

# **Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer**

Sammanställd av

Per-Ola Eriksson

Gävle 2010

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2010-03-31

Författare Per-Ola Eriksson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 46

Projektrapport – ISSN 280-5731

# Höjdmätning med GNSS - vägledning för olika mätsituationer

LANTMÄTERIET





## Förord

Föreliggande arbete är en slutrapport från projektet Höjdmätning med GNSS, som har pågått under större delen av 2009 med avsikt att klarlägga förutsättningarna för att använda GNSS-teknik för höjdmätning i olika mätsituationer.

Projektet har initierats och huvudsakligen drivits internt på Geodesienheten vid Lantmäteriets division Informationsförsörjning. På uppdrag av Lantmäteriet genomförde SP och Chalmers under 2008 projektet CLOSE-RTK. Resultaten från det projektet har i viss mån använts i det nu föreliggande arbetet.

Styrgruppen har bestått av Bo Jonsson, Peter Wiklund och Mikael Lilje, med Bo Jonsson som beställare.

Projektgruppen har bestått av Andreas Engfeldt, Per-Ola Eriksson, Martin Lidberg och Robert Odolinski, med Per-Ola Eriksson som projektledare. Dessutom har ett flertal medarbetare vid Geodesienheten deltagit i olika delar av arbetet. Beräkningsarbete inom delprojekt 1 har genomförts av examensarbetare Ke Liu (Liu 2010).

Denna rapport redovisar översiktligt resultatet från projektet. Utförligare redovisningar av resp. delprojekt finns i följande LMV-rapporter:

**LMV-rapport 2010:5** *Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning*

**LMV-rapport 2010:6** *Punktbestämning i RH 2000 – Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS*

**LMV-rapport 2010:2** *Studie av noggrannhet och metodik vid RTK-mätning*

Gävle april 2010



## Sammanfattning

GNSS är ett effektivt verktyg för att utföra positionsbestämning där det är långa avstånd till referensnätspunkter. Idag går det att anpassa metoden för GNSS-mätningen så att huvuddelen av kraven på positionsnoggrannhet i plan kan uppnås med nätverks-RTK, RTK eller statisk mätning med olika längd på observationstiden. Höjdmätning med GNSS-teknik är också bra anpassad för produktionsmätning, men här finns en del frågeställningar kring metoderna att nå olika noggrannhetskrav.

I denna rapport redovisas en sammanfattning av de resultat som har uppnåtts i projekt "Höjdmätning med GNSS" som har syftat till att klarlägga förutsättningarna för att använda GNSS-teknik för höjdmätning i olika mätsituationer.

Resultaten visar att stomnätmätning med statisk GNSS-mätning kan ge en förväntad osäkerhet på ca 10 mm ( $1 \sigma$ ) vid etablering av punkter i RH 2000 som utgångspunkter för vidare mätning med avvägning eller GNSS-teknik. Utvärderingen av de mätningar som har gjorts visar att motsvarande resultat kan uppnås genom statisk mätning med endast en GNSS-mottagare under vissa förutsättningar. Dessa metoder kan även användas för att ansluta lokala höjdnät till RH 2000 där anslutningsmöjligheter med avvägning saknas.

För inmätning av detaljer i RH 2000 kan SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst användas. De undersökningar som har gjorts här visar att en förväntad osäkerhet på 25-30 mm ( $1 \sigma$ ) kan uppnås med den ordinarie Nätverks-RTK-tjänsten, exklusive geoidfelet. Med ett förtätat nät av referensstationer, s k projektanpassad tjänst, kan en motsvarande osäkerhet på 11 mm förväntas.

Genom att anpassa mätmetoden till de krav som finns på noggrannhet i önskade resultat, kan GNSS-tekniken utnyttjas som ett kostnadseffektivt alternativ vid höjdmätning i många sammanhang.





# Innehåll

<b>Förord</b>	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>5</b>
<b>Innehåll</b>	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>9</b>
<b>2 Projekt Höjdmätning med GNSS</b>	<b>11</b>
<b>3 Testmätningar till grund för de genomförda studierna</b>	<b>12</b>
<b>4 Etablering av punkter i RH 2000 genom stomnätsmätning med statisk GNSS-teknik</b>	<b>14</b>
4.1 Resultat	15
<b>5 Punktbestämning i RH 2000 – statisk mätning mot SWEPOS</b>	<b>17</b>
5.1 Resultat	18
<b>6 Etablering av punkter i RH 2000 med hjälp av SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst</b>	<b>19</b>
6.1 Resultat	19
<b>7 Diskussion</b>	<b>21</b>
<b>8 Slutsatser</b>	<b>23</b>
<b>9 Behov av ytterligare studier</b>	<b>25</b>
<b>10 Referenser</b>	<b>26</b>
<b>Appendix 1 - Checklista för etablering av punkter i RH 2000 genom stomnätsmätning med statisk GNSS-teknik</b>	<b>I</b>
Beskrivning till checklistan	III
<b>Appendix 2. Checklista, Punktbestämning i RH 2000 - Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS</b>	<b>I</b>
Beskrivning till checklistan	III
<b>Appendix 3 - Checklista för höjdmätning mot SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst</b>	<b>I</b>
Beskrivning till checklistan	III



# 1 Inledning

GNSS/RTK är nu en fungerande teknik för t.ex. praktisk detaljmätning och maskinguidning, som är på väg att ta över en allt större del av den vardagsmätning som kräver någon/några centimeters noggrannhet i positionen. Om egen referensstation etableras och de nationella referenssystemen SWEREF 99 i plan och RH 2000 i höjd skall användas, är användaren beroende av att ansluta sin basstation till dessa referenssystem eller etablera den på en sådan punkt i terrängen som ingår i dessa referensnät

Ett alternativ till etableringen av egna 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. SWEPOS tillhandahåller data för positionering i SWEREF 99/RH 2000 i såväl realtid som för efterberäkning.

GNSS-mätning ger för de allra flesta tillämpningarna tillfredställande noggrannhet i plan för såväl produktionsmätning som anslutning till SWEREF 99. För höjdmätning med GNSS är situationen lite annorlunda, eftersom olika mätmetoder ger olika noggrannhet. Denna rapport är avsedd att ge vägledning för användaren angående vilken mätmetod som skall användas beroende på den noggrannhet som förväntas i RH2000 för den erhållna höjden. För vissa tillämpningar är det fortfarande endast avvägning som uppfyller användarens noggrannhetskrav. Olika tillämpningar kräver olika noggrannhet och mätmetoderna måste anpassas därefter. Följande mätsituationer där GNSS-teknik är ett alternativ för höjdmätning kommer att behandlas i denna rapport:

- Etablering av punkter i RH 2000 som utgångspunkter för vidare mätning med avvägning eller GNSS-teknik genom stamnätsmätning med statisk GNSS-mätning. Metoden kan också användas för anslutning av befintliga kommunala höjdnät i lokala system till RH 2000.
- Etablering av punkter i RH 2000 för vidare mätning med GNSS eller avvägning genom statisk mätning med endast en GNSS-mottagare och beräkning med SWEPOS beräkningstjänst. Ett alternativ i denna situation är att mäta även på passpunkter i riksnätet i höjd, och därefter göra en inpassning av de nya punkterna. Metoden kan användas av den som har begränsad tillgång till GNSS-mottagare och antenner, och som saknar möjlighet att själv göra beräkningar.
- Produktionsmätning i RH 2000 med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.

## Inledning

De olika metoderna beskrivs här nedan tillsammans med en sammanfattning av de resultat som har uppnåtts i det projekt Lantmäteriet genomfört under 2009. Förutsättningarna för de resultat som redovisas här finns mera detaljerat redovisade i rapporterna från respektive delprojekt.

## 2 Projekt Höjdmätning med GNSS

Projekt "Höjdmätning med GNSS" har bedrivits på Geodesienheten vid Lantmäteriets division Informationsförsörjning. Ett mål för projektet har varit att utröna vilken noggrannhet som är möjlig att uppnå vid höjdmätning med statisk GNSS-teknik genom olika mätförfaranden, för att kunna välja rätt metod vid olika tillämpningar. Ett annat mål har varit att höja kunskapsnivån beträffande noggrannhet vid höjdmätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.

