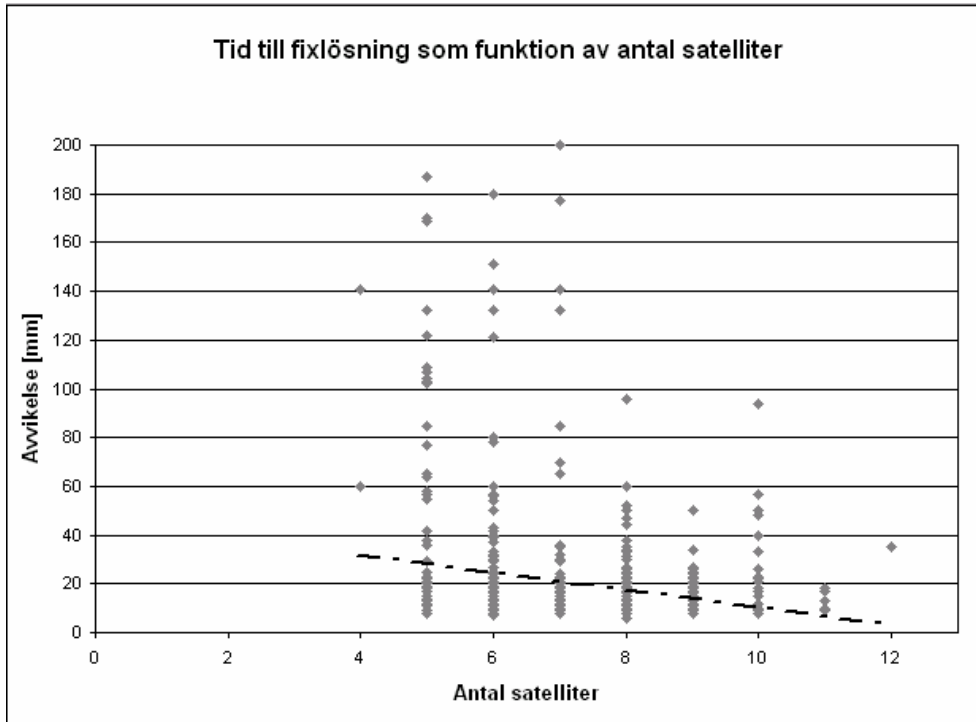
Bilaga 2 - Avstånd till referensstation



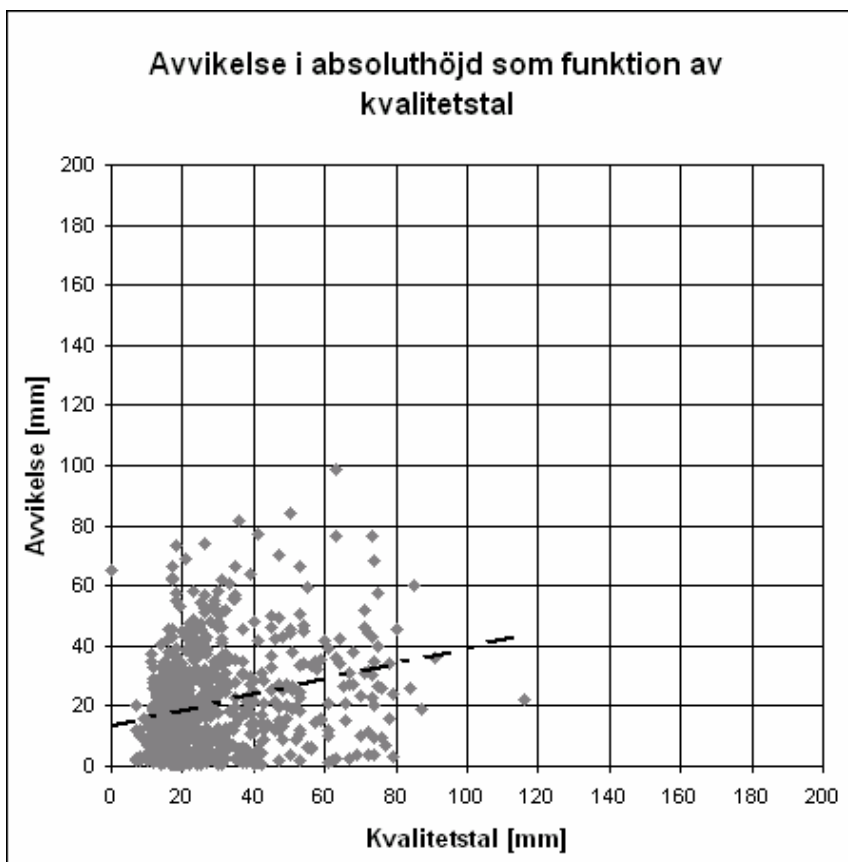
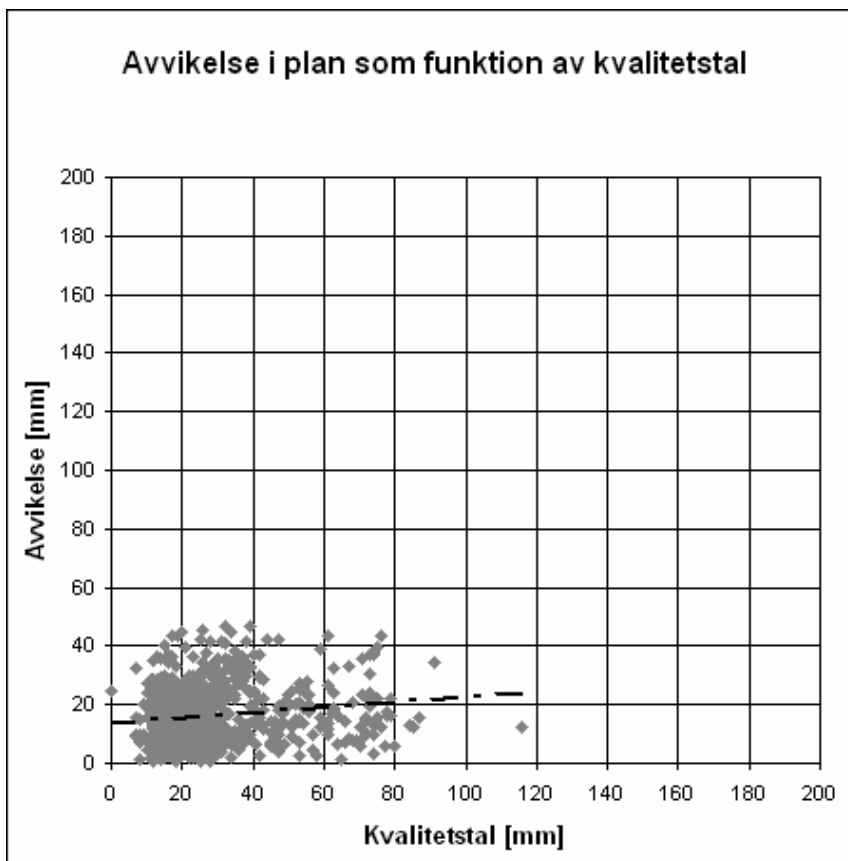


Bilaga 3 - Antal satelliter

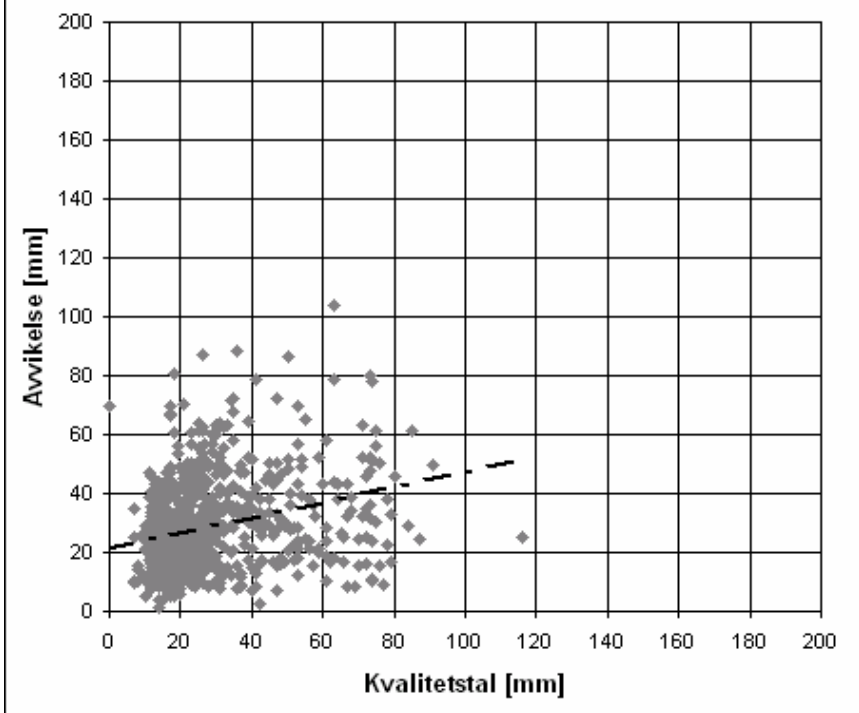




Bilaga 4 - GPS-mottagarens kvalitetstal



3D-avvikelse som funksjon av kvalitetstal



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: Transformations samband 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.
- 2004:11 Kempe Christina: Väst-RTK – nätverks-RTK i produktionstest i västra 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