

# **Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten**

Anders Alfredsson, Linda Alm, Fredrik Dahlström,  
Lotti Jivall, Christina Kempe, Peter Wiklund

Gävle 2019

LANTMÄTERIET



# LANTMÄTERIET



Copyright ©

2019-03-29

Författare Anders Alfredsson, Linda Alm, Fredrik Dahlström, Lotti Jivall,  
Christina Kempe, Peter Wiklund

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 26

Lantmäteri rapport 2019:1 ISSN 0280-5731

# Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten

Anders Alfredsson, Linda Alm, Fredrik Dahlström,  
Lotti Jivall, Christina Kempe, Peter Wiklund

Gävle 2019

LANTMÄTERIET





# Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten

<b>1</b>	<b>Förord</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Förvaltning av det nationella aktiva referensnätet SWEPOS</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Inledning</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Referensstationernas utförande</b>	<b>8</b>
2.2.1	Avgränsning	10
<b>2.3</b>	<b>Fysisk förvaltning</b>	<b>11</b>
2.3.1	Regelbunden tillsyn	11
2.3.2	Stationsinmätning	11
<b>2.4</b>	<b>Beräkning och analyser</b>	<b>12</b>
2.4.1	Daglig SWEPOS-beräkning	12
2.4.2	SWEPOS veckoberäkning	13
2.4.3	Koordinatbestämningar	13
2.4.4	Omberäkningar	14
<b>3</b>	<b>Förvaltning av passiva GNSS-punkter</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Inledning</b>	<b>15</b>
3.1.1	Försäkringspunkternas syften	15
<b>3.2</b>	<b>Behov av fler avvägda GNSS-punkter</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Förvaltningen från 2020 och framåt</b>	<b>16</b>
3.3.1	Inventering och urval	17
3.3.2	Utförande samt inmätningsteknik	17
3.3.3	Beräkning	18
3.3.4	Kontroll av RH 2000-höjd genom avvägning	18
3.3.5	Kontroll genom GNSS	19
3.3.6	Förändringar i Digitalt geodetiskt arkiv, DGA	20
<b>3.4</b>	<b>RIX 95-punkter</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Förvaltning av det nationella referensnätet i höjd</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Inledning</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Ajourhållning</b>	<b>21</b>
4.2.1	Inventering	21

4.2.2	Markering	22
4.2.3	Avvägning	22
4.2.4	Beräkning	23
<b>4.3</b>	<b>Förtätning</b>	<b>23</b>
4.4	Beslut om förändrad ajourhållning	23
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>24</b>

# 1 Förord

Under hösten 2018 har en översyn av Lantmäteriets förvaltning rörande de nationella referensnäten gjorts och resultatet presenteras i denna rapport. De nya riktlinjer som arbetats fram träder i kraft under 2019.

Översynen bygger på tidigare dokumentation som rör förvaltningen av nationella geodetiska referensnät, framförallt LMV-rapporterna 2010:11, *Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden* och 2007:14, *RH 2000 och riksavvägningen*. I denna rapport redovisas de förändringar och förtydliganden som översynen resulterat i. För att få en fullständig bild av den geodetiska infrastrukturen rekommenderas därför att läsa även de äldre mer omfattande dokumenten.

Denna rapport omfattar förvaltningen av det aktiva referensnätet SWEPOS®, de passiva GNSS-punkterna i SWEREF 99 samt referensnätet i höjd (RH 2000). Referensnät för tyngdkraft (RG 2000) omfattas inte då förvaltningsfasen inte startat ännu (Engfeldt et al., 2019).

Arbetsgruppen har bestått av personal på Lantmäteriets enhet för Geodetisk infrastruktur.

## 2 Förvaltning av det nationella aktiva referensnätet SWEPOS

### 2.1 Inledning

Det nationella aktiva referensnätet, SWEPOS, utgör i sin helhet både grunden för referenssystemet SWEREF 99 och en förutsättning för utnyttjande av positionsbestämningstjänster såsom nätverks-RTK. De ingående fasta referensstationerna i SWEPOS består av:

- *Klass A-stationer* vars antenntfundament är pelare och/eller fackverksmast på fast berggrund, här ingår de 21 så kallade fundamentalstationerna som realiserar referenssystemet SWEREF 99.
- *Klass B-stationer* vars antennstativ till största del är monterade på befintliga byggnader.