### Arbetsätt

Projektarbetet har bedrivits i tre delprojekt:

- I delprojekt 1 har studerats möjligheterna att ansluta ett lokalt höjdnät till RH 2000 där anslutningsmöjligheter med avvägning saknas. Metoden är då klassisk stomnätsmätning med GNSS-teknik. Här redovisas hur samma metod kan användas för etablering av utgångspunkter för fortsatt mätning i RH 2000. Delprojekt 1 redovisas som en LMV-rapport (*Eriksson 2010*).
- I delprojekt 2 har metoder för att bestämma enskilda anslutningspunkter i RH 2000 genom statisk mätning mot SWEPOS och beräkning i SWEPOS Beräkningstjänst studerats. Även delprojekt 2 redovisas som en LMV-rapport (*Engfeldt & Odolinski 2010*).
- I delprojekt 3 har en studie av noggrannhet och metodik vid GNSS-mätning mot SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst genomförts (*Odolinski R 2010a och 2010b*). I projektet har insamlade data från SWEPOS s.k. monitor-stationer analyserats för att få en uppfattning om vilken noggrannhet som kan förväntas i denna mätsituation. I delprojektet har även en begränsad studie av s.k. "realtidsuppdaterad fri station" genomförts. Denna studie redovisas inte här.

Från alla delprojekt levereras dessutom checklistor som beskriver hur mätning med de olika metoderna bör utföras i praktiken för att ge bästa resultat. Checklistorna redovisas som bilagor i denna rapport, och även som fristående dokument på [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se)

De fristående checklistorna kommer att kompletteras och revideras vid behov.

### 3 Testmätningar till grund för de genomförda studierna

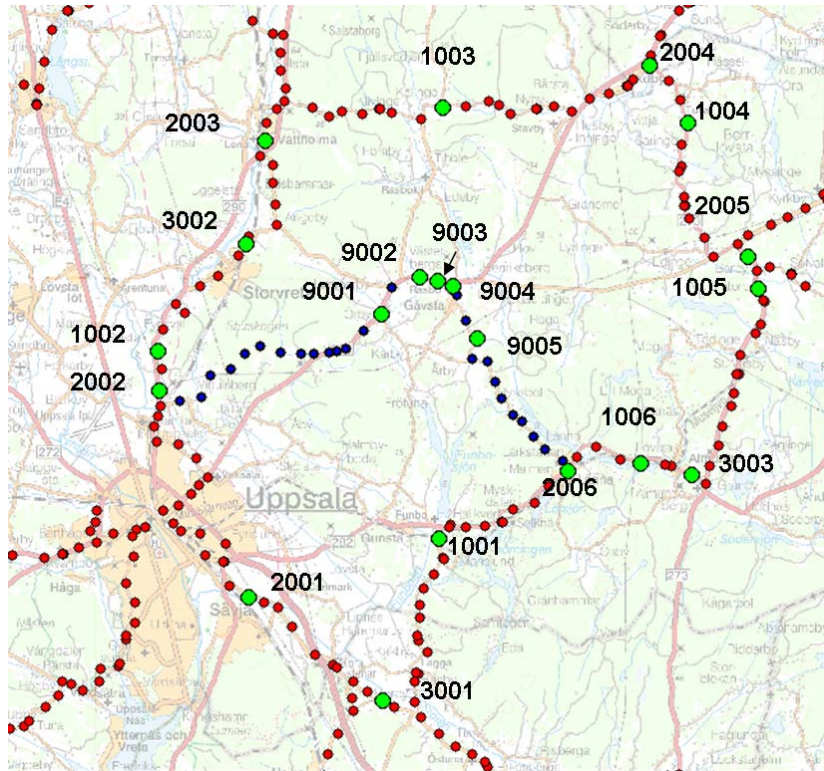
Som underlag för utvärderingen av de två första mätsituationerna användes huvudsakligen de testmätningar som Lantmäteriet genomförde under våren 2008 i Uppsala-området. Mätningarna utfördes genom samtidig statisk mätning på ett antal "lokala punkter" och på anslutningspunkter (passpunkter) i RH 2000 i omgivande riksavvägningsslinga (Se *LMV-rapport 2010:5*). För att kunna verifiera resultaten av testmätningarna valdes ett område där Lantmäteriet tidigare hade avvägt ett förtätningståg i riksnätet för att ansluta ett lokalt höjdnät till RH 2000 inför kommunens övergång till RH 2000. Som "lokala punkter" användes punkter i förtätningståget.

Mätningen genomfördes som två st 24-timmars kampanjer, med omcentrering efter första dygnet. I den omgivande slingan i riksnätet mättes 15 passpunkter, och i det "lokala nätet" mättes samtidigt 5 punkter. De omgivande punkterna valdes ut med c:a 5 km avstånd, och avståndet mellan de lokala punkterna var 1 - 2 km (se figur 1). Av passpunkterna var 10 st markerade i berg, och 4 av de lokala punkterna. Övriga punkter var också markerade i stabilt underlag.

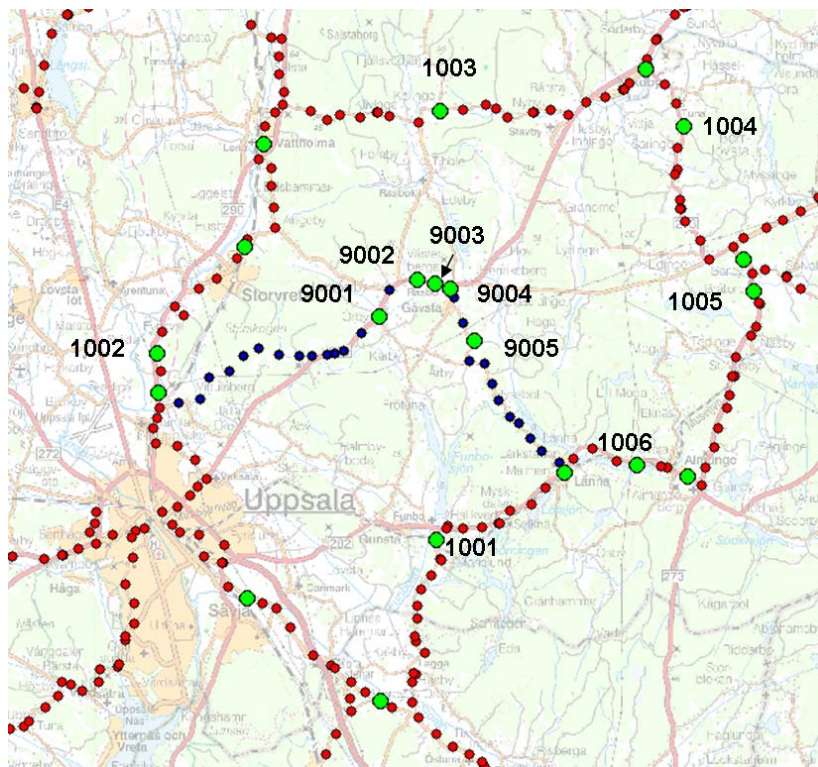
Förutom dessa mätningar, som utfördes med standardantennor (i detta fall Leica-antennor typ AX1202 GG), genomfördes även en motsvarande mätning med s.k. Dorne Margolin chokering antenner för att se om dessa kunde förbättra resultaten. Här utfördes mätningen på 6 av de tidigare mätta passpunkterna och alla de tidigare mätta lokala punkterna, (se figur 2). Även denna mätning genomfördes som två st 24-timmars kampanjer, med omcentrering efter första dygnet. Av de 6 passpunkterna var nu 5 st markerade i berg.

Ur 24-timmarssessionerna kunde man sedan utvärdera lösningar med olika långa observationstider. Även antalet passpunkter kunde varieras i olika beräkningar. Därigenom skulle man kunna finna en metod mera anpassad för praktisk mätning.

## Testmätningar till grund för de genomförda studierna



**Figur 1:** Röda punkter visar riksnätet i området, blå punkter visar förtätningståget och numrerade gröna punkter visar de valda mätpunkterna i den första mätkampanjen, (18-20 februari 2008).



**Figur 2:** Röda punkter visar riksnätet i området, blå punkter visar förtätningståget och numrerade gröna punkter visar de valda mätpunkterna i den andra mätkampanjen (17-21 mars 2008).

## 4 Etablering av punkter i RH 2000 genom stornätsmätning med statisk GNSS-teknik

I denna mätsituation förutsätts en användare som vill etablera utgångspunkter i RH 2000 för vidare mätning med avvägning eller GNSS-teknik. Därför krävs så bra höjder som möjligt i RH 2000 på de nya punkterna. Här krävs tillgång till flera mottagare och antenner för att så långt som möjligt kunna genomföra mätningarna i så få sessioner som möjligt och med tillräckligt antal gemensamma punkter mellan sessionerna. Det krävs också ett beräkningsprogram för baslinjeberäkning och nätutjämning.

