

Checklista för nätverks-RTK

Robert Odolinski

Gävle 2010

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2010-03-09

Författare Robert Odolinski

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 26

LMV-Rapport 2010:3 – ISSN 280-5731

Checklista för nätverks-RTK

Robert Odolinski

Gävle 2010

L A N T M Ä T E R I E T



Bakgrund och syfte

RTK (Real Time Kinematic) är en effektiv teknik för att med hög noggrannhet positionera sig med GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Utvecklingen av tjänster baserade på permanenta GNSS referensstationer (t.ex. SWEPOS®) och nätverks-RTK-tekniken har gjort det möjligt för användaren att mäta på centermeternivå. Dock kan allvarliga fel introduceras i mätningarna om användaren har låg eller ingen kunskap om de faktorer som kan påverka observationerna. Exempel på sådana faktorer kan vara satellitkonstellationen, olika inställningar i mottagaren, flervägsfel och atmosfärsfel, etc.

Av den anledningen framställdes denna checklista med målet att den ska vara kort och lätt att använda för den normala nätverks-RTK-användaren. Checklistan har baserats på erfarenheter, teoretiska studier och på allmänna rekommendationer från flera olika länder. Checklistan innehåller information eller rekommendationer angående mottagaren, mottagarinställningar, planering och förberedelser, kvalitetstal, tips för mätning i fält, några potentiella kontroller av mätningarna, och slutligen några skattade noggrannhetsnivåer för nätverks-RTK-tekniken. Många av råden i denna checklista gäller även för enkelstations-RTK.

Det bör påpekas att det finns en s.k. kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (*Norin et al. 2006*). Denna checklista är dock väldigt kort (två sidor lång, d.v.s. anpassad för att ta med sig i fält) och repeterar vissa delar från kortmanualen, men är också uppdaterad med ny kunskap som kommit genom åren. Dessutom fokuserar checklistan lite mer på mätningförfarande och olika kontrollmetoder m.m., vilket gör att kortmanualen och checklistan kompletterar varandra ganska väl.

Under första rubriken "Checklista" finns en kort punktlista för användaren att ha som riktmärke. Under efterföljande rubriker 1-6 förklaras checklistan mera utförligt för den som vill veta lite mer.

Innehållsförteckning

Bakgrund och syfte	5
Checklista för nätverks-RTK	9
1 GNSS-mottagaren	11
2 Förberedelser	12
3 Inställningar och kvalitetstal i mottagaren	12
4 Övriga parametrar att beakta under mätningens gång	14
5 Mätning	17
6 Slutord	20
Referenser	22

Checklista för nätverks-RTK

1 GNSS-mottagare

- 1.1 Välj rätt antenntyp och ange den i mottagaren.
- 1.2 Välj rätt antenmodell. SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst använder idag NGS relativa antenmodell. Se till att denna modell även används i mottagaren.
- 1.3 Använd mottagare som kan ta emot korrektioner för både GPS- och GLONASS-satelliter vid mätning i problematiska områden (d.v.s. områden med hinder, träd, stor risk för flervägsfel etc.).

2 Förberedelser

- 2.1 Identifiera den referenspunkt (ARP) på antennen som instrumenthöjden ska mätas till. Mät denna höjd och registrera den i mottagaren. Detta är särskilt viktigt vid nätverks-RTK-mätning.
- 2.2 Kontrollera vattenpasset på antennstången och justera det vid behov.
- 2.3 Vid krav på hög satellittillgänglighet eller vid mätning i problematiska områden: planera mätningen med något satellitprediktionsprogram.

3 Inställningar och kvalitetstal i mottagaren

- 3.1 Elevationsgränsen rekommenderas till 13-15 grader, för dagens satellitkonstellation.
- 3.2 PDOP bör vara max 3-4, beroende på precisionskrav. $PDOP \leq 2$ kan rekommenderas för riktigt höga krav på precisionen.
- 3.3 Angivelsen av den horisontella och vertikala precisionen för mottagaren bör multipliceras med två (2σ), för att man ska vara säker på att 95 % av mätningarna kan antas ligga inom denna angivelse. Detta gäller för de flesta tillverkare. Angivelserna kan ändå, vid problematiska förhållanden, vara alltför optimistiska.
- 3.4 Det finns en användbar funktion i de flesta tillverkares mottagare som förkastar mätningar med en avvikelse över önskad precision – eller som frågar om punkten ska lagras trots "dålig" precision.
- 3.5 Nätverks-RTK-tjänsten ger ellipsoidhöjder i SWEREF 99. Se därför till att ha rätt lokal geoidmodell när höjder önskas direkt i ett lokalt höjdsystem. Om höjdsystemet RH2000 används, se till att geoidmodellen SWEN08_RH2000 finns inlagd i mottagaren.
- 3.6 Nätverks-RTK-tjänsten ger koordinater i SWEREF 99 i form av latitud och longitud. Om plana koordinater önskas i ett lokalt koordinatsystem är det viktigt att rätt transformationssamband används, med tillhörande restfelsmodell för hantering av eventuella deformationer.

4 Övriga parametrar att beakta under mätningens gång

- 4.1 Oinitialisera om ingen fixlösning erhållits inom 1-2 minuter.
- 4.2 Se till att ha fullgod kommunikation under pågående mätning, utan avbrott som kan påverka mätprecisionen. En bra indikator är kvaliteten på radiolänken.