Många av klass A-stationerna ingår i det europeiska nätverket för GNSS-stationer kallat EUREF Permanent GNSS Network (EPN, [www.epncb.oma.be](http://www.epncb.oma.be)) och bidrar med data till European Plate Observing System (EPOS, [www.epos-ip.org](http://www.epos-ip.org)). En del ingår även i det globala GNSS-nätverket International GNSS Service (IGS, [www.igs.org](http://www.igs.org)). Lantmäteriet har där åtagit sig att driva stationerna långsiktigt enligt deras riktlinjer.

Beräkningar av alla stationer görs löpande för att säkerställa att användare påverkas så lite som möjligt av eventuella förändringar av stationerna.

### 2.2 Referensstationernas utförande

Inom begreppen klass A respektive klass B finns skillnader i stationernas utförande som till viss del påverkar hur stationen förvaltas, se Tabell 1 respektive Tabell 2.

Alla SWEPOS-stationer som ingår i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst och ägs av Lantmäteriet omfattas av förvaltningen, undantaget de stationer som beskrivs i 2.2.1.

Förutom de 21 fundamentalstationerna kan aktuellt antal klass A- och klass B-stationer ses på SWEPOS hemsida, [www.swepos.se](http://www.swepos.se).



**Tabell 1: Sammanställning av klass A-stationernas utförande.**

<b>Tillämpning</b>	SWEPOS fundamentalstationer, 21 klass A-stationer som definierar referenssystemet SWEREF 99	Övriga klass A-stationer, används för geodynamiska modeller
<b>Utförande</b>	Monument på fast berggrund Teknikbod Dubbla monument 48 timmars avbrottsfri strömförsörjning Redundanta dataförbindelser	Monument på fast berggrund Oftast teknikbod Minst 4 timmars avbrottsfri strömförsörjning Redundanta dataförbindelser

### **SWEPOS fundamentalstationer**

Referenssystemet SWEREF 99 definieras av de 21 fundamentalstationerna. De används för övervakning av referenssystemet och övriga SWEPOS-stationers stabilitet samt hastighetsskattning genom tidsserieanalys. De ligger därmed till grund för estimering av geodynamiska rörelser som till exempel används för modellering av landhöjningen som behövs för att förvalta SWEREF 99. Stationerna är etablerade på fast berggrund med tillhörande teknikbod och är utrustade med UPS:er (Uninterruptible Power Supply) för 48 timmars avbrottsfri strömförsörjning. De har även redundanta dataförbindelser.

För att säkra stationerna har de kompletterats med ytterligare en antenninstallation med en fackverksmast. De två antenninstallationerna ska möjliggöra att tidsserier kan överföras om utrustning behöver ersättas eller av annan anledning behöver förändras. Med begreppet station avses hela referensstations-installationen, även kallad *site* på engelska, vilken kan inkludera flera monument med antenninstallationer.

### **Övriga klass A-stationer**

De klass A-stationer som inte är fundamentalstationer används också för hastighetsskattning genom tidsserieanalys och bidrar till de geodynamiska modeller som behövs för att förvalta SWEREF 99. En del av stationerna har teknikbodar. Stationerna är utrustade med minst 4 timmars avbrottsfri strömförsörjning samt redundanta dataförbindelser.

På samtliga klass A-stationer ska byte av utrustning, främst antenn och radom, undvikas i möjligaste mån och endast göras om det är absolut nödvändigt.

### Klass B-stationer

Klass B-stationerna är etablerade på befintliga byggnader och är tillsammans med klass A-stationerna en förutsättning för SWEPOS nationella nätverks-RTK-tjänst.

**Tabell 2: Sammanställning av klass B-stationernas utförande.**

<b>Tillämpning</b>	Klass B-stationer ingående i 70-kilometersnätet för SWEPOS nätverks-RTK-tjänst	Övriga klass B-stationer utgör förtätning av referensnätet för SWEPOS nätverks-RTK-tjänst
<b>Utförande</b>	Monumentering på befintliga byggnader Minst 4 timmars avbrottsfri strömförsörjning Redundanta dataförbindelser	Monumentering på befintliga byggnader

Stommen i nätverket är det så kallade 70-kilometersnätet vars stationer är utrustade med redundanta dataförbindelser samt minst 4 timmars avbrottsfri strömförsörjning.

Övriga klass B-stationer bildar ett förtätat nät med stationsavstånd på 35 kilometer, men i vissa områden ner till 10 kilometer. Stationerna bidrar till redundans i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst samt lägre mätosäkerhet främst i höjd. Dessa stationer har (i allmänhet) varken redundanta dataförbindelser eller avbrottsfri strömförsörjning.