För utvärdering av denna mätsituation har testmätningarna med standardantennerna i "Uppsalaslingan" använts. I försöket har mätning genomförts i 2 + 2 st 24-timmars-sessioner med totalt 20 respektive 11 mottagare. Dessa har sedan delats upp i sessioner om 1, 2, 3 och 6 timmar. Utvärderingen av resultaten visar att en observationstid på minst 2 men helst 3 timmar erfordras för att uppnå ett tillförlitligt resultat.

Sessionerna har sedan beräknats oberoende av varandra. GPS-nätet har anslutits på kringliggande höjdfixar i riksnätet i höjd, dels genom fast utjämning och dels genom fri nätutjämning och inpassning (med lutande plan). Metoden med fri utjämning och inpassning är normalt sett att föredra framför en fast utjämning, genom att linjära trender i troposfären eller brister i geoidmodellen bättre "tas om hand" i detta fall. För omräkning mellan höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 och höjder i RH 2000 har geoidmodellen SWEN08\_RH2000 använts.

I ett praktiskt fall är tillgången på mottagare och antenner ofta begränsad, och en uppdelning av mätningarna i flera sessioner blir då nödvändig. Beräkningar har därför gjorts också för det fall där 6 st mottagare har använts vid mätning på 11 punkter, varav 6 utgångspunkter och 5 lokala punkter. I detta fall har mätningarna delats in i 3 sessioner med sessionslängder på 3 timmar.

Beräkningar har också gjorts för ett fall där 6 mottagare har använts vid mätning på endast 9 punkter, varav 6 utgångspunkter och 3 lokala punkter. Här har mätningarna delats in i 2 sessioner med sessionslängder på 3 timmar.

Vare sig mätningarna kan göras i en session eller måste delas upp på flera sessioner är det viktigt att antenner av samma modell kan användas. Antenner av nyare modell är generellt sett av högre och mer homogen kvalitet än äldre modeller.



GPS-beräkningen har genomförts på vanligt sätt genom beräkning av baslinjer som sedan utjämnats genom geodetisk nätutjämnning.

Beräkning kan även göras baserad på jonosfärfri linjärkombination av L1 och L2, här benämnd Lc. Teoretiskt så skall effekten från jonosfären tas bort vid Lc, och ge bättre resultat på främst längre avstånd. Däremot förstärks brus-nivån i fasmätningsobservationerna ca 3 ggr genom linjärkombinationen, vilket gör att på korta avstånd bör beräkning på bara L1 vara att föredra. Även antennfel p.g.a. bristande antennmodellering förstärks vid jonosfärfri linjärkombination. Resultaten i denna studie visar inte någon markant skillnad mellan beräkning på L1 resp Lc. Detta stämmer inte riktigt med tidigare rekommendationer, där beräkning på bara L1 ansetts vara att föredra för denna typ av tillämpning. Frågan om L1 eller Lc för denna typ av mätning bör därför bli föremål för vidare studier.

Standardmetoden i detta arbete har varit att tillämpa fri nätutjämnning där en punkt (som är relativt bra känd i plan och höjd) hålls fast. Därefter korrigeras (de ungefärliga) höjderna i det fria nätet från höjd över ellipsoiden till höjd över geoiden genom en geoidmodell. Slutligen passas det (geoidkorrigerade) fria GPS-nätet in på kända höjdfixar i omgivande avvägningsslinga (punkt 1001 till 3003 i figur 2) genom ett lutande plan.

Alternativet till standardmetoden är utjämnning av de beräknade baslinjerna till ett geodetiskt nät med ingående kända höjdfixar i avvägningsslingan som kända, s.k. fast utjämnning. Även här måste korrektion för geoiden göras, t.ex. genom att först addera geoidhöjd från vald geoidmodell till höjder i RH 2000 på kända fixar, genomföra geodetisk nätutjämnning som fast utjämnning, och sedan subtrahera geoidhöjden enligt samma modell för alla punkter i nätet. Vid den fasta utjämnningen har inga lutnings/rotationsparametrar lösts ut.

## 4.1 Resultat

Resultatet av utvärderingen visar att etablering av nya punkter med denna metod kan göras med en förväntad osäkerhet på c:a 10 mm (1  $\sigma$ ) vid en observationstid på 3 timmar och samtidig mätning av 6 passpunkter och 5 nya punkter. I det fall endast 6 mottagare och antenner är tillgängliga måste mätningen delas in i flera sessioner. Ett minimalalternativ är då att mäta 6 passpunkter och 3 nypunkter, vilket går att genomföra på två sessioner. Resultaten visar att osäkerheten i det fallet blir några mm större, se tabell 1.

För denna mätsituation blev resultatet likartat med Dorne Margolin-antennerna (DM) som med standard-antennerna, förutsatt att samma fabrikat och modell av antenner användes. I vårt försök användes

DM-antennerna från två olika fabriker visade sig försämra resultatet något. Om utvärdering görs baserad på bara det ena fabriken får dock ett likvärdigt resultat som med standardantennen.

**Tabell 1:** Osäkerhet i höjdbestämning i enskild punkt (beräknat som RMS av höjdfel). Ett nät med 6 passpunkter och 3-5 nypunkter har beräknats och passats in genom ett "lutande plan" på 6 riksnätsfixar med kända höjder i RH 2000. Nätet är mätt och beräknat i 1, 2 eller 3 sessioner med 11 eller 6 samtidiga mottagare. Mätning genomförd med samma typ av standardantennerna på alla punkter.

Nätet mätt i antal sessioner	L1 / Lc i GPS-beräkning	Sessions längd (h)	Antal beräknade nät i statistiken	RMS av höjdfel för enskild nypunkt (mm)
1	L1	2	24	5
1	L1	3	16	5
1	L1	6	8	5
1	Lc	3	16	6
3	L1	3	15	6
2	L1	3	15	7
2	Lc	3	15	5

## 5 Punktbestämning i RH 2000 – statisk mätning mot SWEPOS

Här förutsätts en användare som vill etablera en eller flera utgångspunkter i RH 2000, men som har tillgång till endast en GNSS-mottagare och som inte har möjlighet att själv utföra beräkningar.

Denna mätmetod är också lämplig att under vissa förutsättningar använda för att ansluta lokala höjdnät till RH 2000.

Även för utvärdering av den noggrannhet som kan förväntas i denna mätsituation har testmätningarna i "Uppsalaslingen" använts. Metoden är att med en eller ett fåtal GNSS-mottagare bestämma anslutningspunkter mot RH 2000 med statistisk mätning mot de permanenta referensstationerna i SWEPOS, och användning av geoidmodellen SWEN08\_RH2000. Beräkningen av varje mätt punkt görs sedan i SWEPOS Beräkningstjänst.

I försöket har mätning genomförts i 2 + 2 stycken 24-timmars-sessioner med totalt 11 mottagare. Under de två första dygnen användes Leica-antennor och under de två sista användes Dorne Margolin T-antennor på samma 11 punkter. Mätningarna på var och en av de 11 punkterna, både passpunkter och "nypunkter" har sedan delats upp i sessioner om 1, 2, 3, 4, 6 och 24 timmar och beräknats i SWEPOS beräkningstjänst. Resultatet av utvärderingen visar att etablering av enskilda punkter i RH 2000 med denna metod kräver en observationstid på 2 timmar för att ge ett tillförlitligt resultat. Här redovisas således utvärderingen av denna metod utifrån en observationstid på två timmar.

Resultatet kan förbättras genom inpassning med lutande plan, vilket normalt sett ger bättre möjlighet att ta hand om linjära trender i t.ex. troposfären eller brister i geoiden. Denna metod kan därför rekommenderas.

Genom att även mäta på ett antal passpunkter i riksnätet (se figur 2) kan de nya punkterna, efter beräkning av mätningarna i SWEPOS beräkningstjänst, passas in på kända höjder i RH 2000. Inpassningen av de nya punkterna görs då som ett lutande plan. Vid en sådan tillämpning krävs mätning på minst 4 passpunkter förutom på de nya punkter som ska bestämmas. För att spara tid i denna situation är det en fördel att ha tillgång till flera mottagare, så att mätning kan göras på flera punkter samtidigt. Det är även här viktigt att använda antenner av samma modell.

Vid inpassningarna har observationer från olika tidsintervall för alla punkter utnyttjats, för att simulera att endast en mottagare har använts. Inpassningar har gjorts med sex passpunkter för mätningarna med Leica- respektive Dorne Margolin T-antennor. För

att utvärdera noggrannheten beroende på antalet mätta passpunkter har inpassning med fyra passpunkter gjorts, liksom ett skift med två passpunkter.

