

# **Punktbestämning i RH 2000**

**Statisk GNSS-mätning mot  
SWEPOS**

Andreas Engfeldt  
Robert Odolinski





Copyright ©

2010-03-31

Författare Andreas Engfeldt, Robert Odolinski

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 46

Projektrapport – ISSN 280-5731

# **Punktbestämning i RH 2000**

**Statisk GNSS-mätning mot  
SWEPOS**

Andreas Engfeldt  
Robert Odolinski





## Förord

Föreliggande rapport redovisar resultaten från ett delprojekt inom det övergripande projektet Höjdmätning med GNSS, vilket har pågått under större delen av 2009 med avsikt att klarlägga förutsättningarna för att använda GNSS-teknik för höjdmätning vid olika mätsituationer. I detta delprojekt har främst statisk höjdmätning av enstaka punkt och beräkning gentemot SWEPOS® studerats.

Projektet har initierats och huvudsakligen drivits internt på Geodesienheten vid Lantmäteriets division Informationsförsörjning.

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

Under olika delar av arbetet har flera personer vid Geodesienheten medverkat. Det huvudsakliga arbetet har dock utförts av Andreas Engfeldt och Robert Odolinski.

En översiktlig redovisning resultatet från hela projektet ges i **LMV-rapport 2010:4**, *Höjdmätning med GNSS - vägledning för olika mätsituationer*.

Utförligare redovisningar av övriga delprojekt finns i följande LMV-rapporter:

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

**LMV-rapport 2010:2** *Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK.*



## Sammanfattning

Studien består av en noggrannhetsundersökning beträffande statisk höjdmätning med GNSS på enstaka punkter, beräknade i SWEPOS Beräkningstjänst. Det underlag som studien grundas på är data från de två mätkampanjerna "Uppsalaslingan", 18-20 februari 2008 och 17-21 mars 2008. Under båda kampanjerna var mättiden två gånger ett dygn. För den första mätkampanjen användes antenner av standardmodell, d.v.s. i detta fall Leica AX1202GG, och för den andra användes antenner av typen Dorne Margolin T chokering-antenn (6 stycken av fabrikatet Javad och 5 stycken av fabrikatet Ashtech). Punkterna som använts för mätningen är även avvägda i den tredje precisionsavvägningen, "Riksavvägningen", och användes för att kontrollera erhållen noggrannhet i höjd.

I denna studie användes mätdata från båda dessa kampanjer. Den andra mätkampanjen med Dorne Margolin-antennerna var av intresse för att undersöka vilket resultat som kan uppnås med de antenner som anses som bäst, medan den första var av intresse p.g.a. att Dorne Margolin-antennerna normalt sett inte används vid produktionsmätning.

För noggrannast möjliga resultat bör en mätning pågå i minst 24 timmar, men för de flesta allmänna tillämpningar så räcker det med 2 timmar. För 2 timmars mätning erhöles ett RMS ( $1\sigma$ ) i höjd på 21 mm för Leica-antennerna (modell AX1202) och 12 mm för Dorne Margolin T chokering-antennerna. Detta till skillnad mot ett RMS ( $1\sigma$ ) på 20 mm respektive 11 mm för 24 timmars mätning med Leica respektive Dorne Margolin. Standardavvikelsen för en mätning var för båda antenntyperna på nivån 5 mm. Det bör uppmärksammas att det är en månads skillnad i tid mellan mätningarna med Leica respektive Dorne Margolin antennerna. I rapporten diskuteras skillnaderna i RMS-värdena mellan de båda antenntyperna. Dessa RMS är inklusive felet i geoid-modellen SWEN08\_RH2000 (som förväntas vara litet i ett plant område som Uppsala), vars medelfel skattats till 10-15 mm över hela landet förutom i fjällen (*Ågren, 2009*). Det antas också att detta område är relativt "snällt", utan större problem med flervägsfel (*Lilje/Engfeldt/Jivall, 2007*), vilket kan förklara de goda resultaten.

Det undersöktes även om höjdnoggrannheten kunde förbättras genom tre olika varianter av inpassning. I detta område, med liten variation i geoidmodellsfelet, visade sig detta vara fallet. RMS ( $1\sigma$ ) i höjd blev då 9 mm för 2 timmars mätning oavsett vald antenntyp.





<b>Förord</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>11</b>
<b>2 Mätning och förstudie</b>	<b>12</b>
2.1 Val av område	12
2.2 Val av mätmetod	12
2.3 Rekognoscering	13
2.4 Om mätning och stabilitet i antennhöjder	14
2.5 Beräkningsstrategi	16
<b>3 Beräkning</b>	<b>18</b>
<b>4 Utvärdering</b>	<b>19</b>
4.1 Utvärdering av beräkningarna	19
4.2 Diskussion av skillnaderna i systematik mellan antenntyperna - antennkalibrering	21
4.3 Diskussion av skillnaderna i systematik mellan antenntyperna - SWEREF-punktsberäkningar	23
<b>5 Inpassning</b>	<b>25</b>
<b>6 Diskussion</b>	<b>28</b>
<b>7 Slutsatser</b>	<b>30</b>
<b>8 Referenser</b>	<b>31</b>
<b>Appendix 1 Tabeller och figurer</b>	<b>I</b>
<b>Appendix 2. Checklista, Punktbestämning i RH 2000 - Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS</b>	<b>I</b>
Beskrivning till checklistan	III



# 1 Inledning

GNSS är ett effektivt verktyg för att utföra positionsbestämning, speciellt där det är långa avstånd till punkter i referensnäten. Idag går det att anpassa metoden för GNSS-mätningen så att huvuddelen av kraven på positionsnoggrannhet i plan kan uppnås med antingen nätverks-RTK, enkelstations-RTK eller statisk mätning med olika längd på observationstiden. Höjdmätning med GNSS-teknik är däremot inte lika bra anpassad för produktionsmätning, dels för att det behöver undersökas vilken noggrannhetsnivå som överhuvudtaget är möjlig att nå, dels beroende på att en del frågeställningar kring metoderna att nå olika noggrannhetskrav i olika situationer behöver klarläggas. Projektet "Höjdmätning med GNSS" avser bland annat att klarlägga förutsättningarna för att använda GNSS-teknik för höjdmätning i olika mätsituationer. I projektet ingår tre olika delprojekt. I denna rapport redovisas en noggrannhetsundersökning från de testmätningar som har utförts i syfte att bestämma enstaka punkter i RH 2000 genom statisk GNSS-mätning mot de permanenta referensstationerna i SWEPOS, och genom användning av geoidmodellen SWEN08\_RH2000. Beräkningen utfördes i SWEPOS Beräkningstjänst. En konceptuell utredning har också utförts som omsatts i förslag till hur en användare bör göra (se Checklistan i Appendix 2).

## 2 Mätning och förstudie

Mot denna bakgrund genomförde Lantmäteriet under våren 2008 två omfattande testkampanjer som ett försök att se vilken noggrannhet som i gynnsammaste fall är möjlig att uppnå vid inpassning av ett lokalt höjdnät i RH 2000 med GNSS-teknik. Data från dessa testkampanjer gav sedan synergieffekten att de kunde användas även i denna undersökning.

### 2.1 Val av område

För att uppnå ett optimalt resultat av testmätningarna fanns några grundläggande krav vid valet av testområde.

- Fixpunkterna i området skulle vara stabilt markerade, helst i berg, för att inte rörelser i punkterna skulle påverka resultatet.
- Terrängen i området skulle vara så öppen som möjligt, då erfarenheten har visat att höjdmätning med GNSS är särskilt känslig för störningar i detta avseende.
- Området skulle vara tämligen flackt, så att variationerna i geoiden på bästa sätt har kunnat hanteras i geoidmodellen SWEN05\_RH2000 och dess efterföljare SWEN08\_RH2000.