#### 2.2.1 Avgränsning

Utöver de stationer som beskrivs ovan existerar ett antal andra stationer som inte omfattas av de riktlinjer för förvaltningen som beskrivs här. Det rör sig om projektanpassade stationer, test-stationer och stationer som inte ingår i SWEPOS ordinarie nätverks-RTK-tjänst.

Utländska stationer och stationer som tillhör samarbetspartners ingår inte heller i Lantmäteriets förvaltning, trots att de kan ingå i SWEPOS nätverks-RTK-tjänst.

Förvaltningen av dessa sköts istället inom respektive projekt eller ansvarig organisation.

## 2.3 Fysisk förvaltning

Den fysiska förvaltningen inkluderar att ha ordning och reda på alla metadata samt tillsyn och service ute på stationerna.

- En central utrustningsdatabas används för att hålla ordning på all utrustning på stationerna, stationsvärdar, koordinater, markeringar etc. samt vilka åtgärder som gjorts i samband med besök och serviceresor.
- Reservdelar finns alltid tillgängliga i lager om problem uppstår på en station.
- Uppdaterade log-filer finns för de SWEPOS-stationer som ingår i EPN- och IGS-nätverken, och ska på sikt kunna tillhandahållas även för övriga SWEPOS-stationer.

### 2.3.1 Regelbunden tillsyn

Tillsynen av stationerna varierar beroende på vilken typ av station det är, där klass A-stationerna besöks regelbundet och klass B-stationerna endast vid behov. Servicen beror på vilken typ av utrustning som finns på stationen, men kan i stort sammanfattas enligt:

#### Årliga serviceresor för klass A-stationerna

- Fotografering av utrustning inne i boden.
- Fotografering utvändigt, teknikboden/byggnaden och antennen m.m.
- Kontroll av batterier för avbrottsfri strömförsörjning.
- Rengöring av antennenradom.
- Rengöring av filter till eventuell kylanläggning.
- Allmän översyn, röjning av växtlighet och underhåll av teknikbod.

#### Service vid behov för klass B-stationerna

- Fotografering av utrustning inne i byggnaden.
- Fotografering utvändigt, antennen m.m.
- Rengöring av utrustning.
- Rengöring av antennenradom.

### 2.3.2 Stationsinmätning

De 21 fundamentalstationerna i SWEPOS används för övervakning av referenssystemet SWEREF 99 och övriga SWEPOS-stationers stabilitet, och ligger också till grund för estimering av geodynamiska rörelser. Det är därför viktigt att antennenmonumenten – pelarna och fackverksmasterna – är mycket stabila och att eventuella rörelser är kända.

För att kunna övervaka monumentens rörelser finns ett lokalt referensnät vid varje fundamentalstation. Nätet består vanligtvis av

fem ståldubbar i fast berg. Pelar- och masttopp kan då mätas in med terrester teknik relativt dubbarna.

Resultaten av dittills genomförda stationsinmätningar redovisas i Lidberg & Lilje (2007). Rapporten konstaterar att pelarnas eventuella rörelser i allmänhet är små. Man rekommenderar också fortsatta stationsinmätningar för att övervaka monumentrörelserna.

Därefter har ytterligare en stationsinmätning gjorts, som inkluderade både pelare och fackverksmaster. Inför denna mätning förändrades mätmetodiken för att inte behöva ta av och sätta tillbaka GNSS-antennerna med risk att införa hopp i tidsserierna (Andersson, 2015).

## 2.4 Beräkning och analyser

I förvaltningen av det aktiva referensnätet ingår att övervaka kvalitet på observationsdata och stationernas stabilitet. Övervakning i realtid ligger utanför vad som tas upp i denna rapport, men görs via programvaran för realtidstjänsterna.

Lagrade observationsdata kontrolleras dels med avseende på data-kvalitet internt, dels genom ett antal beräkningar av GNSS-data från stationerna. Beräkningarna har flera syften, bland annat att:

- upptäcka problem och störningar på referensstationerna
- övervaka stationsstabiliteten – särskilt för klass B-stationerna
- säkerställa att förändringar i nätet och SWEPOS tjänster ger så liten påverkan som möjligt i användarledet, t.ex. genom att:
  - vid behov uppdatera SWEREF 99-koordinaterna för de stationer som bytt GNSS-antenn eller antenntyp
  - uppdatera stationskoordinaterna när antennmodellerna (*antenna phase centre variations*, som beskriver GNSS-antennernas elektriska egenskaper) uppdateras.
- beräkna SWEREF 99-koordinater för nya stationer.