## 5.1 Resultat

Resultatet av utvärderingen visar att etablering av enskilda punkter i RH 2000 med denna metod kräver en observationstid på 2 timmar för att ge ett tillförlitligt resultat. Längre observationstid ger endast marginella förbättringar av noggrannheten. I denna undersökning beräknades RMS-värdena till 21 mm ( $1\sigma$ ) för Leica-antennerna. För Dorne Margolin T-antennerna erhöles ett RMS på 12 mm ( $1\sigma$ ). Medelavvikelsen blev 20 mm för Leica-antennerna och 10 mm för Dorne Margolin T-antennerna.

Genom inpassningsförfarandet reduceras normalt en del systematiska effekter såsom linjära trender i t.ex. troposfären eller brister i geoiden. Resultaten kunde också i detta fall förbättras väsentligt. Vid inpassning med sex passpunkter blev RMS-värdena ( $1\sigma$ ) här 8 mm för både Leica- och Dorne Margolin T-antennerna. Medelavvikelsen blev 2 mm för Leica-antennerna och 6 mm för Dorne Margolin T-antennerna.

För inpassningsalternativet med 4 passpunkter och för skiftet med två passpunkter med Leica-antennerna blev vid detta tillfälle både medelavvikelser och RMS-värdena marginellt högre.

Tabell 2: Översiktliga resultat.

Resultat	Medelavvikelse (mm)	RMS (mm)
Leica, utan inpassning	20	21
Leica, med inpassning	2	8
DM, utan inpassning	10	12
DM, med inpassning	6	8

## 6 Etablering av punkter i RH 2000 med hjälp av SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

I detta fall förutsätts en användare som vill mäta in detaljer i RH 2000 med hjälp av SWEPOS® tjänster för nätverks-RTK.

För utvärdering av denna mätsituation har data från de s.k. monitorstationerna utnyttjats, vilka kvalitetskontrollerar och övervakar referensstationerna i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst. De monitorstationer som undersöktes var stationerna i Nol, Marieholm och Vetlanda. Stationerna i Nol och Marieholm kvalitetskontrollerar en s.k. projektanpassad tjänst i Götaälvdalen, som innebär att SWEPOS har förtätats till ca 10-20 km mellan referensstationerna för att bland annat förbättra noggrannheten och redundansen i tjänsten. Stationen i Vetlanda kvalitetskontrollerar den ordinarie nätverks-RTK-tjänsten (standardtjänsten) baserad på ca 70 km mellan referensstationerna.

Från monitorstationerna erhålls uppdaterade RTK-positioner varje sekund, där ominitialisering sker efter en minut. Dessa mätningar pågår kontinuerligt. Data för två månader från dessa stationer har använts i utvärderingen.

Vanliga grundläggande statistiska mått beräknades tillsammans med en s.k. autokovariansfunktion, bland annat för att undersöka hur lång tid (korrelationslängd) det tar att erhålla en "oberoende" mätning, d.v.s. att mätningen inte ska korrelera med föregående mätningar. Korrelationer orsakas av allt från flervägsfel och antenn-effekter till atmosfärsfel.

En konsekvens av korrelation i observationerna är att mätningarna kan upplevas som bra, då korrelationen gör att alla fel är ungefär likadana. Repeterbarheten vid mätning under kort tid är alltså god, medan medeltalet får ett fel som liknar ett systematiskt fel.

### 6.1 Resultat

Resultatet av utvärderingen visar att vid bestämning av en enskild RTK-position baserad på SWEPOS standardtjänst kan ett medelfel i plan på ca 12 mm och medelfel i höjd på ca 27 mm förväntas, exklusive geoidfelet. Medelfelet i geoidmodellen uppskattas till 10 - 15 mm över hela landet. För projektanpassad tjänst baserad på 10 km mellan fasta referensstationer är motsvarande värden ca 6 mm respektive ca 11 mm. Tid till "oberoende" mätning för SWEPOS standardtjänst skattades till 25-35 minuter för plan samt 45-65 minuter för höjd. Tid till "oberoende" mätning för projektanpassad tjänst skattades för plan till 25-30 minuter och för höjd till 25-35 minuter. Detta innebär att upprepade mätning direkt efter varandra

inte ger "bättre" resultat, men genom att göra en oinitialisering minskar risken för grova fel. Resultaten sammanfattas i tabell 3, där projektanpassad tjänst betecknas som "PRTK" och vanlig tjänst som "NRTK".

**Tabell 3:** Översiktliga resultat. Skattad tid till "oberoende" mätning och skattat medelfel för projektanpassad tjänst och vanlig nätverks-RTK-tjänst i plan respektive höjd. OBS! Geoidfelet är inte inkluderat i de angivna medelfelen avseende höjd

<b>Korrelationslängder och osäkerhet</b>	<b>PRTK tid (min)</b>	<b>PRTK medelfel (mm)</b>	<b>NRTK tid (min)</b>	<b>NRTK medelfel (mm)</b>
<b>Plan</b>	25-30	6	25-35	12
<b>Höjd</b>	25-35	11	45-65	27

Det bör poängteras att tidsseparation mellan observationerna enligt tabell 3 ger en större förbättring av noggrannheten på mätningarna då vanlig nätverks-RTK-tjänst används jämfört med projektanpassad tjänst. Detta beror på att den vanliga nätverks-RTK-tjänsten har större osäkerhet i mätningarna än vad projektanpassad tjänst har, bland annat på grund av längre avstånd till referensstationerna m.m.

Slutligen bör påpekas att det som redovisas här angående korrelation i RTK-positioner berör fel då fixlösningen är korrekt bestämd, och är inte applicerbart på t.ex. grova fel som ibland kan uppkomma. För att identifiera grova fel som beror på t.ex. felaktig fixlösning torde en oinitialisering av RTK-rovern vara en lämplig åtgärd.

De resultat som har redovisats här styrks av slutsatserna från projektet CLOSE-RTK som genomfördes under 2008 i nära samarbete med SP och Chalmers. Det projektet syftade till att studera prestanda i SWEPOS utifrån ett "teoretiskt" angreppssätt (*Emardson et al. 2009*).

Hela denna studie (kapitel 6) går att läsa på Lantmäteriets hemsida som en LMV-Rapport 2010:2, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem (*Odolinski 2010a*).

## 7 Diskussion

Vid tillämpningar där högsta noggrannhet eftersträvas krävs statisk GNSS-mätning. Etablering av nya punkter i RH 2000 för vidare mätning, eller anslutning av befintliga lokala höjdnät till RH 2000 är exempel på sådana tillämpningar. Här har två metoder för statisk mätning beskrivits.

Metoden med klassisk stomnätsmätning torde ge det bästa resultatet om mätningarna kan genomföras i en mätsession, men metoden är tämligen resurskrävande. För bestämning av tre nya punkter krävs dessutom samtidig mätning på minst sex kända punkter. Detta kräver att användaren har tillgång till minst 9 mottagare med antenner av nyare modell och av samma typ. Mätningarna kan även delas upp i två sessioner, men ger då ett något mera osäkert resultat. Observationstiden bör i båda fallen vara minst tre timmar. För denna metod krävs också att användaren har programvara för att utföra beräkningarna.

**Tabell 4:** Översiktlig uppskattning av förväntad osäkerhet för en nypunkt i RH 2000 bestämd med de olika beskrivna metoderna. För nätverks-RTK har en uppskattad osäkerhet i geoidmodellen om 10-15 mm adderats till värdena i tabell 3.

Mätmetod	Osäkerhet i höjd i RH 2000 för enskild nypunkt (mm), ( $1\sigma$ )
Stommätning med GNSS	5-7
SWEPOS beräkningstjänst (punktvis mätning)	12-20
SWEPOS beräkningstjänst (punktvis mätning) +inpassning på kända höjdpunkter	8-10
SWEPOS RTK-tjänst, standardtjänsten	29-31
SWEPOS RTK-tjänst, Projektanpassad tjänst	15-19

Att genomföra statisk mätning med en mottagare mot de permanenta referensstationerna i SWEPOS är en betydligt mindre resurskrävande metod. Här kan en person med endast en mottagare i princip utföra motsvarande mätupdrag. Observationstiden för varje punkt bör vara minst två timmar. Beräkningen kan sedan göras i SWEPOS Beräkningstjänst. Därmed behövs inte heller någon egen programvara för beräkning. Jämfört med statisk stomnätsmätning är denna metod mycket enkel, och kan i princip användas av alla som

har tillgång till en GNSS-mottagare med en antenn av nyare modell. Noggrannhetsmässigt blir dock resultaten inte lika bra som vid stomnätsmätning. Noggrannheten kan troligen i de flesta fall förbättras genom att även mäta på minst två passpunkter och därefter passa in den nya punkten med ett skift, eller ännu hellre genom att mäta på fyra passpunkter och göra inpassning av den nya punkten med ett lutande plan. I den utvärdering som har gjorts här förbättrades osäkerheten ( $1\sigma$ ) från 20 mm till 10 mm genom detta förfarande.