För att kunna verifiera resultaten av testmätningarna beslöts också att välja ett område där ett förtätningståg tidigare hade avvägts för att ansluta ett lokalt höjdnät till RH 2000 (*Eriksson, 2010*).

Det område som sammantaget uppfyllde alla krav på bästa sätt var ett område nordost om Uppsala, där ett förtätningståg hade mätts för att ansluta några samhällen inför kommunens övergång till RH 2000. Här finns gott om bergpunkter, terrängen är relativt öppen med mycket åkermark, och hela området är förhållandevis flackt.

### 2.2 Val av mätmetod

Det beslöts att mätningen skulle genomföras som två 24-timmars mätningar, med omcentrering efter första dygnet. I den omgivande slingan i riksnätet skulle 15 passpunkter mätas, och i det lokala nätet skulle samtidigt 5 lokala punkter mätas. De omgivande punkterna skulle väljas ut med cirka 5 km avstånd, och avståndet mellan de lokala punkterna skulle vara 1 – 2 km.

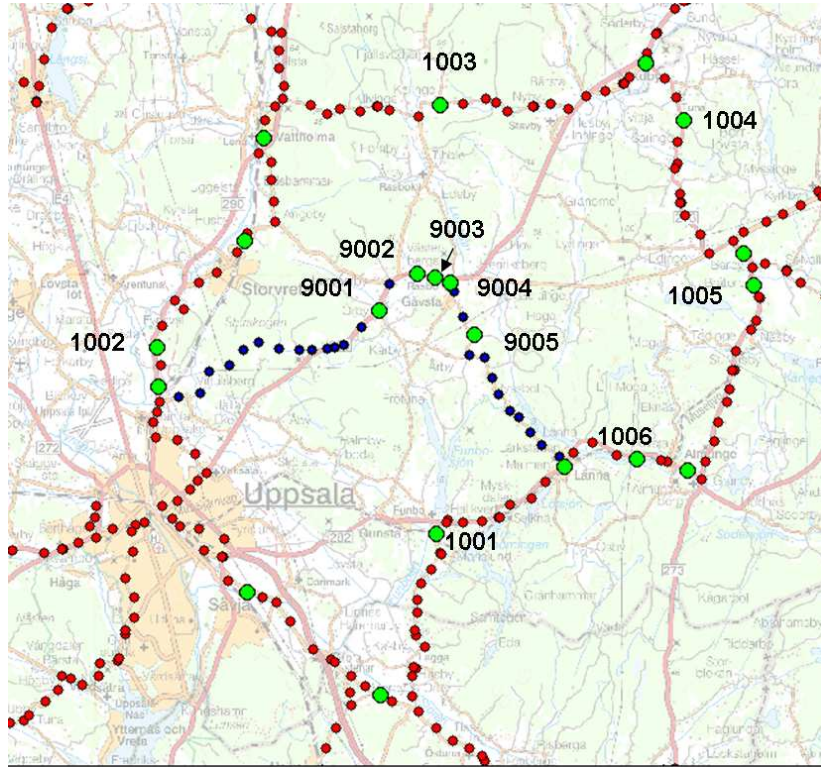
Förutom dessa mätningar, som skulle utföras med moderna standardantennor (i detta fall Leica-antennor av typen AX1202GG), beslöts även att genomföra en motsvarande mätning med "precisionsantennor" (chokering-antennor med Dorne Margolin antennelement) av samma typ som finns på SWEPOS-stationerna.

Huvudsyftet var här att se om chokering-antennerna kunde förbättra resultaten. Av denna typ fanns 11 antenner tillgängliga, och det beslöts att mätningen skulle utföras på 6 av de tidigare mätta passpunkterna och alla de 5 tidigare mätta lokala punkterna. Även denna mätning skulle genomföras som två 24-timmars mätningar, med omcentrering efter första dygnet. För detta delprojekt användes endast data från de 11 punkter som var gemensamma för de båda antenntyperna (se Figur 1). Detta för att resultaten skulle kunna jämföras på bästa sätt.

Genom denna stora mätinsats går det att få besked om vilken noggrannhet som överhuvudtaget är möjlig att uppnå när förhållandena även i övrigt är de bästa tänkbara. Geoidens variationer antas vara små i området och sårbarheten för eventuella "outliers" minskar. Tanken var att det ur 24-timmarssessionerna även skulle kunna utvärderas lösningar med andra observationstider. Detta blev verklighet och lösningarna som utvärderades var i det här fallet 2, 3, 4, 6 och 24 timmarslösningar.

### **2.3 Rekognoscering**

Innan mätningarna påbörjades utfördes en rekognoscering för att välja ut de punkter som var bäst lämpade att använda, i första hand punkter markerade i berg i öppen terräng och jämnt fördelade i området. Trots att området generellt sett är förhållandevis öppet och med god tillgång till bergpunkter visade det sig vara svårt att hitta punkter som i alla avseenden uppfyllde kraven. Således kom 5 av passpunkterna som användes i detta delprojekt och 4 av de lokala punkterna att vara markerade i berg. Övriga 2 punkter var ändå markerade i stabilt underlag. För 2 av passpunkterna som användes här, liksom för 3 av de lokala punkterna, krävdes excentrisk uppställning (se avsnitt 2.4) för att få tillräckligt fri sikt. Alla excentriciteter var kortare än 100 meter. Notera att excentriteterna var olika stora under de olika mätkampanjerna (se Tabell 21 i Appendix 1).



**Figur 1:** Röda punkter visar riksnätet i området, blå punkter visar förtätningståget och nummerade gröna punkter visar de valda mätpunkterna i den andra mätkampanjen (17-21 mars 2008). 1001-1006 är passpunkterna och 9001-9005 är de lokala punkterna.

## 2.4 Om mätning och stabilitet i antennhöjder

Vid mätning har antennhöjder mätts före och efter varje uppställning. Dessutom har oberoende uppställningar (omcentrering) gjorts för varje mätdygn. För drygt hälften av de ursprungliga mätpunkterna har excentrisk uppställning tillgripits för att åstadkomma så bra förhållanden för GNSS observationer som möjligt (se avsnitt 2.3).

Vid excentrisk uppställning har uppställningspunkten markerats tillfälligt med en "jord-dubb" som slagits ned i marken. Denna har avvägs från höjdfixen och sedan har antennhöjds-mätning genomförts på vanligt sätt från jord-dubb till antenn.

I Tabell 1-4 redovisas de punkter där excentrisk uppställning har använts, samt skillnaden mellan mätning av antennhöjd före och efter varje mätdygn för alla punkter. Oftast har uppställningen varit stabil, men det bör noteras att i några fall har GNSS-antennen sjunkit 4-5 mm under dygnet. Denna bristande stabilitet har inte beaktats i den fortsatta analysen.

Tabell 1. Antennhöjder dag 1 (Leica).

<b>Antennhöjder Dagnr 49 ( 2008 - 02 - 18 19 )</b>				
<b>Löpnr</b>	<b>Punkt nr</b>	<b>Excentrisk uppställning och avvägd?</b>	<b>Antenn höjd över fix (m)</b>	<b>Diff mellan stopp o start (m)</b>
1001	1187310	Avvägd	1,3110	0,000
1002	1189012		1,4541	-0,001
1003	1281305		1,5077	0,000
1004	1281507		1,4336	0,000
1005	1189507	Avvägd	0,8745	0,000
1006	1188406		1,5097	0,000
9001	1189211	Avvägd	0,1370	-0,002
9002	1280205	Avvägd	-0,1395	-0,004
9003	1189311		1,3965	0,000
9004	1189317	Avvägd	0,2800	-0,004
9005	1189314		0,9740	-0,001

Tabell 2: Antennhöjder dag 2 (Leica).