- 4.3 Undvik störningar – t.ex. andra mobil-sändare, som stör radiokommunikationen, eller flervägsfel som stör signalerna från satelliterna.
- 4.4 Beakta SNR-nivån (Signal-to-Noise-Ratio, läs din mottagares manual) för att utesluta störningar av typen flervägsfel, olika atmosfäriska förhållanden, radiofrekvenskollisioner, etc.
- 4.5 Beakta om indikatorn "RTK-ålder" (ålder på korrektionsdata) överstiger flera sekunder, vilket kan påverka precisionen.
- 4.6 Mät inte under extrema väderförhållanden, som framför allt kan påverka mängden vattenånga i luften (troposfären).

5 Mätning

- 5.1 Maximal antennhöjd rekommenderas till 2 m. Upp till 4 m kan accepteras om låga krav ställs på mätningen.
- 5.2 Använd stödben om kraven på plannoggrannhet är höga.
- 5.3 Medeltalsbilda minst 3 mätningar (helst 3-30) innan punkt registreras. Medeltalsbildningen sker automatiskt i mottagaren.
- 5.4 Spara både SWEREF 99-koordinaterna och de lokala koordinaterna. Detta medför att eventuella nya transformations samband eller geoidmodeller kan användas på koordinaterna i ett senare skede.
- 5.5 Anlägg en kontrollpunkt nära kontoret, där regelbunden kontroll av repeterbarheten kan göras. D.v.s. kontroll av att eventuella transformationsparameterar, inställningar i instrumentet, atmosfäriska förhållanden etc. inte har förändrats eller kommer att påverka mätningen.
- 5.6 Acceptabel avvikelse för enskild mätning på kontrollpunkt kan vara ± 30 mm i plan och ± 50 mm i höjd, under förutsättningen att stativ eller stödben används för antennstången. Minst 95 % av mätningarna antas klara denna nivå. Om avvikelsen överstiger dessa värden kan det bero på grova fel, vilket bör undersökas vidare.
- 5.7 Kontrollera fixlösningen eller mätningarna regelbundet i fält – t.ex. genom att mäta en "känd" punkt eller genom återbesök av en tidigare mätt punkt.
- 5.8 Acceptabel avvikelse i en enskild mätning på "känd" punkt kan vara ± 40 mm i plan och ± 60 mm i höjd.
- 5.9 Återbesök bör göras med minst 5-10 minuters separation mellan mätningarna, men helst 20-45 minuter eller mer för att t.ex. satellitkonstellationen ska hinna förändras.
- 5.10 Återbesök kan även användas för att öka noggrannheten ytterligare i en tidigare mätt punkt, genom medeltalsbildning med föregående mätning(ar).
- 5.11 För återbesök kan en acceptabel avvikelse för enskild mätning vara ± 60 mm i plan och ± 80 mm i höjd. Noggrannhetsnivåerna vid kontroll sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell: Acceptabla avvikelser i enskild mätning från kontrollpunkt, "känd" punkt samt vid återbesök.

	Kontrollpunkt	"Känd" punkt	Återbesök
Acceptabel avvikelse i plan	± 30 mm	± 40 mm	± 60 mm
Acceptabel avvikelse i höjd	± 50 mm	± 60 mm	± 80 mm

1 GNSS-mottagaren

Införskaffa rekommenderad "firmware" till mottagaren

Se till att ha mjukvara till mottagaren som kan ta emot nyare rekommenderade standardöverföringsformat RTCM 3.x, även om SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst under en tid kommer att vara tillbakakompatibel med t.ex. RTCM 2.3. Med gammal mjukvara kan inte bästa möjliga kvalitet uppnås på mätningarna då äldre programvaror inte kan hantera de algoritmer och beräkningsmetoder som används för de krav som idag ställs på positionsangivelse, flyt- och fixlösning m.m. Dessutom skall mjukvaran kunna hantera protokollet NTRIP om GPRS vill utnyttjas för distributionen av RTK-data (Norin et al. 2006).

Välj rätt antenntyp

Antennens elektriska centrum är dit signalen refererar när den kommer från satelliten till mottagaren. Antennens elektriska centrum varierar bland annat beroende av elevationen, flervägsfelen och typ av montering av antennen (stång, stativ, trefot, pelare), etc. Olika antenner är olika känsliga, därför är det viktigt att välja rätt typ av antenn vid mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Vissa antenner är t.ex. bättre på att ta in signaler från satelliter med låg elevation, men därmed också sämre på att reducera flervägsfel. Dock kan antenner av nyare slag hantera flervägsfel bättre, i jämförelse med äldre modeller. Det är viktigt att rätt antenntyp anges i mottagaren (Henning 2008).

Antennmodell för fascentervariationer

En antennmodell beskriver det elektriska centrumets läge i förhållande till ARP (Antenna Reference Point) på antennen, som i sin tur höjden mäts till för att antennhöjden ska kunna anges i mottagaren. SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst använder idag NGS relativa antennmodeller, se därför till att NGS relativa antennmodell även används på mottagaren (Jivall 2007).

Vid höga krav på plannoggrannheten kan det rekommenderas att rikta antennens norr-markering mot norr under mätningen för att de horisontella offsetvärdena ska behandlas på bästa sätt av antennmodellen. Denna norr-markering bestäms vid kalibreringen av antennen.

GPS, GLONASS, samt framtida GNSS-satelliter i mottagaren

Fler satelliter ger en säkrare bestämning av antalet periodobekanta bestämda till heltal (fixlösning), minskar tiden till fixlösning, samt gör det möjligt att mäta och ökar precisionen där det råder lite sämre förhållande (flervägsfel eller hinder). Fler satelliter ger i normalfallet dessutom en ökad geometrisk spridning av satelliterna. Se till att använda en mottagare som kan ta emot korrektioner för både GPS- och GLONASS-satelliter för mätning vid problematiska områden

(Henning 2008). Med problematiska områden avses områden där mycket flervägsfel eller hinder kan förekomma.