Nätverks-RTK är den metod som är bäst lämpad för detaljmätning. Med denna metod kan en person med en utrustning på ett enkelt och snabbt sätt mäta in detaljer mot SWEPOS tjänster för nätverks-RTK. Eftersom mätningen på varje punkt sker under relativt kort tid, bör mätprojektet planeras så att någon form av överbestämning kan erhållas på mätningarna. Exempelvis kan man genom mätning på en känd punkt med hög kvalitet eller genom återbesök göra en ny mätning på någon/några punkter som har mätts in tidigare under mätpasset. Därigenom kan man få någon bekräftelse på att inga grova fel har introducerats i mätningarna. Dessutom kan medeltalsbildning av återbesöket med ursprunglig mätning, med en tillräckligt stor tidsseparation (enligt tabell 3), göra att osäkerheten i den mätta punkten minskar.

Vilka typer av detaljer som är lämpliga att mäta in med den ordinarie Nätverks-RTK-tjänsten får bedömas av användaren, då noggrannheten vid höjdmätning mot tjänsten inte räcker för mätning av alla typer av detaljer.

I vissa områden har tjänsten förfinats genom en förtätning av antalet referensstationer. Därigenom kan noggrannheten vid höjdmätning förbättras, och därmed kan Nätverks-RTK-tjänsten utnyttjas för flera tillämpningar. Planer finns nu på att under 2010 förtäta nätet på detta sätt i storstadsområdena.



## 8 Slutsatser

Ett syfte med de studier som presenteras i denna rapport har varit att undersöka vilken noggrannhet som kan uppnås vid höjdmätning med GNSS-teknik i olika mätsituationer.

En sådan mätsituation är etablering av nya punkter i RH 2000 för vidare mätning, genom stomnätsmätning med statisk GNSS-mätning. Resultaten visar att i ett praktiskt fall, med tillgång till 6 mottagare och med en observationstid på 3 timmar, kan sådana punkter under normala förhållanden bestämmas i RH 2000 med en osäkerhet på c:a 10 mm ( $1\sigma$ ). En osäkerhetsnivå på 5 mm torde dock inte kunna uppnås, vilket resultatet från inpassningen av det fria nätet på omkringliggande kända riksnätspunkter antyder. Nivån 10 mm torde i de flesta fall räcka för fortsatt mätning av detaljpunkter.

Metoden är även lämplig att använda vid anslutning av befintliga lokala höjdnät. Närnoggrannheten mellan fixpunkterna i nätet bibehålls då genom de tidigare avvägningarna. Här kan ett lokalt höjdnät passas in i RH 2000 med motsvarande noggrannhet. Nivån 10 mm torde i de flesta fall räcka för anslutning av ett isolerat lokalt höjdnät där inte närsamband krävs eller kommer att krävas med andra nät.

Denna metod har använts i många sammanhang och är väl beprövad. De resultat som redovisas här stöds av resultaten från många tidigare mätprojekt, och kan därför anses vara tämligen allmängiltiga.

En annan metod för etablering av punkter i RH 2000 är statisk GNSS-mätning med en eller några få mottagare och beräkning i SWEPOS beräkningstjänst. En fördel med denna metod är att mätningen kan genomföras med endast en mätutrustning och att ingen programvara behövs för att utföra beräkningarna. Resultaten visar att med en standardantenn och en observationstid på två timmar kan en punkt bestämmas i RH 2000 med en osäkerhet på c:a 20 mm ( $1\sigma$ ). Genom att också mäta på ett antal passpunkter och därefter göra en inpassning med lutande plan, kunde osäkerheten i detta fall förbättras till under 10 mm ( $1\sigma$ ), något beroende på antalet inmätta passpunkter. Detta antyder att denna metod också skulle kunna vara lämplig att använda vid anslutning av lokala höjdnät till RH 2000, och kan då ses som ett alternativ till stomnätsmätning med statisk GNSS-mätning.

De resultat som redovisas här grundas framförallt på de gjorda testmätningarna, och denna metod har inte använts och utvärderats i samma omfattning som metoden med stomnätsmätning. Man bör alltså inte dra alltför långtgående slutsatser av dessa resultat innan metoden har utvärderats ytterligare. Gjorda utvärderingar av

beräkningstjänsten antyder ändå att resultaten är rimliga. De resultat som redovisas efter inpassning är enbart grundade på testmätningarna.

De resultat som redovisas angående mätning mot SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst förutsätter att man vid mätning beaktar rekommendationerna om tidsseparation i kap. 6, liksom övriga rekommendationer i Appendix 3 i denna rapport. Man bör också tänka på att geoidfelet inte är inkluderat i de noggrannhetsuppgifter som här redovisas avseende höjdkomponenten.

Det är viktigt att komma ihåg att de resultat som har uppnåtts här med statisk GNSS-mätning grundas på mätningar som har gjorts i ett område med tänkta goda yttre förhållanden vid ett tillfälle under sammanlagt fyra dygn. Resultaten bör ändå ge någon uppfattning om vilken noggrannhet som kan förväntas vid motsvarande mätning i ett annat område med motsvarande goda yttre förhållanden.

De bifogade checklistorna innehåller en del praktiska anvisningar för att uppnå bästa resultat vid mätning för de olika tillämpningarna. Listorna bygger både på erfarenheter från de redovisade testmätningarna och på andra studier både i Sverige och i andra länder.

## 9 Behov av ytterligare studier

Mottagare som mäter på både L1 och L2 möjliggör en beräkning på jonosfärsfri linjärkombination (benämnd L3 eller Lc). Vid jämförelse av beräkning på L1 och Lc i den första mätsituationen visade det sig att resultaten blev likvärdiga, vilket inte var väntat. Frågan om beräkning ska ske på L1 eller Lc för denna typ av mätning bör därför bli föremål för vidare studier.

En intressant iakttagelse är också att resultatet av metoden med inpassning gav ett så bra resultat vid statisk mätning med en GNSS-mottagare och beräkning i SWEPOS beräkningstjänst. Dock är detta resultat ännu enbart baserat på erfarenheterna från de här redovisade testmätningarna (kap. 5). Metoden skulle kunna vara ett enkelt, billigt och noggrant alternativ för en användare vid etablering av nya punkter i RH 2000, eller vid anslutning av lokala höjdnät till RH 2000. I testområdet var terrängen förhållandevis flack. Det kunde därför vara av intresse att göra testmätningar i ett mera kuperat område där passpunkterna har stor höjdskillnad. Om de nu uppnådda resultaten kunde verifieras genom en sådan mätkampanj torde detta vara en mycket användbar mätmetod.

Geoidens variationer över korta avstånd i mera kuperade områden bör studeras närmare för att ge besked om hur bra geoidmodellen SWEN08\_RH2000 kan förväntas passa i sådan terräng.

## 10 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 Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och Chalmers tekniska högskola. SP report 2009:23,

<http://www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx> ,

besökt 2009-11-30.

*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 MättingsKungörelsen, Geodesi, Stommätning, Lantmäteriverket i Gävle. Url: [http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/HMK/dagensHMK/HMK-Geodesi\\_Stom.pdf](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, Lantmateriet, 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, Lantmateriet, Gävle.

*Johnsson F & Wallerström M, 2007:* En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/Glonass. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2007:1, Lantmateriet, Gävle.

*Kempe C & Jivall L, 2002:* SWEPOS™ Automated Processing Service. Presenterad på den 14:de "General Meeting of the Nordic Geodetic Commission (NKG)" i Espoo, Finland, 1-5 oktober, 2002, [http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi\\_gps\\_och\\_detaljmatning/Rapporter-Publikationer/Publikationer/NKG\\_2002\\_paper\\_ber-aut.pdf](http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Rapporter-Publikationer/Publikationer/NKG_2002_paper_ber-aut.pdf), besökt 2010-02-10.

*Lilje C, Engfeldt A, Jivall L,(2007):* Introduktion till GNSS, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2007:11 Lantmateriet, Gävle.