<b>Antennhöjder Dagnr 50 ( 2008 - 02 - 19 20 )</b>				
<b>Löpnr</b>	<b>Punkt nr</b>	<b>Excentrisk uppställning och avvägd?</b>	<b>Antenn höjd över fix (m)</b>	<b>Diff mellan stopp o start (m)</b>
1001	1187310	Avvägd	1,2450	0,000
1002	1189012		1,4125	0,000
1003	1281305		1,4917	0,000
1004	1281507		1,3715	0,000
1005	1189507	Avvägd	0,8195	0,000
1006	1188406		1,5688	0,000
9001	1189211	Avvägd	0,1980	0,000
9002	1280205	Avvägd	-0,0935	0,000
9003	1189311		1,4446	0,000
9004	1189317	Avvägd	0,3195	0,001
9005	1189314		0,9910	0,001

Tabell 3: Antennhöjder dag 3 (Dorne Margolin).

<b>Antennhöjder Dagnr 77 ( 2008 - 03 - 17_18 )</b>				
<b>Löpnr</b>	<b>Punktnr</b>	<b>Excentrisk uppställning och avvägd?</b>	<b>Antenn höjd över fix (m)</b>	<b>Diff mellan stopp o start (m)</b>
1001	1187310	avvägd	1,2467	0,000
1002	1189012		1,4239	0,000
1003	1281305		1,4350	0,000
1004	1281507		1,3760	-0,001
1005	1189507	avvägd	0,9027	0,000
1006	1188406		1,5700	0,000
9001	1189211	avvägd	0,3562	0,000
9002	1280205	avvägd	-0,2498	0,000
9003	1189311		1,3564	0,000
9004	1189317	avvägd	0,2967	0,000
9005	1189314		0,9980	0,000

Tabell 4: Antennhöjder dag 4 (Dorne Margolin).

<b>Antennhöjder Dagnr 78 ( 2008 - 03 - 18_20 )</b>				
<b>Löpnr</b>	<b>Punktnr</b>	<b>Excentrisk uppställning och avvägd?</b>	<b>Antenn höjd över fix (m)</b>	<b>Diff mellan stopp o start (m)</b>
1001	1187310	avvägd	1,2297	0,000
1002	1189012		1,4174	0,001
1003	1281305		1,4184	0,001
1004	1281507		1,3695	0,000
1005	1189507	avvägd	0,8717	0,000
1006	1188406		1,5398	0,000
9001	1189211	avvägd	0,3352	0,000
9002	1280205	avvägd	-0,2678	0,000
9003	1189311		1,3786	0,000
9004	1189317	avvägd	0,3107	0,000
9005	1189314		0,9776	0,000

## 2.5 Beräkningsstrategi

GPS-mätningarna på respektive punkt utfördes under två dygn och observationer loggades var 5:e sekund. Dessa dygnfiler delades upp i olika långa timmesintervall och beräknades i SWEPOS Beräknings-tjänst och kunde därefter utvärderas. SWEPOS Beräkningstjänst arbetar med loggningsintervallet 30 sekunder, så 5/6 av de loggade observationerna användes följaktligen inte. Tidsintervallen valdes till 1, 2, 3, 4, 6 och 24 timmar, bl.a. beroende på resultaten från tidigare



tester (*Lilje & Jivall, 2008*). När de beräkningarna utfördes fanns dock inte geoidmodellen SWEN08\_RH2000, varför den tidigare modellen SWEN05\_RH2000 användes där istället. Den nya geoidmodellen antas inte påverka noggrannheten speciellt mycket i just detta område, men har ändå använts i detta delprojekt. SWEN08\_RH2000 var inte färdigberäknad när själva mätningarna utfördes, men den gick att korrigera för i ett senare skede då den är implementerad i SWEPOS Beräkningstjänst.

Ett annat alternativ som inte undersöktes här är att utföra beräkningar i en standardprogramvara på egen hand mot ett antal SWEPOS-stationer. Detta uteslöts då det inte anses som en rationell metod. Dels är det mer tidskrävande än att använda SWEPOS Beräkningstjänst, dels blir noggrannheten lägre enligt de tester som utfördes vid etableringen av SWEPOS Beräkningstjänst.

I SWEPOS Beräkningstjänst finns det fyra kriterier som samtliga skall vara uppfyllda för att lösningen ska räknas som godkänd. Dessa är:

- 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.

För det sistnämnda testas den vanliga beräkningen som sker med 10 graders elevationsmask även med en elevationsmask på 25 grader. Om skillnaden för dessa beräkningar har för stor differens tyder det på att antenmodellerna inte beskriver antennen korrekt.

Lovö, Mårtsbo, Norrköping, Leksand och Karlstad var de fem SWEPOS-stationerna (av Klass A (*Engfeldt et al., 2006*)) som användes vid beräkningen. Som kontroll användes även de tre SWEPOS-stationerna Uppsala, Almunge och Söderboda (den förstnämnda är av Klass A och de andra två av Klass B).

### 3 Beräkning

Först användes ett program som heter *teqc* för att dela upp dygnsfilerna i önskat antal timfiler. *Teqc* är ett program som bland annat kan användas för att modifiera, skapa, kombinera eller dela upp RINEX-filer (RINEX = Receiver INdependent EXchange format). *Teqc* kan också användas för att konvertera mottagarberoende observationsfiler till RINEX-filer. Efter att filerna körts i SWEPOS Beräkningstjänst användes det numeriska beräkningsprogrammet MATLAB, som kan hantera stora datamängder/matriser. Programmet användes för att beräkna olika statistiska mått från dessa textfiler. Det första som beräknades var RMS (Root Mean Square) för att erhålla spridning kring känt höjdvärde:

$$RMS = \sqrt{\sum_1^n \varepsilon^2 / n} \quad (3.1)$$

där  $\varepsilon$  är registrerat mätvärde minus känt värde och  $n$  är antalet mätningar.

Medelavvikelsen (skiftet) beräknades sedan för att hålla reda på de systematiska skillnader som kan förekomma:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon}{n} \quad (3.2)$$

Sedan beräknades standardavvikelsen för att ta reda på spridningen av mätningarna kring medeltalet:

$$stdavv = \sqrt{\sum_1^n (\varepsilon - \bar{\varepsilon})^2 / (n-1)} \quad (3.3)$$

Och slutligen kan medelavvikelsens (skiftets) medelfel beräknas genom:

$$\sigma_{medelavvikelse} = stdavv / \sqrt{n} \quad (3.4)$$

som används för att hålla reda på hur pass bra medeltalet är bestämt.