2 Förberedelser

Ange korrekt antennhöjd i mottagaren

Angiven antennhöjd i mottagaren är direkt avgörande för att den mätta höjden överförs korrekt till önskad punkt på marken. Se därför till att ta reda på var ARP sitter på antennen så att inte felaktig antennhöjd mäts och anges i mottagaren.

Kontrollera och kalibrera vid behov vattenpasset på antennstången

För att undersöka om det finns fel i vattenpasset, ställ upp antennstången och centrera bubblan så gott det går, vrid sedan antennstången 180 grader och om då inte en viss del av bubblan stannar kvar inom cirkeln är en kalibrering av vattenpasset nödvändig. Om en kalibrering för tillfället inte är möjlig att genomföra är alternativet vid mätning att t.ex. ta medeltal av två observationer, där antennstången roteras 180 grader mellan varje observation för att få bort felet för vattenpasset (Henning 2008).

Antal satelliter och satellitplanering

Minst 5-7 satelliter bör vara tillgängliga vid mätning. För vanlig detaljmätning krävs minst 5 satelliter och minst 7 rekommenderas vid t.ex. etablering av en utgångspunkt för fortsatt mätning. Om både GPS och GLONASS används krävs minst 6 satelliter. Teoretiskt sett ger fler satelliter bättre noggrannhet (Norin et al. 2006, Sundsby et al. 2005).

Det kan vara till fördel att planera mätningarna med något planeringsverktyg vid krav på hög satellittillgänglighet eller där hinder förekommer och problem att få fixlösning råder. I dessa program anges bland annat hur många satelliter som kommer att vara tillgängliga för den aktuella tidpunkten och platsen, hur satellitgeometrin kommer att se ut, etc. Dessutom är det möjligt att rita ut hinder och ange en elevationsmask m.m. för att få en utvärdering av kvalitetstalen för inställningarna och den aktuella tidpunkten.

Antal satelliter, DOP-värden för aktuell tidpunkt, samt "skyplot" kan erhållas genom t.ex. hemsidan <http://www.swepos.com> och länken satellitprediktion.

3 Inställningar och kvalitetstal i mottagaren

Elevationsgräns

Om satelliterna ligger vid horisonten har signalen en lång väg genom atmosfären (som i sin tur stör signalen) till mottagaren. För att undvika dessa längre avstånd genom atmosfären kan en elevationsgräns bestämmas i mottagaren som gör att inga satelliter under denna gräns tas med i beräkningen av positionen. Med ökad elevationsgräns är det dock också viktigt att kontrollera att spridningen av

satelliterna fortfarande är god (se DOP nedan). 13-15 grader elevationsgräns är optimalt för dagens satellitkonstellation (*Emardson et al. 2009, Edwards et al. 2008*).

När en full konstellation med GLONASS, Galileo och COMPASS finns tillgänglig i framtiden rekommenderas 24 grader som elevationsgräns (*Emardson et al. 2009*).

I många tillverkares programvara går det att välja bort vissa satelliter som inte önskas vara med i beräkningarna av positionen. Exempelvis kan en satellit stängas av om det är många träd i vägen i en viss riktning som riskerar att störa signalen. En grafisk vy visualiserar vilken satellit som står vart på himlen.

DOP (Dilution Of Precision)

Dilution Of Precision avser konfigurationen av satelliterna i förhållande till mottagaren. PDOP (Positional Dilution Of Precision) är standard i de flesta mottagare och anger DOP i 3 dimensioner (horisontellt och vertikalt), där en bra geometrisk spridning av satelliterna ger ett lägre PDOP. I normalfallet rekommenderas en gräns för PDOP till 3-4, men vid ännu högre krav på precisionen kan gränsen sättas till 2 (*Norin et al. 2006*).

Angiven precision i mottagaren

De flesta tillverkare anger horisontell och vertikal precision med 1σ , vilket innebär att detta värde bör multipliceras med två (2σ) för att vara säker på att mätningarna till minst 95% sannolikhet ligger inom denna precision¹ (*Henning 2008*). Dock är det viktigt att vara medveten om att exempelvis flervägsfel inte redovisas i dessa precisionsangivelser för korta mätningssessioner (sekunder till minuter), och angivelserna kan därmed vid problematiska förhållanden vara alltför optimistiska (*Henning 2008, Edwards et al. 2008*).

Det finns också en användbar funktion i de flesta tillverkares mottagare som fungerar som ett filter som förkastar mätningar med en avvikelse över önskad precision, eller som frågar om punkten ska lagras trots "dålig" precision.

Använd korrekt geoidmodell och referenssystem

För absolutbestämning av höjder i exempelvis RH2000 är det viktigt att bästa möjliga geoidmodell används i mottagaren. SWEN08_RH2000 är den senaste framtagna geoidmodellen (år 2009) och den antas ge ett medelfel på 10-15 mm i hela landet (förutom i fjällen) (*Ågren 2009*).

Dessutom är det viktigt att rätt transformationssamband används, t.ex. om lat long i SWEREF 99 ska transformeras till plana koordinater i ett lokalt koordinatsystem. En tillhörande restfelsmodell är då oftast nödvändig för att ta hand om eventuell deformation av koordinaterna med avseende på det lokala systemet.