*Lilje M, Eriksson P-O, Olsson P-A, Svensson R, Ågren J (2007):* RH 2000 och Riksavvägningen. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2007:14, Lantmateriet, 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

*Liu K, 2010: A study of the possibility to connect local levelling networks to the Swedish height system RH 2000 using GNSS. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, Lantmäteriet, Gävle. Under utarbetande.*

*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 & Sunna J, 2009: Detaljmätning med nätverks-RTK - en noggrannhetsundersökning. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2009:2, Lantmäteriet, Gävle.*

*Odolinski R 2010a: Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:2, Lantmäteriet, Gävle.*

*Odolinski R 2010b: Checklista för nätverks-RTK. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:3, 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.*

*Eriksson P-O (2010) : Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 - GNSS stommätning. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:5, Lantmäteriet, Gävle.*

*Engfeldt A, Odolinski (2010): Punktbestämning i RH 2000 - Statisk mätning mot SWEPOS. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:6, Lantmäteriet, Gävle.*



## Appendix 1 - Checklista för etablering av punkter i RH 2000 genom stomnätsmätning med statisk GNSS-teknik

I checklistan redovisas hur GNSS-tekniken bör användas vid klassisk statisk stomnätsmätning. Syftet är här att bestämma utgångspunkter för vidare mätning. Metoden kan även användas för anslutning av befintliga lokala höjdnät till RH 2000 där rimliga anslutningsmöjligheter med avvägning saknas. Listan redovisas först i punktform, varefter vissa av punkterna beskrivs mera detaljerat.

Checklistan baseras huvudsakligen på erfarenheterna från de genomförda testmätningarna, men även på en del andra praktiska fall, bl a där lokala höjdnät har anslutits med denna metod.

Checklistan redovisas som bilaga i denna rapport, och även som fristående dokument på [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se) Den fristående check-listan kommer att kompletteras och revideras vid behov.

### Checklista

#### 1 Mätmetod

- 1.1 Mätningen utförs som statisk mätning med en observationstid på minst 2 men helst 3 timmar.
- 1.2 Använd minst 6 utgångspunkter i riksnätet om 3 nya punkter ska bestämmas.
- 1.3 Gör om möjligt alla mätningar i en gemensam session.

#### 2 Val och kontroll av punkter

- 2.1 Gör en grundlig rekognoscering för att välja ut de lämpligaste utgångspunkterna och för att hitta eventuella excentriska uppställningsplatser.
- 2.2 Höjdmätning med GNSS är särskilt känsligt för sikthinder. Gör därför excentrisk uppställning vid minsta tvekan.
- 2.3 Välj punkter som inte har sikthinder över 12 - 15° elevation (helst fri horisont ned till 10°).
- 2.4 Välj riksnätspunkter väl fördelade runt det punkter som ska bestämmas.
- 2.5 Eftersträva punkter markerade i berg och i öppen terräng.

2.6 Kontrollera alla befintliga punkter som ska ingå i mätkampanjen så att de inte har rört sig.

### 3 Val av antenner

3.1 Använd samma typ av antenn på alla punkter.

3.2 Antenner av nyare modell är generellt sett av högre och mera homogen kvalitet än äldre antenner.

### 4 Mätning av antennhöjder

4.1 Mät antennhöjden noga både före och efter mätningen.

4.2 Redovisa all avvägning av excentriska punkter och mätta antennhöjder på ett separat protokoll.

### 5 Mätning

5.1 Logga data med 5 eller 15 sekunders intervall

5.2 Sätt elevationsmask i mottagaren till 10° eller lägre.

5.3 Observationstiden bör vara minst två men helst tre timmar.

### 6 Beräkning

6.1 Sätt elevationsmask vid beräkning till 12° - 15°.

6.2 Vid fri nätutjämning, korrigerar med geoidmodell från "höjd över ellipsoid" till "höjd över geoid", och gör därefter inpassning av GPS-nätet med ett lutande plan på höjder i RH 2000. Ev. kan s.k. "fast utjämning" användas i stället för fri nätutjämning och inpassning.



## Beskrivning till checklistan

### 1 Mätmetod

Avsikten är alltså att bestämma nya punkter i RH 2000 för fortsatt mätning. Det görs genom samtidig mätning på ett antal omgivande punkter i riksnätet och de nya punkterna. För ett tillförlitligt resultat krävs minst 6 utgångspunkter i riksnätet, och minst 3 nya punkter. De omgivande punkterna i riksnätet väljs så att de fördelas jämnt runt det aktuella mätområdet.

Mätningen utförs som statisk mätning med en observationstid på minst 2 men helst 3 timmar. Loggningsintervallet bör vara 5 eller 15 sekunder.

Det bästa resultatet uppnås om allt kan mätas i samma session, men om inte tillräckligt många mottagare och antenner finns tillgängliga, måste mätningen delas upp i flera sessioner, beroende på de resurser som finns. Därvid görs en sessionsindelning enligt HMK-GPS.

### 2 Val och kontroll av punkter

Liksom vid all mätning kontrolleras de tänkta utgångspunkterna i riksnätet innan mätningen påbörjas, för att fastställa att ingen punkt har rört sig. Punkter markerade i berg rubbas normalt inte, och bör eftersträvas för att minimera kontrollmätningarna. Om bergpunkter inte är tillgängliga görs kontrollmätningar genom att avväga till närmaste punkt i riksnätet. Eventuellt kan "grannen" till osäkra punkter tas med i GPS-nätet för att på så sätt få en kontroll som alternativ till avvägning. Detta kan då kräva ytterligare en mät-session.

Inför mätningen bör en grundlig rekognoscering göras för att välja ut de lämpligaste punkterna och hitta eventuella excentriska uppställningsplatser. Därigenom underlättas mätningens arbetet. På grund av kravet på öppen terräng är det inte lätt att hitta fixpunkter som är lämpliga att använda direkt som uppställningspunkter. Vid avvägning finns inget krav på öppen terräng utan det viktigaste kravet är då att punkterna är stabilt markerade, och fixpunkterna är därför markerade med detta syfte. Det innebär att de flesta fixpunkter är olämpliga att använda som centrala uppställningspunkter vid GNSS-mätning.

Erfarenheten har visat att höjdmätning med GNSS är särskilt känslig för sikthinder. Mätpunkterna måste därför ligga i öppen terräng, och ha en fri horisont över 12 - 15° elevation.

### 3 Val av antenner

Det är viktigt att använda samma typ av antenn på alla punkter, då olika antenntyper har olika egenskaper och kan ge något olika

resultat. Äldre antenner av samma typ kan också variera inbördes. Generellt gäller att antenner av nyare modell är av högre och mer enhetlig kvalitet än äldre modeller.

Det kan också rekommenderas att kalibrera de antenner som används, antingen individuellt i ett testnät eller relativt varandra.

#### 4 Mätning av antennhöjder

Vid risk för sikthinder bör excentrisk uppställning göras. För att åstadkomma så bra förhållanden som möjligt för GNSS-observationer torde excentrisk markering behöva användas i de flesta fall. Därvid markeras en tillfällig stabil uppställningspunkt med en entydig högsta punkt på lämpligt sätt i närheten av fixpunkten där fri sikt finns, och avvägs från höjdfixen. Därefter görs uppställningen över den tillfälliga markeringen och antennhöjden mäts från denna punkt.

Antennhöjden mäts noggrant före och efter mätningen. Den uppmätta antennhöjden knappas in i mottagaren innan mätningen påbörjas. All avvägning av excentriska punkter och mätta antennhöjder redovisas även separat på lämpligt mätprotokoll.

#### 5 Mätning

Mätning av GPS-nätet bör planeras så att perioder med dålig satellit-tillgänglighet undviks.

Mottagare som kan ta emot GPS/GLONASS- signaler är framförallt gynnsamma att använda under förhållanden där sikthinder kan förekomma. Då GNSS-mätning med höga noggrannhetskrav i vertikalled är särskilt känsligt för sikthinder bör sådana förhållanden undvikas. Att använda GLONASS torde därför i detta sammanhang inte ge ett nämnvärt bättre resultat.

Mottagare som mäter på både L1 och L2 bör användas. Detta möjliggör en beräkning på jonosfärfri linjärkombination (benämnd L3 eller Lc) vid behov.

#### 6 Beräkning

Beräkning av GPS-nätet görs på liknande sätt som vid ordinarie stommätning med GPS, och bör kunna genomföras i vanligt förekommande programvara för detta. Att speciellt notera är dock:

- En punkt måste vara ungefärligt känd i plan och höjd vid GPS-beräkningen. Om ingen punkt har bra plan-koordinater, kan en av punkterna beräknas i SWEPOS automatiska beräkningstjänst.
- Denna checklista är baserad på erfarenheter där GPS-beräkningarna är genomförda huvudsakligen på enbart L1-observationer. Beräkning på jonosfärfri linjärkombination

(benämnd L3 eller Lc) kan dock rekommenderas som en kontroll och har i detta fall visat sig ge likvärdiga resultat.