## 4 Utvärdering

### 4.1 Utvärdering av beräkningarna

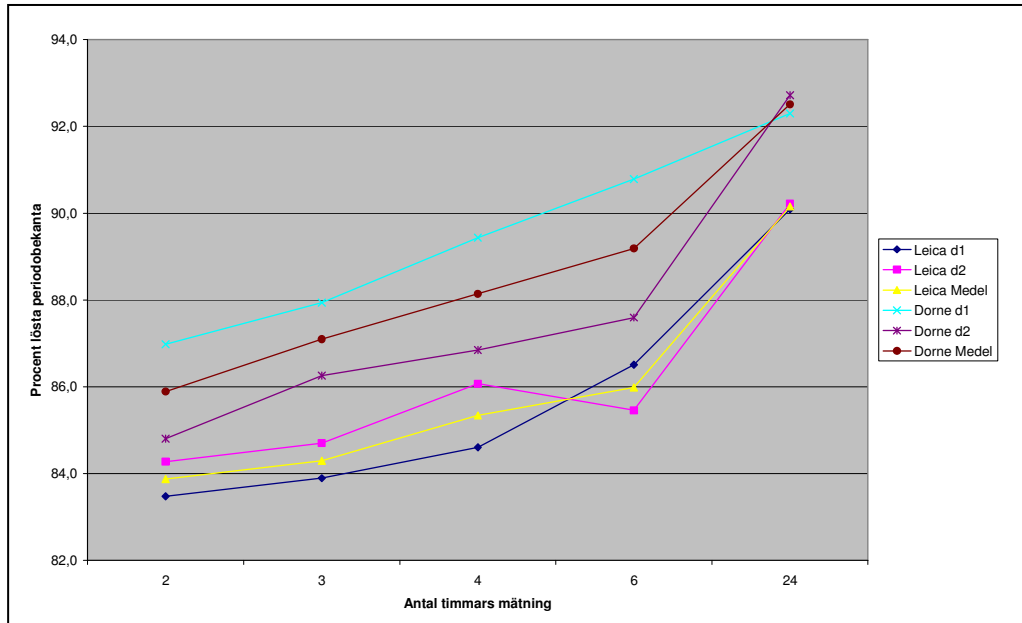
De kända höjdvärdena togs från fixhöjderna erhållna ur den tredje precisionsavvägningen, angivna i RH 2000. RMS ( $1\sigma$ ) från känt värde i höjd för samtliga 11 punkter beräknades till 21 mm för 2 timmar och 20 mm för 24 timmar för Leica-antennerna, dag 1 och 2. För Dorne Margolin T-antennerna blev skillnaden mellan RMS för olika långa mätsessioner likadan, då 12 mm erhöles för 2 timmar och 11 mm för 24 timmar, dag 1 och dag 2. Det handlar alltså här bara om någon millimeters skillnad att mäta i 24 timmar gentemot 2 timmar, oavsett antenntyp (se Tabell 5). Det skall dock noteras att detta antas vara ett relativt "snällt" område utan större problem med flervägsfel och små geoidvariationer, vilket kan förklara de goda resultaten.

**Tabell 5:** RMS ( $1\sigma$ ) från känt värde i höjd beräknat på samtliga 11 punkter och för respektive antenntyp.

RMS (mm)	Leica d1	Leica d2	Leica Medel	Dorne d1	Dorne d2	Dorne Medel
1 timme	22,7	22,9	22,8	14,0	14,5	14,3
2 timmar	21,6	20,9	21,3	11,9	12,4	12,2
3 timmar	21,3	21,0	21,2	11,5	11,4	11,5
4 timmar	21,2	20,2	20,7	11,4	11,4	11,4
6 timmar	21,0	20,4	20,7	10,7	11,2	11,0
24 timmar	20,6	19,7	20,1	10,9	11,0	10,9

Hur många procent periodobekanta som löstes vid beräkningen redovisas inte för 1 timmes intervallen p.g.a. att lösningen inte är tillräckligt bra. Med procent periodobekanta åsyftas genomsnittet av antalet procent lösta periodobekanta av samtliga observationer för alla baslinjer som ingår i lösningen. Denna procentsats presenteras i Tabell 16 och 17 i Appendix 1. Figur 2 visar ett medelvärde av dessa procentsatser för samtliga punkter och för respektive session samt antenntyp. Enligt teorin borde procentsatsen öka med sessionslängden, vilket figuren bekräftar i samtliga fall, utom för Leica-antennen och 6-timmars sessionen för dygn 2 (där även RMS i Tabell 5 visar sig bli högre för 6-timmars sessionen än för 4-timmars sessionen).

## Utvärdering



**Figur 2:** Medelvärde av procent lösta periodobekanta för de olika sessionslängderna per dygn och per fabrikat (d1 = dygn 1, d2 = dygn2).

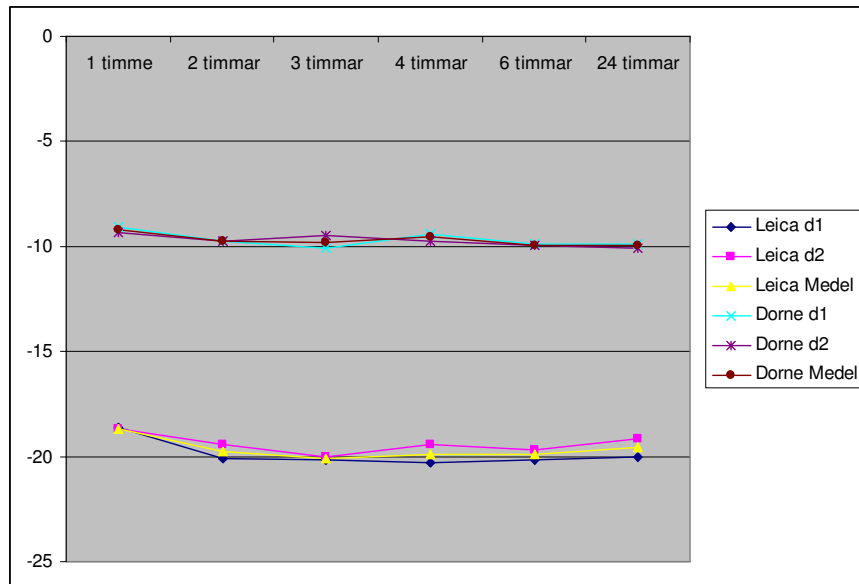
Medelavvikelsen mot kända höjder totalt sett för alla punkter (skiftet) för Dorne Margolin blev systematiskt nästan exakt -1 cm, d.v.s. höjdvärdet blev 1 cm lägre än det "kända" värdet. För Leica blev höjdvärdet i stället systematiskt ca -2 cm, d.v.s. 2 cm lägre än det "kända" värdet. Detta gäller i stort sett för samtliga sessionslängder (se Figur 3). Dessa skift antas vara systematiska, då den låga standardavvikelsen visar på en liten spridning av medelavvikelsen (se Tabell 6, 7 och Tabell 18a-d i Appendix 1).

**Tabell 6:** Leicas medelavvikelse (skift) i höjd, skiftets medelfel samt poolad standardavvikelse translation, för samtliga 11 punkter.

Skift (mm)	Leica d1			Leica d2			Leica medel
	Skift	Skiftets medelfel	Poolad Std avv	Skift	Skiftets medelfel	Poolad Std avv	Skift
1 timme	-18,6	0,8	12,3	-18,7	0,8	12,3	-18,7
2 timmar	-20,1	0,7	7,8	-19,4	0,7	7,5	-19,8
3 timmar	-20,1	0,7	6,7	-20,0	0,7	6,3	-20,1
4 timmar	-20,3	0,8	6,1	-19,4	0,7	5,7	-19,9
6 timmar	-20,2	0,9	5,8	-19,7	0,8	5,4	-19,9
24 timmar	-20,0	1,5	5,0	-19,2	1,4	4,7	-19,6

Tabell 7: Dorne Margolins medelavvikelse (skift) i höjd, skiftets medelfel samt poolad standardavvikelse translation, för samtliga 11 punkter.

Skift	Dorne d1			Dorne d2			Dorne medel
(mm)	Skift	Skiftets medelfel	Poolad Std avv	Skift	Skiftets medelfel	Poolad Std avv	Skift
1 timme	-9,1	0,6	10,0	-9,3	0,6	10,1	-9,2
2 timmar	-9,3	0,6	7,0	-9,7	0,6	6,7	-9,8
3 timmar	-9,5	0,7	6,5	-9,5	0,6	5,5	-9,8
4 timmar	-9,4	0,8	6,3	-9,7	0,6	5,3	-9,6
6 timmar	-9,1	0,9	5,7	-10,0	0,7	4,8	-10,0
24 timmar	-9,9	1,4	4,7	-10,0	1,4	4,7	-10,0



Figur 3: Medelavvikelse (skift) i höjd (enhet mm, d1 = dygn 1, d2 = dygn2).