¹ För mer information kring statistiska termer och noggrannhetsangivelser rekommenderas att läsa HMK Stommätning kapitel 1.3.5-1.3.6 (*HMK-Ge:S 1994*).

4 Övriga parametrar att beakta under mätningens gång

Flyt- eller fixlösning

Flytlösning innebär att mottagaren ännu inte bestämt antalet hela våglängder (bara i decimaltal) på signalen från satelliterna till mottagaren och kan ge fel på upp mot meternivå. När sedan mottagaren bestämt antalet hela våglängder har fixlösning uppnåtts och mätning är möjlig på centimeternivå.

Det är viktigt att notera att en korrekt fixlösning i normalfallet bestäms (för de allra flesta tillverkare) till 99.9% sannolikhet. Det skulle kunna innebära att i värsta fall kan en felaktig fixlösning erhållas, som i sin tur kan ge ett grovt fel (*Henning 2008*).

För att öka sannolikheten för korrekt fixlösning finns det rekommendationer för hur lång tid beräkningen av fixlösningen får ta. Normalt (i 68% av fallen) tar det ca 10-40 sekunder att få fixlösning (*Johnsson & Wallerström 2007, Johansson & Persson 2008*).

Det rekommenderas att oinitialisera om ingen fixlösning uppnåtts efter 1-2 minuter, beroende på noggrannhetskrav på mätningarna. Ju längre tid det tar att få fixlösning desto större risk att fixlösningen är felaktig. Oinitialisering medför förlorad satellitkommunikation och en oberoende beräkning av en ny fixlösning (*Norin et al. 2006*).

Det finns även metoder för att kontrollera sin fixlösning, exempelvis genom att mäta en känd punkt eller återbesöka en väldefinierad punkt, och därefter se hur mycket som skiljer positionerna från varandra. Det rekommenderas att kontrollera sin fixlösning varje gång en mätslinga startas, under mätningens gång, samt innan mätningen avslutas (*Henning 2008*).

I en del programvaror finns även en automatisk kontroll av fixlösningen som sker i mottagaren. Dessa program kontrollerar den första erhållna fixlösningen gentemot en ny initialisering och fixlösning, vilket sker automatiskt under mätningen. Dock kvarstår rekommendationen även i detta fall att då och då kontrollera fixlösningen (*Henning 2008*).

Se till att ha fullgod kommunikation under pågående mätning

De mätningar där kommunikationen med referensstationerna avbryts med jämna mellanrum kan ge sämre precision. Se därmed till att uppkopplingen fungerar utan några avbrott innan mätning påbörjas. Ett exempel på en sådan indikator som kan beaktas är kvalitet på radiolänk, som ofta anges i procent (*Henning 2008*).

Undvik störningar

Störningar kan utgöras av t.ex. andra mobilsändare (som stör kommunikationen) eller ytor som kan ge flervägsfel som stör den inkommande signalen från satelliterna.

Flervägsfel

Flervägsfel kan exempelvis vara att signalerna från satelliterna reflekteras i träd, väggar, tak, stolpar, pelare m.m. och gör att mottagaren beräknar en fixlösning baserad på en annan väg för signalen och under en annan tidsperiod än för den riktiga signalen. Det är viktigt att se till att flervägsfel undviks, då det kan vara svårt att komma åt modelleringen av flervägsfel under de korta tidsepoker som RTK-mätning oftast pågår (sekunder till minuter) (Henning 2008).

Ett allvarligt problem med flervägsfel är att det i normalfallet för korta mätningssessioner på sekunder till minuter inte syns på skärmen om de förekommer, och mottagaren fortsätter därmed att ge felaktig precisionsangivelse. Överbestämning av mätningar med olika satellitkonstellationer kan mildra flervägsfelen till en viss grad (Henning 2008).

SNR (Signal to Noise Ratio)

Brus kan störa signalen och bruset kan exempelvis vara olika atmosfäriska förhållanden, radiofrekvens kollisioner, flervägsfel, m.m. SNR står för Signal to Noise Ratio och kan ge en indikation för hur högt brus som finns i mottaget data, exempelvis om det förekommer flervägsfel. De flesta mottagare kan visa SNR, dock beräknas det lite olika för olika tillverkare och det finns ingen standardalgoritm eller standardpresentation av värdet. Därför är rekommendationen att titta i manualen för sin mottagare för att försöka hitta rätt SNR-angivelse och varningsnivå (Henning 2008).

Latency (fördröjning)

Det kan vara viktigt att veta att de angivna koordinaterna som visualiseras på skärmen kan ha en fördröjning på 2-3 sekunder (5 sekunder i allra värsta fall), vilket kan innebära att de koordinater som registreras kanske inte alls är de koordinater som förväntas vid knapptryckningen (Henning 2008).

RTK-ålder

RTK-ålder anger ålder på korrektionsdata som har inkommit till mottagaren och normalt ligger detta värde på noll eller en sekund, men notera om värdet ökar vilket kan medföra problem med precisionen.

Troposfärsfel

Troposfären är den nedre delen (0 till ca 10 km) av atmosfären och den del där de flesta väderfenomen förekommer. GNSS-signalerna fördröjs av den vattenånga som finns i troposfären. Eftersom mängden vattenånga kan variera kraftigt och är svår att modellera kan troposfären bidra till fel i erhållen position. Mest känslig är den vertikala komponenten.

Det bör noteras att ju större höjdskillnad det är mellan referensstationerna och mottagaren, desto svårare är det att modellera inverkan från troposfären. Dessutom växer troposfärsfelet med avseende på

avståndet mellan närmsta referensstationer och mottagaren (p.g.a. skiftande atmosfäriska förhållanden).