- Noggranna satellitbanddata (precise ephemerides) bör användas.

### **Fast utjämning/inpassning**

Vid fast utjämning hålls höjden för kända höjdfixar fast (efter korrektion med geoidmodell), och motsättningar internt mellan beräknade baslinjevektorer och mellan baslinjevektorer och höjdfixar tas upp av minstakvadratmetoden genom att tillföra förbättringar på varje baslinjevektor. Detta innebär att eventuella lutningar/tippningar mellan GPS-beräknade baslinjer och höjdsystemet, korrigerat med en geoidmodell, måste tas om hand i utjämningen där de betraktas som slumpmässiga fel. Liknande tippningar kan orsakas av en icke-homogen atmosfär.

Vid fri nätutjämning och inpassning tas tippningar om hand av den matematiska modellen i form av ett lutande plan, oavsett om tippningen beror på geoidmodell, atmosfär eller något annat. Motsättningar orsakade av tippningar dyker därför inte upp som förbättringar i utjämningen, utan absorberas av den matematiska modellen.

Såvida det inte samtidigt löses för en tippning (lutande plan) i den fasta utjämningen, bör metoden med fri nätutjämning och inpassning vara att föredra. I de genomförda testmätningarna är dock skillnaderna mellan fast utjämning och inpassning små.



## Appendix 2. Checklista, Punktbestämning i RH 2000 - Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS

Metoden kan tillämpas exempelvis i det fall när en höjdfix har försvunnit/förstörts och skall ersättas, eller när nyetablering av punkter behövs för vidare mätning med GNSS eller med avvägning.

Checklistan redovisas som bilaga i denna rapport, och även som fristående dokument på [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se) Den fristående check-listan kommer att kompletteras och revideras vid behov.

### Checklista

1. Val av punkt, antenn och mottagare
  - 1.1 Välj ett punktläge som är lämpligt för sitt syfte. I bästa fall ett läge som också är idealiskt för GNSS-mätning.
  - 1.2 Markera punkten.
2. Planering av mätning
  - 2.1 Gör en satellitprognos för punkten och välj ut ett tidsintervall på minst två timmar då det finns tillräckligt med satelliter. Tillräckligt är 7-15 stycken.
3. Mätning av antennhöjder
  - 3.1 Sätt upp ett stativ och fäst antennen på detta enligt rekommenderad praxis.
  - 3.2 Mät antennhöjden noggrant och skriv in denna i mottagaren eller fältdatorn innan mätningen startas.
4. Val av elevationsmask och loggningsintervall
  - 4.1 Välj en elevationsmask på 12 - 15°. Om det finns många satelliter, d.v.s. 12-15 stycken synliga, kan det vara en fördel att välja 15°.
  - 4.2 Se till att mottagaren loggar observationsdata med intervallet 30 sekunder (eller delar därav).
5. Avslutning av mätningen
  - 5.1 När erforderlig tid åtgått, avsluta loggningen, spara (sker ibland automatiskt i mottagaren/fältdatorn) och stäng av mottagaren.

- 5.2 Mät och skriv ner antennhöjden igen och plocka sedan ner antenn och stativ.
6. Beräkning
  - 6.1 För över observationsdata till din dator.
  - 6.2 Beräkna nypunkten på egen hand mot de fem närmsta SWEPOS-stationerna eller (vilket rekommenderas) använd SWEPOS Beräkningstjänst. För det senare måste observationsdata göras om till formatet RINEX (Receiver INdependent EXchange format). Sedan används ftp och [www.swepos.com](http://www.swepos.com) för att ladda upp filen, respektive att utföra beställningen. Koordinaterna för punkten levereras sedan i båda höjdsystemen RH2000 och RH70, liksom i SWEREF 99 TM (och även SWEREF 99 cart och SWEREF 99 lat long ellh).
7. Inpassning
  - 7.1 Nu kan höjdkoordinaten för punkten förbättras genom inpassning. Fortsätt i så fall med punkt 7.2-7.5.
  - 7.2 Upprepa punkt 3-6 för två (eller fyra) punkter med kända höjdkoordinater som kringgärdar nypunkten geografiskt.
  - 7.3 Skapa två så kallade k-filer (en textfil med koordinater).
  - 7.4 Den nya höjden på nypunkten beräknas sedan i Lantmäteriets transformationsprogram Gtrans.
  - 7.5 Resultatet blir en bättre höjdkoordinat för punkten.

## Beskrivning till checklistan

### 1. Val av punkt, antenn och mottagare

Den nya höjdfixen placeras helst på ett ställe som är gynnsamt för GNSS-mätning och mäts in statistiskt under minst 2 timmar. Efteråt beräknas den antingen mot SWEPOS Beräkningstjänst eller på egen hand i en fabrikatsspecifik standardberäkningsprogramvara mot lämpligen fem stycken av SWEPOS referensstationer.

Inför mätningen bör en grundlig rekognoscering göras för att välja ut en lämplig placering av den nya punkten med avseende på den fortsatta användningen. På grund av kravet på öppen terräng kan det vara svårt att hitta en lämplig bergknalle (eller motsvarande) som är lämplig att använda direkt som uppställningspunkt vid GNSS-mätning. För att underlätta mätningens arbete är det bra om det går att undvika en excentrisk uppställningsplats. Punkter markerade i berg rubbas normalt inte, och bör därför eftersträvas.

Generellt gäller att antenner av nyare modell är av högre och mer enhetlig kvalitet än äldre modeller.

Mottagare som kan ta emot både GPS- och GLONASS-signaler är framförallt gynnsamma att använda under förhållanden där sikthinder kan förekomma. Då GNSS-mätning med höga noggrannhetskrav i vertikalled är särskilt känsligt för sikthinder bör sådana förhållanden undvikas. Att använda GLONASS torde därför i detta sammanhang inte ge ett nämnvärt bättre resultat.

Mottagare som mäter på både L1 och L2 bör användas. Detta möjliggör en beräkning på jonosfärsfri linjärkombination (benämnd L3 eller Lc) vid behov.

### 2. Planering av mätning

Mätning av punkten bör planeras så att perioder med dålig satellittillgänglighet undviks. Sådana undviks enklast genom att utföra en så kallad satellitprediktion före mätning, exempelvis på

[www.swepos.com](http://www.swepos.com). Lämpligt antal satelliter är 7-15 stycken.

### 3. Mätning av antennhöjder

Antennhöjden mäts noggrant före och efter mätningen. Den uppmätta antennhöjden knappas in i mottagaren innan mätningen påbörjas och redovisas lämpligen i ett mätprotokoll.

Erfarenheten har visat att höjdmätning med GNSS är särskilt känslig för sikthinder. Mätpunkten måste därför ligga i öppen terräng, och ha en fri horisont över 12 - 15° elevation. För att åstadkomma så bra förhållanden som möjligt för GNSS-observationer bör excentrisk markering användas i sådana fall. Då markeras en tillfällig stabil

uppställningspunkt med en entydig högsta punkt på lämpligt sätt i närheten av fixpunkten där fri sikt finns, och avvägs från höjdfixen. Därefter görs uppställningen över den tillfälliga markeringen och antennhöjden mäts från denna punkt. Avvägning av en excentrisk punkt och mätta antennhöjder för denna redovisas även separat på lämpligt mätprotokoll.

#### 4. Val av elevationsmask och loggningsintervall

Ju lägre elevation satelliterna har, desto mer bryts satellitsignalerna i atmosfären. Ju mer satellitsignalerna bryts i atmosfären, desto längre väg går dessa och påverkar därmed mätningen på ett icke optimalt sätt. Satellitsignalen antas brytas för mycket för att kunna användas om den ligger under  $10^\circ$ . Någonstans mellan  $10$  och  $15^\circ$  brukar elevationsgränsmasken anges till. Enligt Lantmäteriets praxis brukar en elevationsmask på  $13^\circ$  användas som en gyllene medelväg. Det går heller inte att sätta elevationsmasken för högt. Dels riskeras att få in för få satelliter för att uppnå en bra mätning, dels går DOP-värdet (Dilution Of Precision) upp. DOP-värdet är ett mått på satellitgeometrin och det finns ett antal olika sådana. Det som Lantmäteriet använder är PDOP-värdet (Position DOP) och detta får inte vara högre än 4,0 om en tillräckligt bra satellitgeometri skall erhållas, samtidigt som inte noggrannheten i mätningen skall degraderas.