## 4.2 Diskussion av skillnaderna i systematik mellan antenntyperna - antennkalibrering

För att försöka hitta en förklaring till denna systematik mellan de olika antenntyperna utfördes en antennkalibrering på Lantmäteriets antennkalibreringsfält (Figur 4) i slutet av december och i januari. I kalibreringsfältet ingår sju pelare och här användes Leica antenner på sex pelare och på den sjunde pelaren en Dorne Margolin antenn med radom för att skydda från snö. Dessutom finns antennen för SWEPOS-stationen Gävle i anslutning till kalibreringsfältet. Denna

saknar dock radom i motsats till alla andra SWEPOS-stationer och fylldes med snö under tiden som kalibreringen pågick. Den användes därför inte för beräkningen. Dygnen som använts i beräkningen var dock snöfria. Antennerna mättes sedan dygnvis i nordlig och sydlig riktning, och därefter genomfördes beräkning av samtliga data i SWEPOS Beräkningstjänst där Lovö, Mårtsbo, Leksand, Sveg och Sundsvall är de SWEPOS-stationer (av Klass A) som användes för beräkningen.

Sedan jämfördes de beräknade koordinaterna med kända koordinater för varje pelare. Skillnad i skift mellan Leica och Dorne Margolin visade sig vara cirka 5 mm oavsett vald antennorientering, där Leica ligger lägre. Skiftets medelfel var dessutom relativt lågt och därför kan skillnaden mellan antenntyperna på -5 mm antas vara signifikant (se Tabell 8).



**Figur 4:** Lantmäteriets antennkalibreringsfält

Lösningen som beräknas i SWEPOS Beräkningstjänst ger en L3-lösning, alltså en jonosfärsfri linjärkombination. En sådan lösning kan också erhållas vid beräkningar direkt i Bernprogrammet som SWEPOS Beräkningstjänst bygger på. Här jämfördes även resultatet för Leica-antennerna i nord-, respektive sydororientering för en L3-lösning efter beräkning i Bernprogrammet (se Tabell 9). Enligt den beräkningen blir differensen mellan orienteringarna 2,1 mm och ett större höjdvärde erhålls vid nordorientering (skift på 1,4 mm kontra -0,7 mm i söderorientering). Denna differens är försumbar, vilket betyder att resultaten av testmätningarna inte har påverkats av om antennen varit felorienterad vid någon uppställning (vilket troligen inte har varit fallet).

**Tabell 8:** Medelavvikelse (skift) för Leica och Dorne Margolin, skiftets medelfel, standardavvikelsen kring skiftet, totalt antal dygnsfiler beräknade samt skillnad i skift mellan antenntyperna.

(mm)	Leica			Dorne				
Orientering	Skift	Skiftets medelfel	Std	Skift	Skiftets medelfel	Std	Totalt antal dygnsfiler beräknade	Avvikelse skift Leica - Dorne
Norr	2,1	0,5	3,5	6,5	0,2	1,2	51	-4,5
Söder	0,7	0,7	2,4	6,0	0,3	1,1	11	-5,3

**Tabell 9:** Medelavvikelse (skift) för Leica i nord- respektive sydorientering.

(mm)	Leica	
Orientering	Skift	Totalt antal dygnsfiler beräknade
Norr	1,4	22
Söder	-0,7	11

### 4.3 Diskussion av skillnaderna i systematik mellan antenntyperna - SWEREF-punktsberäkningar

En annan intressant jämförelse i detta avseende kunde dessutom göras med mätningarna av så kallade SWEREF-punkter, där mätningen utförs på samma sätt som mätningen utfördes under den andra kampanjen i Uppsalaslingan. Punkterna mäts alltså under 2 gånger 24 timmar med en Dorne Margolin-antenn. Under de senaste åren har 11 SWEREF-punkter kontrollmätts och beräknats på nytt. Ur dessa beräkningar kan skillnader urskiljas i höjd mellan de två olika mätningarna, med en absolut medeldifferens i höjd för alla punkterna på 6,7 mm (se Tabell 10). Notera att landhöjningen är hanterad i dessa beräkningar. Det kommer inom kort att finnas ett större material att utvärdera, då ytterligare ett flertal punkter är ommätta, men ännu ej beräknade.

Tabell 10: Höjdskillnader mellan ommätta SWEREF-punkter.

Punktnummer	Höjddifferens (mm)	RMS (mm)	År mellan mätningarna
724218	-6,2	4,4	9
731988	14,6	10,3	12
734958	-11,0	7,7	9
735738	-1,4	1,0	13
742628	-4,0	2,9	13
746208	-4,4	3,2	8
761988	3,0	2,1	7
781038	12,4	8,7	11
781398	-1,2	0,8	7
790278	7,4	5,3	11
797328	7,8	5,5	10
<b>Medel</b>	6,7	5,6	10

Ur detta kan slutsatsen dras att vid upprepad mätning ska man inte räkna med en överensstämmelse på millimeter-nivå, trots 2 gånger 24 timmars mätning. I exemplet ovan har dock en så lång tid som 7-13 år förflutit mellan de upprepade mätningarna, men det samma antas gälla även för så korta tider emellan som 1 månad. Detta beror bl.a. på att de yttre omständigheterna, d.v.s. temperatur, fuktighet och vind, varierar.



## 5 Inpassning

För att undersöka om resultatet kunde förbättras genom tekniken inpassning, utfördes en mängd olika inpassningar i Gtrans. En inpassning innebär att de GNSS-mätta höjderna jämförs med de ursprungliga höjderna på passpunkterna. Beroende på vilken inpassningsteknik som används appliceras differensen mellan känd och uppmätt höjd på olika sätt. Vid den enklaste formen, kallad "höjddifferenser", används minst två kända höjder och medelvärdet för de två differenserna adderas till nypunktens höjd. En annan variant av inpassning, som även den har använts här, kallas "lutande plan". Där behövs minst fyra kända höjder för att få en överbestämning. Praktiskt sett kan man säga att genom att utföra en inpassning så reduceras diverse systematiska fel, exempelvis från geoiden eller GNSS-mätningen.

Den första inpassningsvarianten som testades här var "lutande plan". Då användes samtliga passpunkter för samma tidsintervall tillsammans med respektive nypunkt. Det visade sig att resultatet blev klart bättre för båda antenntyperna (jämför Tabell 11 med Tabell 12, där värden visas för 24 timmars sessioner).

**Tabell 11:** Avvikelse i mm per punkt, dygnsmedel, ej inpassat.

Punktnummer	Leica 24 h	Dorne 24 h
1001	-23,5	-12,8
1002	-12,7	-7,5
1003	-13,1	-1,6
1004	-21,2	-5,0
1005	-21,3	-6,8
1006	-23,9	-14,7
9001	-26,3	-11,2
9002	-22,2	-17,5
9003	-16,0	-12,6
9004	-21,6	-11,6
9005	-13,9	-8,7

**Tabell 12:** Avvikelse i mm per punkt, dygnsmedel, punkterna 9001-9005 är inpassade på punkterna 1001-1006 och har därmed fått förbättrade höjdvärden.

Punktnummer	Leica 24 h	Dorne 24 h
9001	-8,8	-4,4
9002	-4,5	-11,9
9003	1,8	-6,6
9004	-3,4	-5,6
9005	5,7	-1,0

I Appendix 1 finns en tabell (Tabell 20) som visar hur bra en enstaka inpassning (lutande plan) för två timmars mätning kan förväntas bli, på 1 och 2 sigmanivå. På samma ställe (Figur 5 och Figur 6) visas även hur de inpassade medelavvikelserna för Leica-antennerna och två timmars mätning ser ut för respektive session och punkt. Där presenteras även fyra tabeller (Tabell 19a-d) med diverse resultat och statistiska mått för intervallen 2, 3, 4 och 6 timmar.