Det användaren framför allt kan göra för att reducera inverkan från troposfären är att försöka mäta när det är likartade väderförhållande både vid referensstationerna och vid mottagaren (*Henning 2008*).

Jonosfärsfel

Jonosfären är den övre delen av atmosfären och påverkas framför allt av solfläcksaktivitet som bidrar till ökade störningar av signalen som går genom jonosfären genom att frigöra fria elektroner. Dessa störningar kan innebära förlorad radiokontakt, svårigheter att initialisera ny fixlösning, förlorad satellitkommunikation, minskad precision på mätningarna m.m. Dessa störningar kan variera bland annat beroende på lokalisering, tid på dygnet och tid på året (*Henning 2008*).

Nästa solaktivitetsmaximum förutspås kring år 2013 och går i cykler vart 11e år. Detta maximum kan komma att påverka framför allt noggrannheten i vertikalled. För aktuell rapportering om de olika jonosfärsstörningarna, där "Geomagnetic storms", "Solar radiation storms" och "Radio blackouts" förklaras, kan följande hemsida användas:

<http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales/index.html>

Denna hemsida ger aktuell status och kan användas för rapportering av jonosfärsaktivitet genom email. Alternativet är att i efterhand, om något gått snett i mätningen, gå till hemsidan och se om eventuell jonosfärsaktivitet kan ha påverkat mätningen. RTK-tekniken bör inte användas om hemsidan rapporterat "Geomagnetic storms" med en skala G3-G5, "Solar radiation storms" med en skala S4-S5, samt "Radio blackouts" med en skala R3-R5. Det är dock viktigt att observera att sådan jonosfärsaktivitet kan ändras snabbt och inte alltid kan förutspås, inte ens över korta tidsepoker (*Henning 2008*).

SWEPOS-driften har också planer på att presentera realtidsmätning av sådan jonosfärsaktivitet på hemsidan, som kan varna för vart i Sverige det kan finnas problem. En kontrollpunkt vid kontoret kan dessutom med fördel användas för att kontrollera om mätningarna påverkats i höjd av eventuellt stark jonosfärsaktivitet, vilket beskrivs mer under rubriken "Kontrollpunkt".

VRS (Virtual Reference Station)

SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst använder i nuläget så kallad tvåvägs-kommunikation där mottagaren först skickar sin ungefärliga position till SWEPOS driftcentral genom ett mobilt nätverk, t.ex. GSM eller GPRS, och servern i sin tur skickar tillbaka en interpolerad korrektionsmodell för den insända positionen och skapar en virtuell referensstation i närheten av mottagaren. Den virtuella referensstationen används sedan som referensstation till mottagaren, och mottagaren

uppfattar denna som källan till korrektions- och observationsdata. Mottagarens position kan därmed beräknas med hjälp av den korta baslinjen.

De flesta mottagare har möjlighet att visualisera lokaliseringen av den virtuella referensstationen i en grafisk vy. Om avståndet till den virtuella referensstationen uppnår flera km påverkas mätningarnas precision negativt. Om lokaliseringen av den virtuella referensstationen inte är tillräckligt bra efter att mottagaren har förflyttats långa sträckor (flera km) kan den uppdateras genom ominitialisering.

Den virtuella referensstationen ominitialiseras även automatiskt i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst när avståndet mellan mottagaren och den virtuella referensstationen överstiger fem km.

I framtiden kan SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst komma att ge alternativ till VRS som exempelvis RTCM 3.1 nätverksmeddelanden med envägskommunikation, vilket inte tas upp här utan istället rekommenderas annan litteratur kring ämnet t.ex. (Lin 2006).

5 Mätning

Centreringsfel och antennhöjd

Vald antennhöjd är en avvägning mellan riskerna för flervägsfel och centreringsfel. Det är viktigt att antennhöjden är så pass hög att inte användaren stör signalen, men samtidigt kan en allt för hög antennhöjd ge större centreringsfel. Rekommendationen är generellt en maximal antennhöjd på 2 m, dock om det är lägre krav på mätningarna kan ända upp mot 4 m användas (Norin et al. 2006).

Vid höga krav på noggranna mätningar kan det vara nödvändigt att använda stödben för antennstången, detta för att reducera centreringsfelets påverkan på plannoggrannheten. Centreringsmedelfelet, utan stödben till en antennstång på 2 m, har enligt en tidigare undersökning skattats till 14 mm (Odolinski & Sunna 2009).

Överbestäm, en mätning är ingen mätning

Oavsett mätteknik krävs metoder för att på ett säkert sätt kunna kontrollera gjorda mätningar, så även vid GNSS-mätning. Det finns flera orsaker till varför överbestämningar bör göras. För det första gör överbestämningar att det blir lättare att hitta grova fel. Dessutom medför överbestämningar att det kortvägiga bruset som finns i GNSS-mätningarna mildras. För kontrollens skull rekommenderas därför 3-30 medeltalsbildningar (Norin et al. 2006).

Dessa medeltalsbildningar kan beräknas automatiskt i mottagaren med ett observationsintervall mellan varje mätning, vilket ligger på en sekund som standard i de flesta mottagare.