SWEPOS Beräkningstjänst använder sig av beräkningsintervallet 30 sekunder. Därför skall data loggas med intervallet 30 sekunder eller delar därav (1, 2, 3, 5, 6, 10 eller 15 sekunder). Om beräkningarna utförs på egen hand i ett standardberäkningsprogram mot SWEPOS (hämtar SWEPOS-data från ftp) kan ett annat loggningsintervall användas. SWEPOS-data finns tillgängligt på ftp dels i 1-sekundersfiler, dels i 15-sekundersfiler.

#### 5. Avslutning av mätningen

Det rekommenderas att mäta under minst 2 timmar för att uppnå en tillräckligt hög noggrannhet.

#### 6. Beräkning

Omvandling från mottagarberoende dataformat till RINEX kan utföras dels i samtliga standardberäkningsprogram, dels i diverse mindre gratisprogram (såsom tecq). Detta behöver inte utföras vid beräkning på egen hand i ett standardberäkningsprogram.

Resultatet från SWEPOS Beräkningstjänst presenteras i en textfil som dels skickas till en mailadress som användaren själv kan definiera och dels finns att läsa på Internet när man är inloggad. En enskild mätfil tar ungefär 4 minuter att beräkna. Koordinaterna presenteras i systemen SWEREF 99 cart, SWEREF99 lat long ell, SWEREF 99 TM,



RT 90 2,5 gon V, RH 2000 och RH 70. Kvalitetstalen som presenteras är följande:

- Procent lösta periodobekanta: skall i genomsnitt vara minst 30% av samtliga observationer från de 5 referensstationer som lösningen beräknas utifrån.
- RMS i slutlig beräknad fixlösning: skall vara lägre än 3 mm.
- Grundmedelfelet i Helmerttransformationen (6 parametrar) till SWEREF 99: skall vara lägre än 10 mm.
- Elevationsgränstest: differensen i höjd (från stationerna som lösningen beräknas från) skall vara lägre än 30 mm.

## 7. Inpassning

Genom inpassning kan höjdkoordinaten för punkten förbättras. När en inpassning utförs reduceras diverse systematiska fel, såsom troposfärsfel och fel i geoidmodellen.

För den enklaste formen av inpassning, kallad inpassning med höjddifferenser, mäts (förutom nypunkten) två punkter med kända höjdkoordinater som omgärdar den nya punkten geografiskt. När koordinaterna för dessa beräknats i SWEPOS Beräkningstjänst på samma sätt som för nypunkten, skapas två så kallade k-filer. Den första skall innehålla de beräknade värdena för punkterna i x, y och H, den andra skall endast innehålla de två punkterna med kända koordinater och i den ska samma x och y-värden som i den första filen finnas med tillsammans med de kända höjderna. Den nya höjden på nypunkten beräknas sedan genom programmet Gtrans och metoden inpassning med höjddifferenser. K-filen innehållande samtliga punkter (med de beräknade värdena) är den k-fil som först anges. K-filen innehållande de kända höjdkoordinaterna anges som andra fil.

För att utföra en mer avancerad form av inpassning, kallad inpassning med lutande plan, behövs minst fyra kända höjdkoordinater. Beräkningen sker sedan på samma sätt som för inpassning med höjddifferenser.



## 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 korrekationer 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, atmosfärska 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 ominitialisera om ingen fixlösning uppnåtts efter 1-2 minuter. Ju längre tid det tar att få fixlösning desto större risk att fixlösningen är felaktig. Ominitialisering 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.

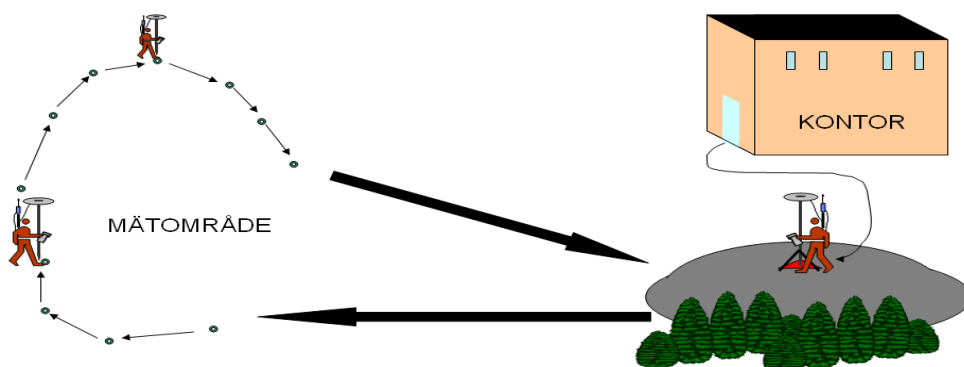
Det är viktigt att se till att flervägsfel undviks, då det kan vara svårt att komma åt modelleringen av flervägsfel under de korta tidsepoker som RTK-mätning oftast pågår. Ett allvarligt problem med flervägsfel är att det i normalfallet för korta mätningssessioner på sekunder till minuter inte syns på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

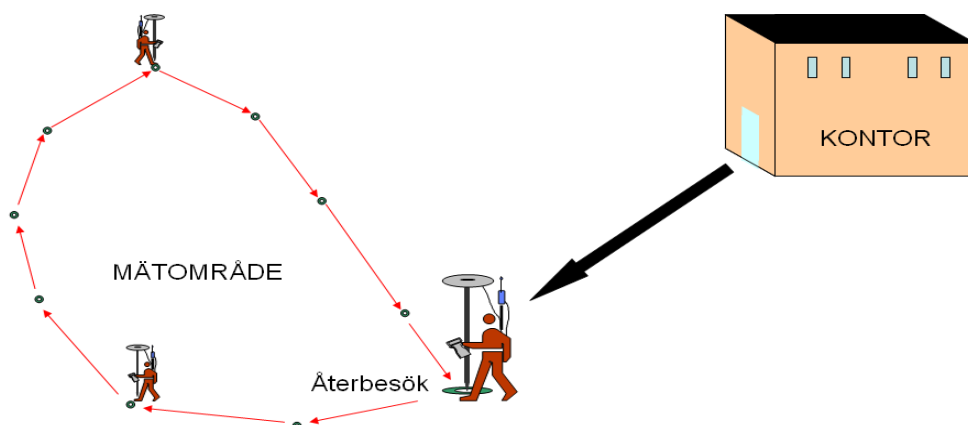


**Figur 1:** En väldefinierad känd kontrollpunkt vid kontoret (t.ex. välbestämd med GNSS) som bland annat ger kontroll på inställningar i mottagaren, om eventuella jonosfärsaktiviteter påverkar mätningarna för dagen, etc.

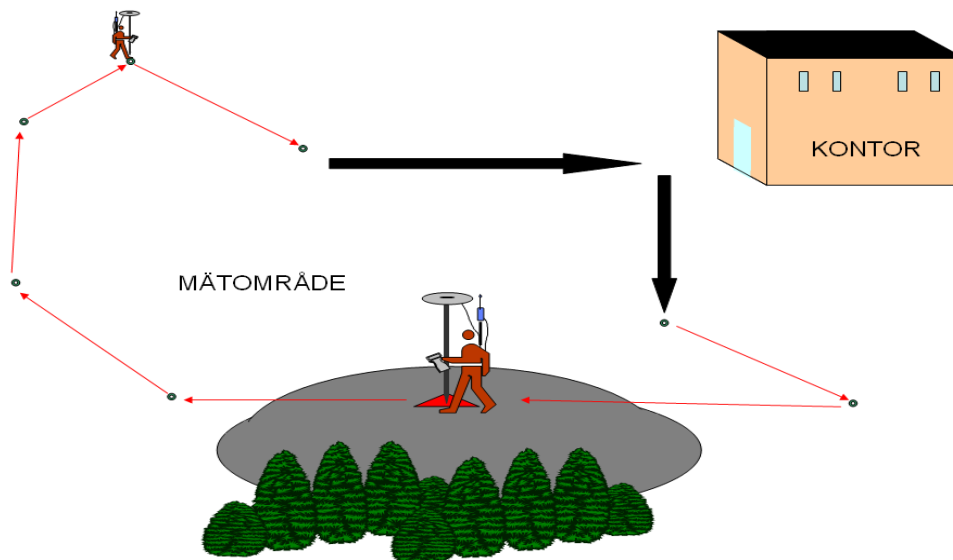
För att få en inre kontroll av de punkter som mätts in med samma fixlösning kan ett återbesök av en tidigare mätt väldefinierad punkt göras, alternativt en kontroll på en känd punkt (figur 2-3). Detta gör att en kontroll erhålls både på fixlösningen i sig, och på de punkter som mätts in med samma fixlösning.

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.







## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 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 & Illersta 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.
- 2010:3 Odolinski Robert: Checklista för 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](http://www.lantmateriet.se)