

## **Appendix 3 – Checklista för höjdmätning mot SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst**

I denna checklista redovisas en del allmänna råd angående hur nätverks-RTK-tekniken bör användas för att uppnå ett tillfredställande resultat vid framförallt höjdmätning. Checklistan ska inte förväxlas med den betydligt mera omfattande och detaljerade "Checklista för nätverks-RTK" som omfattar både plan- och höjdmätning. Den listan kommer vid behov att kompletteras och uppdateras, och finns publicerad på Lantmäteriets hemsida som LMV-Rapport 2010:3, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem (*Odolinski 2010b*).

Denna lista redovisas först i punktform, varefter vissa av punkterna beskrivs mera detaljerat.

### **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.

### **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** 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.

4. Övriga parametrar att beakta under mätningens gång
  - 4.1 Ominitialisera om ingen fixlösning erhållits inom 1-2 minuter.
  - 4.2 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 Medeltalsbilda minst 3 mätningar (helst 3-30) innan punkten registreras. Medeltalsbildningen sker automatiskt i mottagaren.
  - 5.3 Anlägg en kontrollpunkt nära kontoret, där regelbunden kontroll av repeterbarheten kan göras. D.v.s. kontroll av att eventuella transformationsparametrar, inställningar i instrumentet, atmosfäriska förhållanden etc. inte har förändrats eller kommer att påverka mätningen.
  - 5.4 Acceptabel avvikelse för enskild mätning på kontrollpunkt kan vara  $\pm 50$  mm i höjd. Minst 95 % av mätningarna antas klara denna nivå. Om avvikelsen överstiger detta värde kan det bero på grova fel, vilket bör undersökas vidare.
  - 5.5 Kontrollera fixlösningen eller mätningarna regelbundet i fält – t.ex. genom att mäta en "känd" punkt eller genom återbesök av en tidigare mätt punkt.
  - 5.5 Acceptabel avvikelse i en enskild mätning på "känd" punkt kan vara  $\pm 60$  mm i höjd.
  - 5.6 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.
  - 5.7 Återbesök kan även användas för att öka noggrannheten ytterligare i en tidigare mätt punkt, genom medeltalsbildning med föregående mätning(ar).
  - 5.8 För återbesök kan en acceptabel avvikelse för enskild mätning vara  $\pm 80$  mm i höjd.
  - 5.9 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 höjd	$\pm 50$ mm	$\pm 60$ mm	$\pm 80$ mm

## Beskrivning till checklistan

### 1. GNSS-mottagare

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*).

### 2. Förberedelser

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.

Minst 5-7 satelliter bör vara tillgängliga vid mätning. För vanlig detaljmätning krävs minst 5 satelliter. Om både GPS och GLONASS används krävs minst 6 satelliter.

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

### 3. Inställningar och kvalitetstal i mottagaren

13-15 grader elevationsgräns är optimalt för dagens satellitkonstellation. Med ökad elevationsgräns är det dock också viktigt att kontrollera att spridningen av satelliterna fortfarande är god (se DOP nedan).

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.

De flesta tillverkare anger horisontell och vertikal precision med  $1\sigma$ , vilket innebär att användaren bör ta detta värde gånger två ( $2\sigma$ ) för att vara säker på att mätningarna till minst 95% sannolikhet ligger inom denna precision. Dock bör användaren vara medveten om att

exempelvis flervägsfel inte redovisas i dessa precisionsangivelser för korta mätningssessioner (sekunder till minuter), och angivelserna kan alltså vid problematiska förhållanden vara alltför optimistiska.

#### 4. Övriga parametrar att beakta under mätningens gång

Det rekommenderas att oinitialisera om ingen fixlösning uppnåtts efter 1-2 minuter. 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.

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.

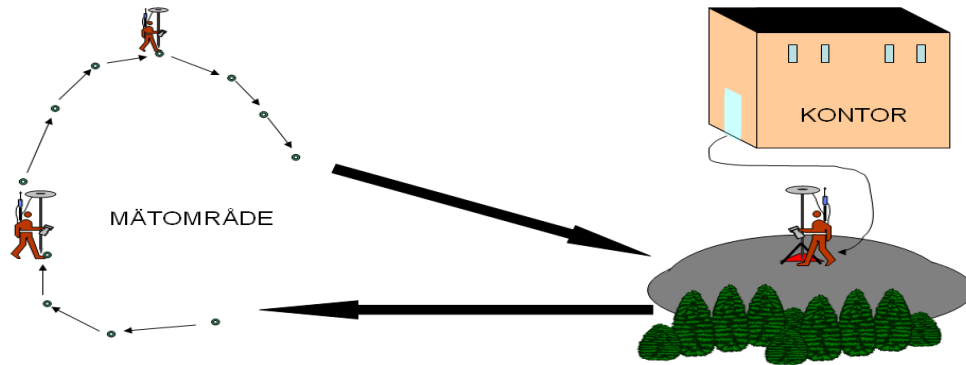
Det är viktigt att se till att flervägsfel undviks, då det kan vara svårt att komma åt modelleringen av flervägsfel under de korta tidsepoker som RTK-mätning oftast pågår. Ett allvarligt problem med flervägsfel är att det i normalfallet för korta mätningssessioner på sekunder till minuter inte syns på 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.