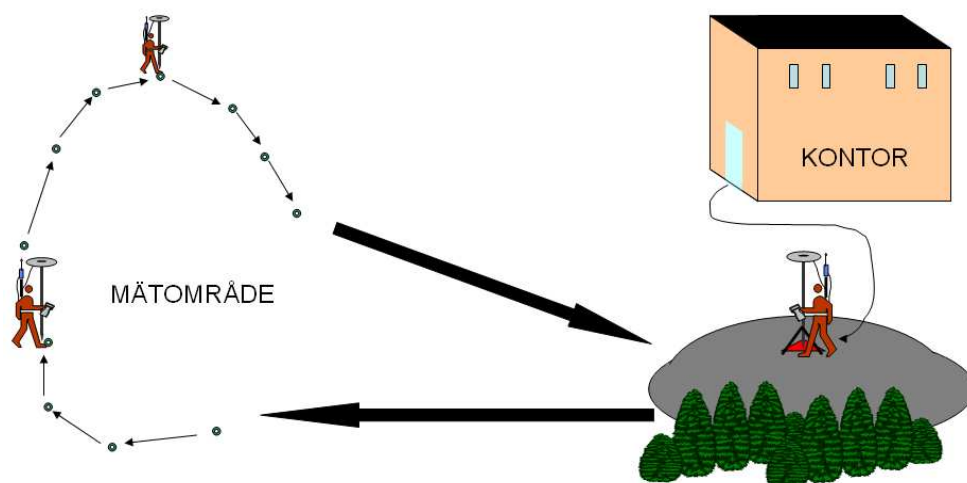
Spara koordinater i både SWEREF 99 och transformerat koordinatsystem

Om möjlighet finns rekommenderas att spara koordinater både i SWEREF 99 och i det eventuellt transformerade koordinatsystemet.

Detta medför att det är möjligt transformera koordinaterna på kontoret till önskat koordinatsystem med lämplig restfelsmodell, eller t.ex. om en eventuellt ny geoidmodell önskas tillämpas på mätningen.

Kontrollpunkt vid kontoret

En väldefinierad känd kontrollpunkt (t.ex. välbestämd med GNSS) kan med fördel upprättas i närheten av kontoret. Kontroll av punkten före och efter mätning ger därmed en koll på att eventuella jonosfärsaktiviteter för dagen inte påverkar mätningarna, en kontroll på att inställningarna samt valt koordinatsystem är korrekt angivna i mottagaren, m.m., se figur 1.



Figur 1: En väldefinierad känd kontrollpunkt vid kontoret (t.ex. välbestämd med GNSS) som bland annat ger kontroll på inställningar i mottagaren, om eventuella jonosfärsaktiviteter påverkar mätningarna för dagen, etc.

Acceptabel avvikelse i en enskild mätning från kontrollpunkten kan vara upp till ± 30 mm i plan och ± 50 mm i höjd för att minst 95% ska antas hamna inom denna noggrannhetsnivå (förutsatt att kontrollpunkten inte har något fel i den ursprungliga bestämningen samt att stativ eller stödben används för kontrollen). Om någon avvikelse överstiger dessa värden kan det finnas grova fel och mätningarna bör då vidare undersökas.

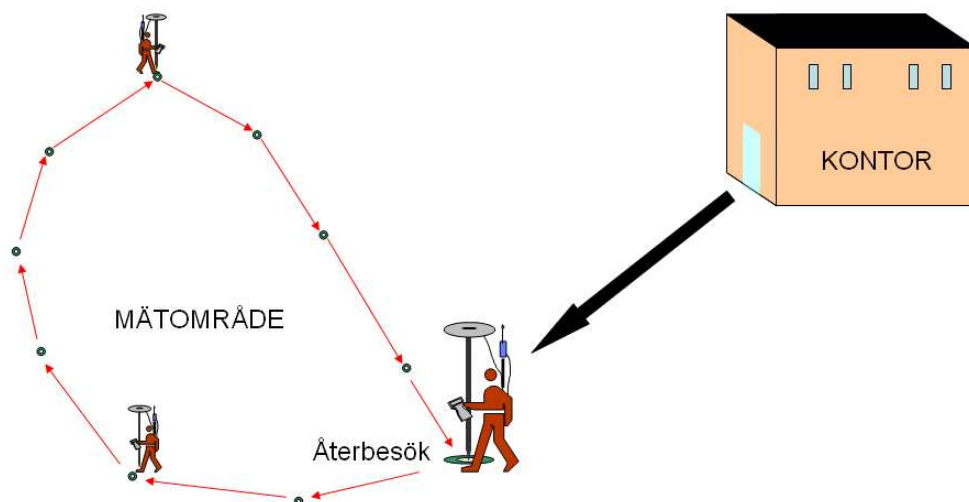
Kontroll i fält genom återbesök eller mätning på känd punkt

För att få en inre kontroll av de punkter som mätts in med samma fixlösning kan ett återbesök av en tidigare mätt väldefinierad punkt göras, alternativt en kontroll på en känd punkt (figur 2-3). Detta gör att en kontroll erhålls både på fixlösningen i sig, och på de punkter som mätts in med samma fixlösning.