Den interna datakvaliteten kontrolleras med avseende på flervägsfel, signal-brusförhållande, att förväntade observationer finns med etc. Programvaran har främst varit Teqc ([www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html](http://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html)) men en övergång till Anubis ([www.pecny.cz/GOP/index.php/gnss/sw/anubis](http://www.pecny.cz/GOP/index.php/gnss/sw/anubis)) pågår.

För flertalet rutinberäkningar används Bernese GNSS Software (Dach et al., 2015) och för vissa tillämpningar används GIPSY (<https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov>). Det är önskvärt att använda mer än en programvara, då programvarurelaterade effekter kan detekteras i och med de olika beräkningsstrategierna.

### 2.4.1 Daglig SWEPOS-beräkning

Huvudsyftet med daglig SWEPOS-beräkning är att snabbt upptäcka problem och störningar på stationerna samt övervaka deras stabilitet. Beräkningen körs automatiskt varje natt, drygt ett dygn efter varje

avslutat dygn. För beräkningen används s.k. rapid-produkter – preliminära efterberäknade satellitbanor, satellitklockor och jordrotationsparametrar. Ambitionen är i första hand att åstadkomma snabba resultat och beräkningen är därför något ”förenklad” för att dels undvika problem, dels begränsa tidsåtgången.

Av koordinater från den dagliga beräkningen skapas tidsserier som kan användas bl.a. för att upptäcka instabila stationer, snö som ackumuleras på antenradomen eller andra effekter från stationernas närmiljö. Avvikelser sammanfattas också månadsvis och åtgärder vidtas där det är lämpligt och genomförbart.

Den dagliga beräkningen bidrar också till att tidigt upptäcka eventuella problem med bl.a. saknade data i SWEPOS dataarkiv och felaktig stationsinformation.

## **2.4.2 SWEPOS veckoberäkning**

I första hand ligger SWEPOS veckoberäkning till grund för bestämning av SWEREF 99-koordinater för stationerna i det aktiva referensnätet; se vidare om beräkning av definitiva koordinater i stycke 2.4.3. Beräkningen görs först dag för dag och startas då de s.k. final-produkterna – slutliga efterberäknade satellitbanor, satellitklockor och jordrotationsparametrar – finns tillgängliga och sker därmed med viss fördröjning.

De dagliga lösningarna slås sedan samman till veckolösningar. Även från denna beräkning skapas tidsserier av de dagliga koordinatlösningarna.

När antenmodellerna uppdateras – ofta initierat av IGS – behöver även referensstationernas SWEREF 99-koordinater uppdateras, eftersom ambitionen är att användarna inte ska påverkas av detta. Referenssystemet SWEREF 99 hålls alltså oförändrat ur ett användarperspektiv. Arbetet med korrigerings/uppdatering av SWEREF 99-koordinaterna i sådana fall baseras på parallella veckoberäkningar med gamla respektive nya antenmodeller.

## **2.4.3 Koordinatbestämningar**

När nya referensstationer etableras behöver SWEREF 99-koordinater bestämmas för dessa. Även då stationer byter antenn, antenradom eller vid annan förändring i närmiljön kan koordinaterna behöva uppdateras för att referenssystemet SWEREF 99 ska upplevas som oförändrat av SWEPOS-användare. Koordinater för referensstationer som inte är helt stabila uppdateras också med jämna mellanrum.

Beräkningen görs i ITRF (International Terrestrial Reference Frame) aktuell epok och landhöjningsreduceras till epok 1999.5 som är epoken för SWEREF 99. Slutligen passas lösningen in på de närmaste

fundamentalstationerna i SWEPOS och eventuella utländska stationer som också definierar SWEREF 99.

För att snabbt få fram koordinater beräknas först preliminära koordinater. Beräkningen baseras på fem dygns observationer och sedan medelvärdesbildas koordinaterna från dygnslösningarna. Vid antennbyte räknas fem dygn före och fem dygn efter antennbytet för att se om koordinaterna ändrats signifikant och därmed behöver uppdateras.

På vår och höst görs beräkningar av s.k. definitiva koordinater för de stationer som behöver detta. Tidpunkterna är valda dels för att undvika perioder med snö på antennradomerna, dels för att utnyttja "medellägena" för de stationer som har årstidsvariationer (dessa stationer når i allmänhet sina extremlägen under vinter och sommar). Koordinatberäkningen baseras då på 3-5 veckors observationer.

Detta innebär att en referensstation kan ha flera uppsättningar koordinater som gäller för olika tidsintervall, antingen på grund av antenn-/radombyte eller att stationen rör sig. Dessutom kan samma station ha flera koordinatuppsättningar för samma tidsintervall, p.g.a. uppdatering för nya antennmodeller.