#### 5. 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.

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 kontroll på att inställningarna samt valt koordinatsystem är korrekt angivna i mottagaren, m.m., se figur 1.

Acceptabel avvikelse i en enskild mätning från kontrollpunkten kan vara upp till  $\pm 50$  mm i höjd för att minst 95% ska antas hamna inom denna noggrannshetsnivå (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.

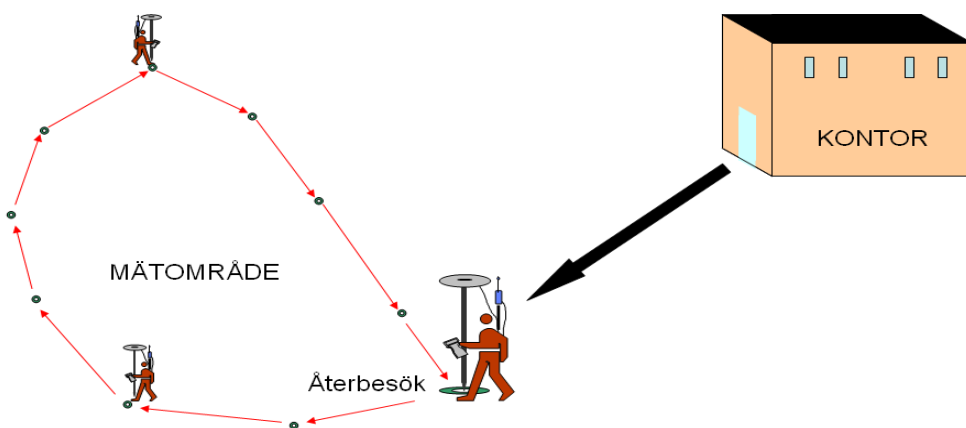


**Figur 1:** En väldefinierad känd kontrollpunkt vid kontoret (t.ex. välbestämd med GNSS) som bland annat ger kontroll på inställningar i mottagaren, om eventuella jonosfärsaktiviteter påverkar mätningarna för dagen, etc.

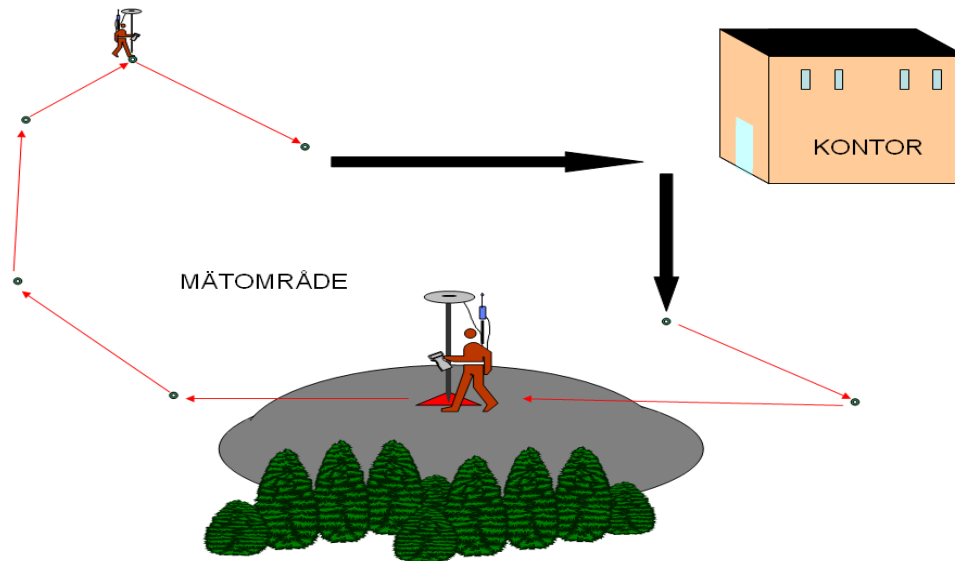
För att få en inre kontroll av de punkter som mätts in med samma fixlösning kan ett återbesök av en tidigare mätt väldefinierad punkt göras, alternativt en kontroll på en känd punkt (figur 2-3). Detta gör att en kontroll erhålls både på fixlösningen i sig, och på de punkter som mätts in med samma fixlösning.

Acceptabel avvikelse i en enskild mätning från "känd" punkt kan vara upp till  $\pm 60$  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 bestämningen). Om någon avvikelse överstiger dessa värden kan det finnas grova fel och mätningarna bör då vidare undersökas. Det kan finnas fel i "kända" punkter och det är viktigt att utreda kvaliteten på punkten innan andra RTK-mätningar undersöks gentemot den.

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.



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



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

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.

För återbesök av en tidigare nätverks-RTK-mätt punkt kan en acceptabel avvikelse för enskild mätning vara upp till  $\pm 80$  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.

Vid återbesök av en punkt kan korrelationer i tiden 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.