Inpassning är således ett alternativt sätt att minimera geoidens påverkan när det finns punkter med kända höjdkoordinater i närheten. Denna metod kan även användas för att ansluta lokala höjdnät (Eriksson, 2010).

En lämplig metod om man bara har tillgång till en GNSS-mottagare är följande: Nypunkten mäts in under minst 2 timmar. Efter det mäts minst 2 punkter (för varianten "höjddifferenser"), alternativt minst 4 punkter (för varianten "lutande plan") med kända höjdkoordinater in efter varandra under minst 2 timmar per punkt. Resultat som då kan uppnås ses i Tabell 13 ("höjddifferenser") och 14 ("lutande plan"). Som synes visar sig metoderna vara ganska likvärdiga i just detta fall.

**Tabell 13:** Inpassning "höjddifferens" d.v.s. enkel translation med två passpunkter (1001 och 1003). Nypunkter 9001-9005, RMS (för nybestämda punkter 9001-9005 i jämförelse med kända värden för punkterna), standardavvikelse, maximal avvikelse alla sessioner, minimal avvikelse alla sessioner, diff emellan dem två, skift alla sessioner samt poolat grundmedelfel för inpassningen.

Translation							
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift	S <sub>0</sub> translation
Leica d1 + d2, 2 timmar	8,5	8,2	20,6	-20,2	40,8	-2,2	10,2
Dorne d1 + d2, 2 timmar	9,2	7,7	11,8	-20,0	31,8	-5,2	7,5

## Inpassning

**Tabell 14:** Inpassning "lutande plan" med 4 passpunkter (1001, 1002, 1003 och 1005). Nypunkter 9001-9005, RMS (för nybestämda punkter 9001-9005 i jämförelse med kända värden för punkterna), standardavvikelse, maximal avvikelse alla sessioner, minimal avvikelse alla sessioner, diff emellan dem två, skift alla sessioner samt poolat grundmedelfel för inpassningen.

<b>Lutande plan</b>							
<b>(mm)</b>	<b>RMS</b>	<b>Std avv</b>	<b>Maxavv</b>	<b>Minavv</b>	<b>Diff Max-min</b>	<b>Skift</b>	<b>S<sub>0</sub> lutande plan</b>
Leica d1 + d2, 2 timmar	9,1	8,7	21,7	-30,5	52,2	-2,7	7,4
Dorne d1 + d2, 2 timmar	9,5	6,9	12,9	-19,2	32,1	-6,6	6,2

Inpassning kan således vara en mycket användbar metod även i de fall man endast har tillgång till en GNSS-utrustning.

Metoden inpassning går dock inte att använda om det inte finns ett flertal kända höjdvärden på punkter runt omkring nypunkten som ska höjdbestämmas, eller om dessa inte mäts in på samma sätt som nypunkten. Det är således en teknik som fungerar bra i större delen av Sverige, bortsett från t.ex. områden nära riksgränser och i kustnära områden (extrapolation bör undvikas).

## 6 Diskussion

Att Leica-antennen vid testet med SWEPOS Beräkningstjänst på kalibreringsfältet gav en systematisk skillnad på 5 mm mot Dorne Margolin antennen i samma riktning som beräkningarna ur dessa kampanjer (före inpassning) är intressant och verkar vara signifikant. Att det är exakt hälften av de 10 mm som resultaten från kampanjerna visar är dock något man inte ska dra alltför stora slutsatser av. Ett troligt antagande är att de 5 mm som skiljer mellan antenntyperna i de båda undersökningarna är att det har med lokala faktorer att göra (se Tabell 10 i avsnitt 4.3 och slutsatserna i slutet av samma avsnitt). Notera att denna skillnad endast syns i SWEPOS Beräkningstjänst. När antennerna räknas manuellt i Bern-programmet (där beräkningen sker på ett helt annat sätt) syns den inte.

Det bör också beaktas att en av de viktigaste felkällorna vid GNSS-mätning är effekter på signalerna, såsom flervägsfel (multipath) och andra liknande störningar. Dessa effekter är lokala och oberoende mellan olika stationer, och kan också variera på samma station beroende på när mätning görs, vald antenn, antennhöjd etc. För en bra stationsuppställning (inkl. val av antenn) brukar detta fel vara ett antal mm i höjd, men kan vid sämre uppställning uppgå till någon cm, och i värsta fall mer.

Bortsett från en relativ stor risk för flervägsfel från taket är mätsituationen optimal i Lantmäteriets antenncalibreringsfält. Där finns exempelvis inga skymmande objekt i någon riktning. Punkterna i Uppsalaslingan är även de utvalda bl.a. för att mätsituationen skall vara så bra som möjligt, men hur de än är utvalda så kan situationen aldrig bli helt optimal i sådana lägen.

För att optimera mätningarna ännu mer så har alla punkter belägna nära sikthinder på högre elevationsgräns än 25 grader mätts in excentriskt. Risken finns ändå att det har uppkommit flervägsfel på någon av punkterna för någon av antenntyperna.. Ytterligare en parameter som försvårar jämförelsen mellan mätkampanjerna är att fem av punkterna mättes in excentriskt. De excentriska punkterna markerades inte varaktigt och de excentriska uppställningarna gjordes därför på något olika ställen i de olika kampanjerna. I de flesta fallen gjordes uppställningarna nära varandra (se Tabell 21 i Appendix 1), men vid en av passpunkterna (1005) hamnade de så långt ifrån varandra som 13 meter. Det innebär att omgivningen inte såg exakt likadan ut och att fel från denna, såsom flervägsfel, kan ha uppkommit under den ena kampanjen men inte under den andra.

När nypunkterna passas in på de omkringliggande punkterna blir medelavvikelserna betydligt mindre, i och med att bl.a. geoidfelet då

reduceras. En intressant iakttagelse är att resultatet av metoden med inpassning gav ett så bra resultat vid statisk mätning med en GNSS-mottagare (RMS kring 9 mm oavsett vald antenntyp). Det skulle därmed kunna vara ett enkelt, billigt och noggrant alternativ vid etablering av nya punkter i RH 2000. Som tidigare nämnts ett flertal gånger så var terrängen i testområdet förhållandevis flack. Det kunde därför vara av intresse att utföra 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.

## 7 Slutsatser

1 timme är en för kort tid för att erhålla en "bra" lösning, d.v.s. en lösning som med 95% sannolikhet klarar kriterierna i SWEPOS Beräkningstjänst (se Kapitel 2.5). Antalet procent för detta blev strax under 93% för Leica, samt strax under 95% för Dorne Margolin, men för alla övriga tidsintervall blev denna procentsats 100% (se Tabell 16 i Appendix 1). För ett område med sämre yttre förhållanden hade denna procentsats troligen varit lägre.

För noggrannast möjliga resultat bör mätning pågå i minst 24 timmar, men för de flesta allmänna tillämpningar så räcker det enligt denna studie med 2 timmar, där RMS i höjd beräknades till 21 mm för Leica-antennerna och 12 mm för Dorne Margolin T-antennerna ( $1\sigma$ ). Skillnaden mellan mätning under 2, 3, 4, 6 och 24 timmar visade sig endast vara marginell (se Tabell 5 i avsnitt 4).

Under mätningarna i februari (dag 1 = 18-19 februari 2008 och dag 2 = 19-20 februari 2008) var vädret stabilt med uppehåll. Vid mätningarna i mars passerade en väderfront med snöfall under natten 18-19 mars. Data för det dygn som benämns dag 3 är från 17-18 mars, medan dygn 4 är från 19-20 mars (efter det att den snö som ansamlats på antennerna sopats av). Snöfallet innebär att mätdata från kampanjen med Leica-antennerna troligen har bättre kvalitet än mätdata från kampanjen med Dorne Margolin-antennerna.