Koordinaterna lagras i SWEPOS koordinatdatabas tillsammans med uppgift om giltighetstid.

#### **2.4.4 Omberäkningar**

Ibland görs omberäkningar, även kallade *repro*, av klass A-stationer. Det viktigaste motivet för omberäkning är att ta fram konsistenta lösningar – där de senaste beräkningsstrategierna, bandata, antennmodellerna etc. används – till grund för tidsserier. Sådana tidsserier kan t.ex. användas som indata i geodynamiska landhöjningsmodeller.

Ett flertal omberäkningar har gjorts med programvarorna GAMIT-GLOBK och GIPSY i BIFROST-projektet (Lidberg et al., 2015). NKG GNSS AC (Nordiska kommissionen för geodesis GNSS-analyscentrum) har hittills genomfört en omberäkning med Bernese GNSS Software (Lahtinen et al., 2018).

Framtida omberäkningar koordineras lämpligen med IGS' och EPN:s omberäkningar, vilka brukar genomföras något/några år efter att en ny ITRF-lösning släppts.

## 3 Förvaltning av passiva GNSS-punkter

### 3.1 Inledning

Referenssystemet SWEREF 99 realiseras aktivt genom de 21 fundamentalstationerna i SWEPOS, se 2.1. Utöver den aktiva realiseringen finns passiva GNSS-punkter som till stor del etablerades i RIX 95-projektet (Andersson et al., 2015). De passiva GNSS-punkterna används idag för att kontrollera det aktiva referensnätet men kan även utnyttjas för åtkomst till referenssystemet.

I RIX 95-projektet etablerades ungefär 300 så kallade SWEREF-punkter samt ungefär 10 000 RIX 95-punkter. Ett urval av SWEREF-punkterna fortsatte att underhållas och fick benämningen försäkringspunkter. Försäkringspunkterna är ett antal prioriterade, stabila, tillgängliga punkter med god sikt mot GNSS-satelliterna vars främsta syfte är att kontrollera att allting står rätt till med det aktiva referensnätet. Det finns dock fler syften, se vidare 3.1.1.

Ajourhållningen av dessa försäkringspunkter innebär att de inventeras och mäts om vart sjätte år, och efter mätningarna 2019 har de flesta mätts vid tre olika tillfällen.

Urvalet av försäkringspunkter har under åren förändrats något då punkter blivit förstörda eller av annan anledning inte går att mäta på, till exempel på grund av omkringliggande växtlighet. Då en försäkringspunkt blivit olämplig har en bedömning gjorts om den ska ersättas eller ej. Om möjligt har ersättningen skett genom mätning på både gammal och ny markering vid samma tidpunkt. Det totala antalet försäkringspunkter är därför ungefär 300 stycken över tid. Övervägande del försäkringspunkter är dock fortfarande identiska med SWEREF-punkter.

#### 3.1.1 Försäkringspunkternas syften

Syftena med försäkringspunkterna är flera:

- Upprepade mätningar på stabila försäkringspunkter över tid används för att kontrollera mät- och beräkningssystemet i det aktiva referensnätet. Tillförlitliga tidsserier på ett antal försäkringspunkter är ett bra verktyg för att verifiera att SWEPOS levererar stabila koordinater över tid, oberoende av förändringar i installationer och beräkningsstrategier.
- Försäkringspunkterna utgör en passiv förtätning av det aktiva SWEPOS-nätet och genom upprepade mätningar kan eventuella rörelser mellan SWEPOS-stationerna upptäckas. Informationen det tillför kan användas för kontroll av landhöjningsmodeller.

- De försäkringspunkter som även är höjdbestämda genom avvägning kan utgöra underlag för geoidbestämning. En hög andel avvägda försäkringspunkter är därför något som ska eftersträvas, se vidare 3.2.

## 3.2 Behov av fler avvägda GNSS-punkter

Avvägda GNSS-punkter är punkter som både är inmätta med GNSS och höjdbestämda genom avvägning och är en förutsättning för att kunna bestämma en geoidmodell. I beräkningen av den nationella geoidmodellen SWEN17\_RH2000 ingår endast avvägda GNSS-punkter av god kvalitet i SWEREF 99. I tidigare geoidmodeller har även avvägda RIX 95-punkter inkluderats. Genom att utesluta RIX 95-punkterna har osäkerheten i geoidbestämningen minskat, men punktunderlaget har blivit glesare.