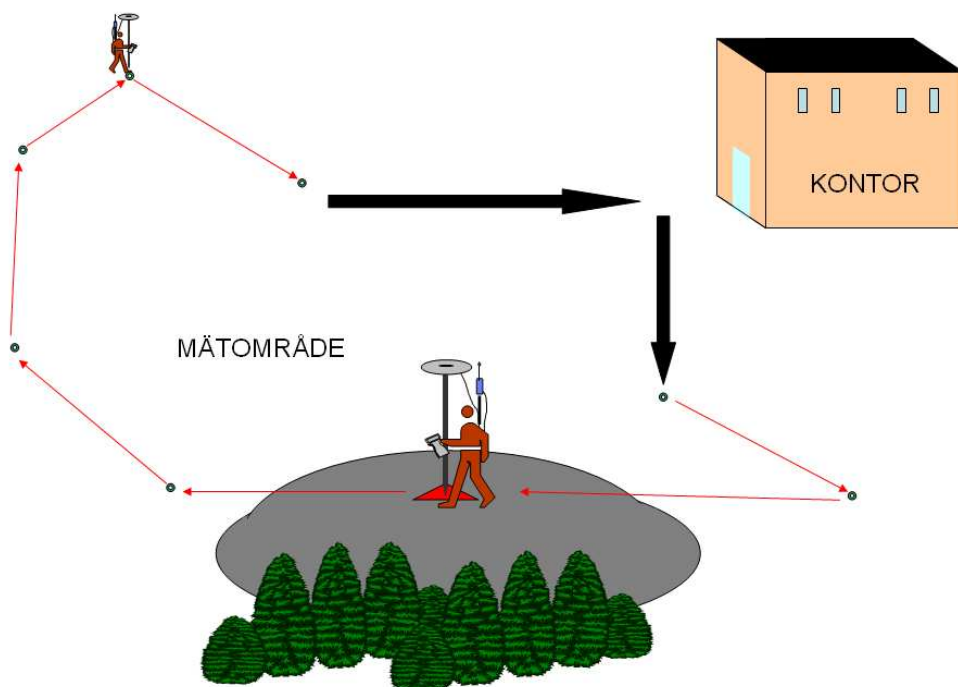
För följande noggrannhetsnivåer förutsätts att inget stativ (eller stödben) används ute i fält.

Acceptabel avvikelse i en enskild mätning från "känd" punkt kan vara upp till ± 40 mm i plan och ± 60 mm i höjd för att minst 95 % av mätningarna ska antas hamna inom denna noggrannhetsnivå (förutsatt att den kända punkten inte har något fel i den ursprungliga be-

stämningen). Om någon avvikelse överstiger dessa värden kan det finnas grova fel och mätningarna bör då vidare undersökas.



Figur 2: Kontroll i fält genom återbesök av en tidigare mätt väldefinierad punkt.



Figur 3: Kontroll i fält genom mätning på känd punkt.

För fler riktmärken till acceptabla avvikelser från "kända" punkter kan tabell 1 användas. Det kan finnas fel i "kända" punkter och det är viktigt att utreda kvaliteten på punkten innan andra RTK-mätningar undersöks gentemot den. Observera att om fel i "känd" punkt i tabell 1 överstiger nätverks-RTK-teknikens medelfel i plan och höjd kan punkten inte längre betraktas som "känd" punkt.

Det är viktigt att ominitialisera före återbesök för att få en ny oberoende fixlösning med hjälp av t.ex. en förändrad satellitkonstellation. Dessutom påverkas mätningarna av korrelationer i tiden, bland annat p.g.a. troposfären, flervägsfel, etc., och kan därför ge en opålitlig kontroll om observationerna ligger för tätt i tiden (läs mer om korrelationer nedan).

Tabell 1: Kontroll av "känd" punkt, där riktmärken för acceptabel avvikelse växer ju större felet är i den "kända" punkten.

$\sigma_{\text{"känd" punkt}} \text{ i plan}$	0 mm	5 mm	10 mm	15 mm
acceptabel avvikelse i plan	41 mm	43 mm	49 mm	58 mm
$\sigma_{\text{"känd" punkt}} \text{ i höjd}$	0 mm	9 mm	18 mm	27 mm
acceptabel avvikelse i höjd	62 mm	65 mm	74 mm	87 mm

Återbesök med en separation på 20 minuter gör att en del av korrelationerna har försvunnit, men upp emot 45 minuter eller mer kan krävas för att få bort nästan all korrelation och därmed få en mer tillförlitlig kontroll (Odolinski 2010, Edwards et al. 2008, Norin et al. 2006, Sundsby et al. 2005).

Om det förutom kontroll även önskas en ökad noggrannheten för en redan mätt punkt kan en ny mätning vid återbesök efter 20-45 minuter (eller mer) användas och medeltalsbildas med föregående mätning(ar) (Norin et al. 2006).

För återbesök av en tidigare nätverks-RTK-mätt punkt kan en acceptabel avvikelse för enskild mätning vara upp till ± 60 mm i plan och ± 80 mm i höjd för att minst 95 % av mätningarna ska antas hamna inom denna noggrannhetsnivå. Om någon avvikelse överstiger dessa värden kan det finnas grova fel i punkten och den bör då vidare undersökas.

Mer om korrelationer

Korrelationer i tiden kan i detta fall definieras som att en mätning är "beroende" av en annan mätning mätt nära i tiden, och kan bero på bland annat troposfären, likartad satellitkonstellation, flervägsfel, m.m. Detta kan skapa problem vid återbesök av en punkt och innebära att fel inte upptäcks p.g.a. att båda mätningarna ligger lika precisionsmässigt, men har samma fel åt samma håll och relativt sett till marken ligger helt fel (läs låg noggrannhet). Det är därför fördelaktigt att separera ett återbesök från ursprunglig mätning med åtminstone 5-10 minuter, då en del av korrelationerna faktiskt redan då reducerats, men helst 20-45 minuter eller mer (Odolinski 2010).

6 Slutord

Använd sunt förnuft och ovanstående rekommendationer för bästa resultat. Om mätområdet är så pass problematiskt att det är nästintill omöjligt att få fixlösning och en tillräckligt god precision (enligt beställarkraven) på mätningarna, bör en annan mätteknik övervägas, t.ex. totalstation, alternativt en kombination av teknikerna.