Traditionellt har troposfären inte betraktats som en speciellt viktig felkälla vid GNSS-mätning över mindre till måttliga avstånd (10-20 km), som det ofta är frågan om vid klassisk stomnätmätning med GNSS. Hypotesen är/har varit att atmosfären varit tämligen lika över hela området så att felen i stort sett tagit ut varandra. Däremot är det välkänt att troposfären är en av de viktigaste felkällorna vid mätning över stora avstånd (50 km och uppåt), och för den typen av beräkningar modelleras och korrigeras atmosfärens påverkan. Vid denna modellering kan lokala effekter som bristande antennmodeller ge upphov till fel i framförallt höjd. Vi har idag ingen tydlig kvantifiering av hur stor påverkan är från troposfären på resultatet vid den typ av GNSS-mätning som det är frågan om här. Vi kan dock jämföra med utredningen Close-RTK (*Emardson et al, 2009*), där ingående felkällors inverkan på resultatet vid nätverks-RTK har kvantifierats. På avstånden 20 km respektive 70 km mellan rover och referensstation är exempelvis ett normalt troposfärsfel 11 mm respektive 21 mm. Det enklaste sättet att korrigera för detta är genom inpassning, vilket har använts här (se avsnitt 5).

## 8 Referenser

*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.

*Engfeldt A, Jepsen C, Hedling G, Thorsen S-O, 2006:* Classification of permanent reference stations for GNSS, PM, Nordic Commission of Geodesy

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

Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:4, Lantmäteriet, Gävle

*Lilje C, Engfeldt A, Jivall L, 2007:* Introduktion till GNSS, LMV-rapport 2007:11

*Lilje C/Jivall L, 2008:* Noggrannhetstest av SWEPOS nya beräkningstjänst, PM 2008-05-28

*Ågren J, 2009:* Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08\_RH2000 och SWEN08\_RH70. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2009:1, Lantmäteriet, Gävle.





## Appendix 1 Tabeller och figurer

Tabell 15: Procent godkända lösningar

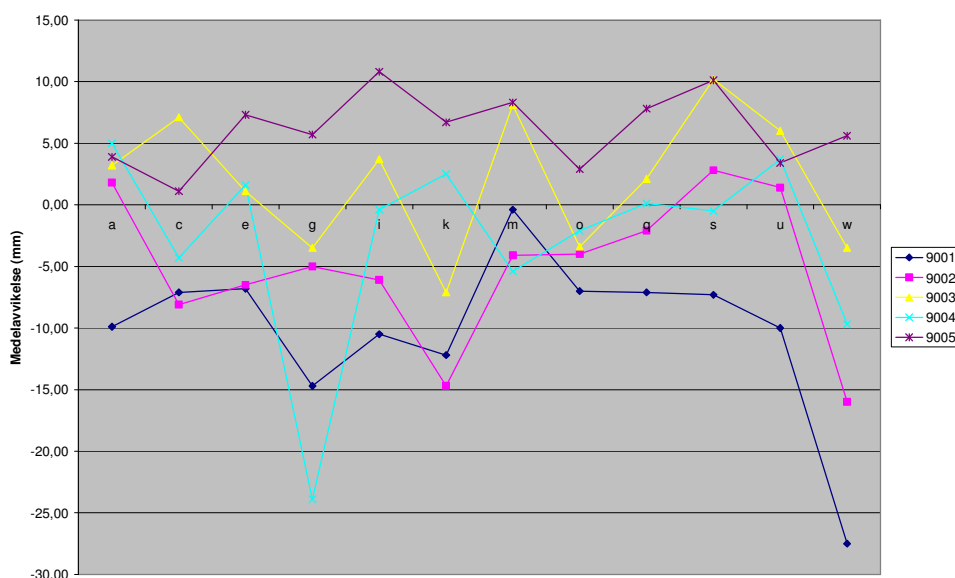
Godkända (%)	Leica d1	Leica d2	Leica Medel	Dorne d1	Dorne d2	Dorne Medel
1 timme	92,0	93,6	92,8	95,0	94,3	94,7
2 timmar	100	100	100	100	100	100
3 timmar	100	100	100	100	100	100
4 timmar	100	100	100	100	100	100
6 timmar	100	100	100	100	100	100
24 timmar	100	100	100	100	100	100

Tabell 16: Medelfix för Leica AX1202 i procent. Röda kursiva siffror visar sämsta procentsatsen för respektive punkt och dag. Gröna feta siffror visar bästa procentsatsen för respektive punkt och dag.

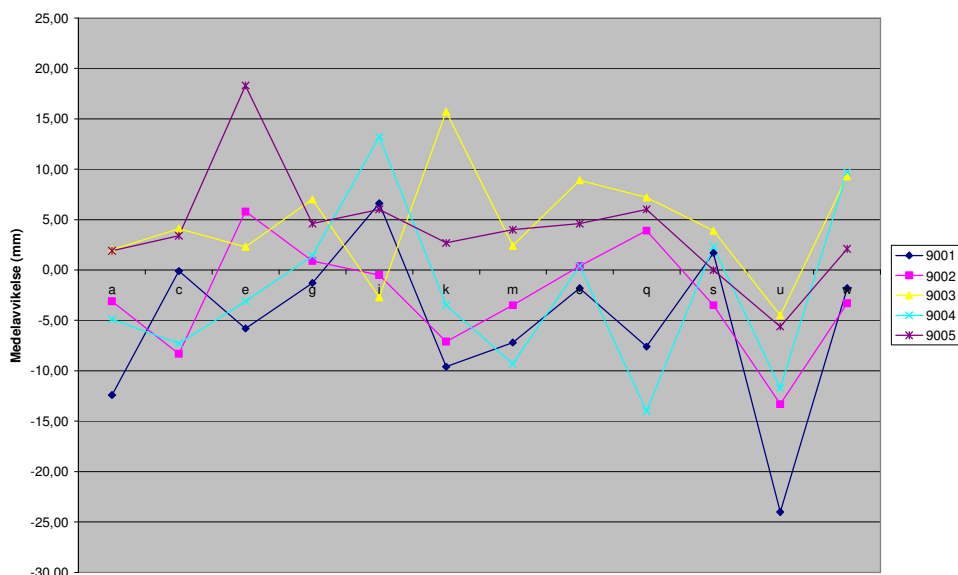
Medelfix (%)	Leica 2h		Leica 3h		Leica 4h		Leica 6h		Leica 24h	
	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2
1001	84,1	<i>85,3</i>	<i>83,2</i>	86,9	85,5	86,8	86,3	87,4	<b>91,7</b>	<b>90,6</b>
1002	<i>90,0</i>	<i>90,0</i>	91,0	91,7	92,7	93,3	93,7	94,2	<b>97,0</b>	<b>97,0</b>
1003	<i>82,7</i>	87,0	85,0	<i>86,5</i>	87,4	88,3	88,5	90,5	<b>92,7</b>	<b>94,2</b>
1004	79,8	80,0	<i>77,5</i>	79,0	78,5	80,4	78,1	<i>78,0</i>	<b>82,3</b>	<b>82,7</b>
1005	84,0	<i>84,9</i>	<i>83,8</i>	86,0	84,7	87,7	85,4	86,9	<b>90,0</b>	<b>91,9</b>
1006	78,9	79,8	81,8	<i>78,8</i>	<i>77,4</i>	81,0	82,4	79,7	<b>84,1</b>	<b>85,7</b>
9001	85,1	<i>84,6</i>	<i>84,1</i>	84,8	87,3	85,9	89,3	86,0	<b>92,8</b>	<b>91,2</b>
9002	<i>83,7</i>	<i>84,7</i>	83,7	85,8	86,1	87,1	86,2	86,3	<b>90,9</b>	<b>88,7</b>
9003	<i>86,2</i>	<i>86,5</i>	88,0	87,0	88,7	89,7	91,6	87,3	<b>94,3</b>	<b>93,9</b>
9004	83,5	<i>81,4</i>	84,0	83,2	<i>82,7</i>	83,1	87,1	82,9	<b>88,0</b>	<b>89,5</b>
9005	80,4	82,9	80,7	<i>82,1</i>	<i>79,7</i>	83,5	82,2	80,9	<b>87,2</b>	<b>87,0</b>

**Tabell 17:** Medelfix för Dorne Margolin T i procent. Röda kursiva siffror visar sämsta procentsatsen för respektive punkt och dag. Gröna feta siffror visar bästa procentsatsen för respektive punkt och dag.