För geoidbestämningen är ett punktavstånd på ungefär 35–50 km optimalt, alltså samma punktavstånd som försäkringspunkterna har. Det är ungefär lika långt eller något kortare än korrelationslängden som fås vid empirisk kovariansanalys av skillnaden mellan GNSS/avvägning och den gravimetriska geoidmodellen.

Nuvarande punktunderlag uppfyller delvis detta kriterium men i vissa områden är det betydligt glesare än så. Komplettering med nya avvägda GNSS-punkter skulle i dessa områden bidra positivt till geoidbestämningen. För att skapa en mer homogen uppsättning avvägda GNSS-punkter som leder till säkrare geoidbestämning planeras under åren 2018–2023 en komplettering. Detaljplaneringen av dessa kompletteringar återstår men det totala behovet ser ut att vara ungefär 120 nya avvägda GNSS-punkter.

En del av dessa glesa områden ligger i utkanten av geoidmodellens täckningsområde, vilket medför att SWEN17\_RH2000 tenderar att sammanfalla med den underliggande gravimetriska modellen. Geoidmodellens osäkerhet i dessa områden blir då svårbedömd.

## 3.3 Förvaltningen från 2020 och framåt

Då i princip alla befintliga försäkringspunkter mätts vid tre tillfällen, vilket uppfylls efter 2019 års mätning, förändras strategin och uppsättningen försäkringspunkter justeras med syfte att öka andelen avvägda GNSS-punkter. De punkter som förvaltas får då ökat användningsområde och den totala nyttan ökar. I förlängningen kommer ett antal försäkringspunkter att bytas ut mot punkter med avvägd höjd i RH 2000. Tidsserierna på de befintliga försäkringspunkterna kommer då att brytas och under en övergångsperiod kommer information från upprepade mätningar saknas på de nya avvägda GNSS-punkterna.



### 3.3.1 Inventering och urval

- För att upprätthålla skick och status på de befintliga försäkringspunkterna fortsätter inventeringen på samma sätt som tidigare. Inventeringen utökas dock med:
  - Kandidater för de nya avvägda GNSS-punkterna.
  - Övriga avvägda GNSS-punkter som mätts tidigare, till exempel 2007 års avvägda GNSS-punkter. Detta för att möjliggöra kontrollmätning genom GNSS, se 3.3.5.
- Beslut om vilka punkter som ska mätas tas årsvis baserat på inventeringen. En del av de befintliga försäkringspunkterna kommer alltså inte att mätas under kommande mätcykler (2020 och framåt).
- När kompletteringen av avvägda GNSS-punkter är slutförd tas nytt beslut om vilken uppsättning punkter som ska utgöra försäkringspunkter.
- Om en försäkringspunkt behöver ersättas på grund av att den är förstörd eller på annat sätt olämplig ska en punkt som uppfyller kraven för avvägd GNSS-punkt väljas då det är möjligt.
- Då tidsserierna på befintliga försäkringspunkter nu omfattar tre mättillfällen kan ersättningsmätning utföras genom att endast mäta in den punkt som eventuellt kommer att ersätta en befintlig försäkringspunkt. Tidsserien kan istället återupptas vid ett senare tillfälle och den lucka som uppstår i tidsserien kan tolereras.

### 3.3.2 Utförande samt inmätningmetodik

- Uppsättningen försäkringspunkter bör även fortsättningsvis omfatta ungefär 300 punkter med ett inbördes avstånd på 35-50 km.
- Punkterna delas in i 12 geografiska områden på samma sätt som tidigare. Varje år mäts två områden, ett i söder och ett i norr, med inventering året innan. Det leder till att alla punkter mäts om med sex års mellanrum. Indelningen i geografiska områden motiveras främst av logistiska skäl men det faktum att olika delar av SWEPOS-nätet kontrolleras varje år gör denna indelning mest rationell.
- För att försäkringspunkter ska kunna utgöra underlag för geoidbestämning måste de vara avvägda. Därför bör de i möjligaste mån vara höjdbestämda genom avvägning. I första hand används befintliga höjdfixar i det nationella höjdnätet men vid behov kan punkter nära höjdnätet användas eller markeras.

- Markeringarna ska i första hand vara utförda med ståldubb i berg och i andra hand ståldubb i (stor) jordfast sten.
- Punkterna ska väljas så att förutsättning för goda siktförhållanden finns, även över tid.
- Mätningen sker på motsvande sätt som vid den ursprungliga inmätningen av SWEREF-punkter (Andersson, 2009), dock kompletterat med observationer av nya GNSS-signaler.