Alla noggrannhetsnivåer för kontroll som nämnts ovan är baserade på felfortplantningslagen och tidigare studiers skattning på 15 mm

medelfel i plan och 27 mm medelfel i höjd (exklusive geoidfelet) för nätverks-RTK-tekniken (*Edwards et al. 2008, Ewardson et al. 2009*). Dessutom tillkommer ett medelfel i geoidmodellen SWEN08_RH2000 på 15 mm för höjdkomponenten vid kontroll av "känd" punkt (*Ågren 2009*). Det är också förutsatt att centreringsmedelfelet för antennstången ligger i storleksordningen 14 mm då inga stödben används. För mer utförlig beskrivning av beräkningsmetodiken läs (*Odolinski & Sunna 2009*).

I Storbritannien har en studie av Nätverks-RTK-tekniken uppnått 10-20 mm i medelfel i plan och 15-30 mm medelfel i höjd (exklusive geoidfelet). De förutsatte att centreringsfelet hade tagits om hand av stativ eller stödben för antennen och studien var dessutom genomförd under normala jonosfärsaktivitetsförhållanden (*Edwards et al. 2008*). Studien stödjer de medelfel som användes för att beräkna noggrannhetsnivåerna angivna i denna checklista. Nästkommande solfläcksmaximum år 2013 kan dock komma att försämra noggrannheten i framför allt höjddel. Tänk också på att dessa värden är skattade under relativt normala förhållanden, sämre förhållanden försämrar noggrannheten.

Referenser

- Edwards S, Clarke P, Goebell S, Penna N, 2008: An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain. School of Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle.*
- Emardson R, Jarlemark P, Bergstrand S, Nilsson T, Johansson J, 2009: Measurement accuracy in Network-RTK. SP Technical Research Institute of Sweden and Chalmers University of Technology.*
- Henning W, 2008: National Geodetic Survey user guidelines for classical real time GNSS positioning. National Geodetic Survey, april 2008.*
- HMK-Ge:S 1994: Handbok till MätningKungörelsen, Geodesi, Stommätning, Lantmäteriverket i Gävle. Url: http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/HMK/dagensHMK/HMK-Geodesi_Stom.pdf, besökt: 2009-09-18*
- Jivall L, 2007: Antennmodellering vid GNSS-mätning. SWEPOS-seminariet 16 oktober 2007, Lantmäteriet, Gävle. Url: <http://swepos.lmv.lm.se/seminarium/swepos-sem07/swepsem07-Antennmodellering.pdf>, besökt 2009-09-15*
- Johansson D & Persson S, 2008: Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK – virtuell referensstation kontra nätverksmeddelande. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2008:4, Lantmäteriet, Gävle.*
- Johnsson F & Wallerström M, 2007: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/Glonass. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2007:1, Lantmäteriet, Gävle.*
- Lin, M, 2006: RTCM 3.0 Implementation in Network RTK and Performance Analysis, MSc Thesis, published as UCGE Report No. 20236, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada. Url: <http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/06.23236.MLin.pdf>, besökt 2009-09-24*
- Norin D, Engfeldt A, Johansson D, Lilje C, 2006: Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2006:2, Lantmäteriet, Gävle.*
- Odolinski R 2010: Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:2, Lantmäteriet, Gävle.*
- Odolinski R & Sunna J, 2009: Detaljmätning med nätverks-RTK – en noggrannhetsundersökning. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2009:2, Lantmäteriet, Gävle.*

Sundsby J, Bratheim P C, Eilefsen A, Elden H V, Harsson B G, Opseth P E, Skadberg T, Skogedal P, Solli P, Svendsen J G G, 2005: Satellittbasert Posisjonsbestemmelse versjon 2.0. Statens kartverk, Geodesidivisjonen, Honefoss, 2005. (På Norska)

Ågren J, 2009: Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2009:1, Lantmäteriet, Gävle.

Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2006:8 Wennström Hans-Fredrik (ed.): Struve Geodetic Arc 2006 International Conference – the Struve arc and extensions in space and time.
- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.
- 2007:1 Johnsson Fredrik & Wallerström Mattias: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS.
- 2007:4 Ågren Jonas & Svensson Runar: Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH 2000.
- 2007:8 Halvardsson Daniel & Johansson Joakim: Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK.
- 2007:10 Lidberg Martin & Lilje Mikael: Evaluation of monument stability in the SWEPOS GNSS network using terrestrial geodetic methods - up to 2003.
- 2007:11 Lilje Christina, Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Introduktion till GNSS.
- 2007:12 Ivarsson Jesper: Test and evaluation of SWEPOS Automated Processing Service.
- 2007:14 Lilje Mikael, Eriksson Per-Ola, Olsson Per-Anders, Svensson Runar, Ågren Jonas: RH 2000 och riksavvägningen.
- 2008:4 Johansson S Daniel & Persson Sören: Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK – virtuell referensstation kontra nätverksmeddelande.
- 2009:1 Ågren Jonas: Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70.
- 2009:2 Odolinski Robert & Sunna Johan: Detaljmätning med nätverks-RTK – en noggrannhetsundersökning.
- 2009:4 Fridén Anders & Persson Ann-Katrin: Realtidsuppdaterad etablering av fri station – ett fälttest med radioutsänd projektanpassad nätverks-RTK.
- 2009:5 Bosrup Susanna & Illerstram Jenny: Restfelshantering med Natural Neighbour och TRIAD vid byte av koordinatsystem i plan och höjd.
- 2010:1 Reit Bo-Gunnar: Om geodetiska transformationer.
- 2010:2 Odolinski Robert: Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK.

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