Medelfix (%)	Dorne 2h		Dorne 3h		Dorne 4h		Dorne 6h		Dorne 24h	
	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2	Dygn 1	Dygn 2
1001	86,2	84,3	87,8	84,5	87,1	84,9	89,9	84,6	90,6	91,2
1002	88,4	86,5	88,8	87,9	90,7	88,7	93,0	89,7	93,4	93,3
1003	87,3	83,0	87,4	86,2	91,1	86,6	90,9	87,1	90,6	92,2
1004	85,1	84,7	85,8	85,4	89,0	85,5	89,7	85,4	91,1	91,6
1005	86,6	85,3	87,4	86,1	88,1	86,0	89,9	88,9	90,9	94,3
1006	82,3	80,1	82,4	82,2	85,8	84,8	86,5	84,6	88,4	89,9
9001	89,6	86,6	90,8	87,8	91,7	89,0	94,0	90,7	95,0	94,7
9002	87,8	85,2	88,8	86,0	89,7	86,8	89,7	86,4	91,1	90,0
9003	89,6	87,1	91,9	88,6	91,6	89,7	94,0	90,5	95,6	95,1
9004	83,8	84,7	85,0	86,3	87,6	85,0	87,5	86,2	93,2	92,3
9005	90,2	85,5	91,2	87,9	91,4	88,6	93,7	89,5	95,4	95,3



**Figur 5:** Medelavvikelsen för de olika inpassade 2-timmars lösningarna för Leica AX1202 under dygn 1 (med "lutande plan").



**Figur 6:** Medelavvikelsen för de olika inpassade 2-timmars lösningarna för Leica AX1202 under dygn 2 (med "lutande plan").

**Tabell 18a, b, c och d:** Samtliga punkter, RMS (beräknade värden - kända värden för punkterna), standardavvikelse för avvikelserna, maximal avvikelse alla sessioner, minimal avvikelse alla sessioner, differensen mellan dessa, samt medelavvikelse (skift) alla sessioner.

Före inpassn.	Leica d1					
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift
2 timmar	21,6	4,3	-1,6	-47,7	46,1	-20,1
3 timmar	21,3	4,3	-6,2	-40,5	34,3	-20,1
4 timmar	21,2	4,3	-8,7	-35,9	27,2	-20,3
6 timmar	21,0	4,3	-7,8	-33,3	25,5	-20,2

Före inpassn.	Leica d2					
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift
2 timmar	20,9	4,3	2,1	-37,9	40,0	-19,4
3 timmar	21,0	4,3	-2,0	-35,1	33,1	-20,0
4 timmar	20,2	4,3	-8,8	-30,2	21,4	-19,4
6 timmar	20,4	4,3	-5,4	-28,7	23,3	-19,7

Före inpassn.	Dorne d1					
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift
2 timmar	11,9	4,3	11,7	-25,1	36,8	-9,3
3 timmar	11,5	4,4	17,4	-20,7	38,1	-9,5
4 timmar	11,4	4,3	11,9	-23,9	35,8	-9,4
6 timmar	10,7	4,4	6,8	-19,4	26,2	-9,1

Före inpassn.	Dorne d2					
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift
2 timmar	12,4	4,3	11,5	-26,2	37,7	-9,7
3 timmar	11,4	4,3	8,3	-22,7	31,0	-9,5
4 timmar	11,4	4,3	8,7	-23,4	32,1	-9,7
6 timmar	11,2	4,3	3,9	-20,9	24,8	-10,0

**Tabell 19a, b, c och d:** Nypunkter 9001-9005, RMS (för nybestämda punkter 9001-9005 - kända värden för punkterna), standardavvikelse för avvikelserna, maximal avvikelse alla sessioner, minimal avvikelse alla sessioner, differensen mellan dessa, medelavvikelse (skift) alla sessioner, samt poolat grundmedelfel för inpassningen.

Lutande plan	Leica d1						
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift	S <sub>0</sub> lutande plan
2 timmar	8,2	8,0	10,8	-27,5	38,3	-2,0	5,8
3 timmar	6,8	6,6	10,4	-20,6	31,0	-2,0	4,1
4 timmar	6,0	6,0	8,8	-14,3	23,1	-1,2	3,9
6 timmar	6,1	6,0	8,4	-12,2	20,6	-1,8	3,5

Lutande plan	Leica d2						
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift	S <sub>0</sub> lutande plan
2 timmar	7,4	7,5	18,3	-24,0	42,3	-0,3	5,7
3 timmar	5,1	5,1	12,4	-9,7	22,1	-0,7	4,6
4 timmar	5,1	5,1	10,8	-11,4	22,2	-0,8	3,5
6 timmar	4,6	4,7	7,6	-7,7	15,3	-0,6	3,7

Lutande plan	Dorne d1						
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift	S <sub>0</sub> lutande plan
2 timmar	7,9	5,7	4,1	-19,9	24,0	-5,5	5,8
3 timmar	7,4	5,1	3,0	-15,1	18,1	-5,5	5,4
4 timmar	6,7	5,1	5,8	-13,7	19,5	-4,5	4,6
6 timmar	7,4	3,8	-0,7	-14,7	14,0	-6,4	3,5

Lutande plan	Dorne d2						
(mm)	RMS	Std avv	Maxavv	Minavv	Diff Max-min	Skift	S <sub>0</sub> lutande plan
2 timmar	8,5	6,2	8,1	-21,9	30,0	-5,9	6,0
3 timmar	6,8	4,5	3,7	-12,7	16,4	-5,1	4,5
4 timmar	6,7	4,2	3,5	-13,3	16,8	-5,2	3,7
6 timmar	6,1	3,7	2,8	-11,3	14,1	-4,9	3,2

**Tabell 20:** Lutande plan, sigmavärden för enstaka inpassning, 2 timmar, absolutvärden av medelavvikelsen (skiftet).

	Leica AX1202 (mm)	Dorne Margolin T (mm)
1 sigma	7,1	8,5
2 sigma	14,7	14,9
Maxavvikelse	27,5	21,9

**Tabell 21:** Skillnaden i plan excentritet mellan de olika mätkampanjerna.

Punktnummer	Skillnad N (DM-L)	Skillnad Ö (DM-L)	Skillnad i plan (m)
1001	-0,1	0,1	0,1
1005	-11,5	-5,8	12,9
9001	0,0	-0,1	0,1
9002	-0,4	-0,8	0,9
9004	0,6	1,9	2,0

## 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

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.

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

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 mätningsarbetet 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 satellit-tillgänglighet 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 upp-mätta 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.



## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 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 & Illerstrom 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.
- 2010:4 Eriksson Per-Ola (ed.): Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer
- 2010:5 Eriksson Per-Ola: Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning

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)