Inmätningmetodiken innebär i korthet:

- Statisk bärvågsmätning.
- Individkalibrerade antenner (choke-ring) av samma typ som på SWEPOS-stationerna, dock utan antenntak.
- Två sessioner om vardera 24 timmar med omcentrering mellan sessionerna.
- Loggning av samtliga tillgängliga signaler, dock minst L1, L2 och L5 för GPS, L1 och L2 för Glonass samt E1, E5a och E5b för Galileo.

### 3.3.3 Beräkning

Inmätningarna av försäkringspunkter och avvägda GNSS-punkter beräknas efter respektive fältsäsong. För beräkningen används Bernese GNSS Software, med den vid tidpunkten bästa beräkningsmetoden och s.k. final-produkter – slutliga efterberäknade satellitbanor, satellitklockor och jord-rotationsparametrar. Beräkningen görs i ITRF aktuell epok och landhöjningsreduceras till epok 1999.5 som är epoken för SWEREF 99. Slutligen passas lösningen in på de närmaste fundamentalstationerna i SWEPOS och eventuella utländska stationer som också definierar SWEREF 99.

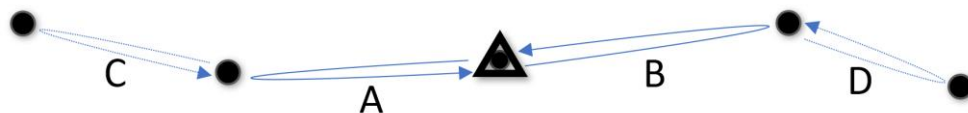
De flesta inmätningarna av de befintliga försäkringspunkterna har även beräknats ytterligare en gång under 2017–2018 med Bernese GNSS Software, samt en gång med programmet GAMIT-GLOBK. Dessa två omberäkningar har givit konsistenta lösningar, där uppdaterade beräkningsstrategier, banddata, antenntak etc. använts. Ytterligare omberäkningar kan bli aktuella, baserat på kommande ITRF-lösningar och nya beräkningsmodeller. Vidare har beräkningarna fram till 2016 varit baserade på enbart GPS. Sedan år 2017 har även Glonass mätts och sedan år 2018 finns också övriga GNSS-system observerade. Under en övergångsperiod bör därför ett flertal parallella beräkningar göras för att analysera effekten av de tillkommande satellitsignalerna.

### 3.3.4 Kontroll av RH 2000-höjd genom avvägning

För att kontrollera att de avvägda GNSS-punkterna har rätt höjd i RH 2000 ska samtliga punkter som ingår i geoidbestämningen kontrolleras genom avvägning. Det finns en risk att även bergfixar kan ha felaktig höjd, exempelvis kan dubben vara lös eller ha rört

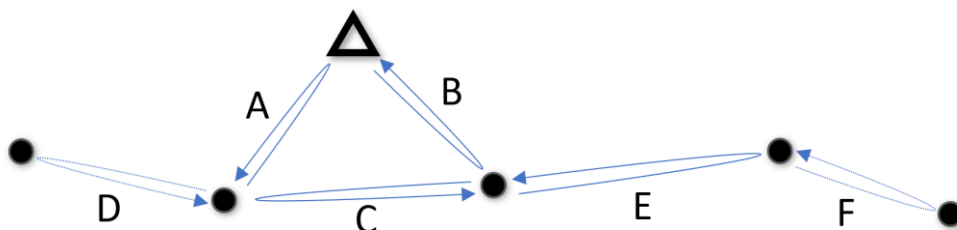
sig, förmodat berg visa sig vara en sten, eller mellanlägg ha använts felaktigt vid avvägningen.

**Figur 1: Principskiss för kontroll genom avvägning om GNSS-punkt är identisk med höjdfix.**



I de fall GNSS-punkten är identisk med en höjdfix i höjdnätet bör kontrollavvägningen kunna utföras med avvägning mot närmsta höjdfix (till exempel A i Figur 1) men i de fall mätningen inte överensstämmer med den ursprungliga mätningen måste fler fixhåll (B i Figur 1, alternativt även C eller D) avvägas för att avgöra var eventuell rörelse skett.

**Figur 2: Principskiss för kontroll genom avvägning av piké.**



Då den avvägda GNSS-punkten inte är identisk med en höjdfix, utan en avvägd piké, ska kontrollen ansluta till minst två höjdfixar i höjdnätet (A + B, alternativt B + C eller B + E i Figur 2). Om mätningen inte överensstämmer utökas kontrollen på samma sätt som ovan.

Kontrollerna genom avvägning bör utföras i rimlig takt fram till 2029. Uppskattningsvis ska 300 punkter kontrolleras mot närmsta höjdfix, vilket som lägst innebär 600 km avvägning om avvägningen kan ske endast till närmsta höjdfix (A eller B i Figur 1) och inga rörelser då detekteras. Den lågt räknade volymen skulle innebära ungefär 60 km avvägning per år under tio år men kan vara något högre om det blir tvunget att avväga fler fixhåll.

För att säkerställa att avvägningen går att genomföra ska de fyra eller fem närliggande höjdfixarna, enligt Figur 1 och Figur 2, inventeras inför kontrollavvägningen.

### 3.3.5 Kontroll genom GNSS

Ett 50-tal befintliga avvägda GNSS-punkter har endast en GNSS-bestämning sedan tidigare. Dessa ska, om de bedöms lämpliga, mätas ytterligare en gång som kontroll. Den ordinarie mätcykeln kompletteras med denna kontrollmätning.

### **3.3.6 Förändringar i Digitalt geodetiskt arkiv, DGA**

Utöver de förändringar i förvaltningen som beskrivs ovan behöver även DGA utvecklas för att kunna lagra försäkringspunkternas historik. De ursprungliga koordinaterna som användes i RIX 95 kompletteras med koordinatuppgifter från ommätningarna.

## **3.4 RIX 95-punkter**

I och med att SWEREF 99 realiseras aktivt genom SWEPOS har inte de passiva GNSS-punkterna någon status som bärare av referenssystemet. Vid användning av de passiva GNSS-punkterna ska därför deras osäkerhet beaktas. Eftersom RIX 95-nätet inte underhålls är dessutom deras status okänd.

För att få bästa möjliga anslutning till referenssystemet bör, när detta är möjligt, i stället anslutning göras direkt mot referensstationerna i SWEPOS.

## **4 Förvaltning av det nationella referensnätet i höjd**

### **4.1 Inledning**

Sveriges nationella höjdsystem RH 2000, som lanserades 2005, har en passiv definition och realiserar av höjderna på de cirka 50 000 höjdfixar som avvägdes i den tredje nationella precisionsavvägningen. Genom exploatering försvinner punkter kontinuerligt vilket urholkar värdet av den gjorda investeringen i höjdnätet samtidigt som tillgängligheten minskar. För att bevara RH 2000 pågår därför sedan 1994 en systematisk ajourhållning.

Att gå över till ett nationellt höjdsystem som realiserar av ett aktivt referensnät (höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 och geoidmodell) är inte aktuellt inom den närmaste framtiden. Bedömningen är att behålla RH 2000 som referenssystem i höjd under lång tid framöver och att det kommer vara baserat på avvägning. En del av motiveringen är att mätosäkerheten i höjdmätning med GNSS (över ellipsoiden) är sämre än avvägning, och att det troligen kommer vara så inom en överskådlig framtid. En annan del av motiveringen är att RH 2000 är ett mycket noggrant passivt höjdsystem som uppfyller alla kvalitetskrav. För att säkerställa bevarandet och dess tillgänglighet behöver referensnätet därför fortsätta att ajourhållas.

### **4.2 Ajourhållning**

Ajourhållningen innebär inventering av punkter och ersättning av förstörda punkter enligt särskilda riktlinjer. Nya punkter avvägs efterföljande år från närmast omgivande punkter, förutsatt att de inte rubbats, så att nya höjder får samma kvalitet som de äldre. När höjder för de nya punkterna har beräknats uppdateras informationen i DGA.

#### **4.2.1 Inventering**

Alla punkter i nätet inventeras systematiskt från söder till norr, även punkter som vid tidigare inventeringar har angetts som förstörda. Punkter som ligger längs vägar ombyggda till 2+1-vägar med räcke eller motorvägar är i praktiken oåtkomliga för mätning för alla användare och inventeras därför inte.

Med rådande takt har hela nätet inventerats omkring år 2035. Förkomna punkter ersätts enligt särskilt uppsatta kriterier.

Om en punkt är förstörd ska den ersättas av en ny enligt följande kriterier (jordmarkering likställs med bergfix):

- Bergfix ersätts om den förstörda bergfixen medför att avståndet mellan återstående bergfixar överstiger 15 fixhåll.
- Bergfix ersätts om den förstörda bergfixen var den enda kvarvarande bergfixen inom två fixhåll från en knut.
- Knutpunkt ersätts om det inom två fixhåll inte finns någon bergfix.
- Om en punkt ska ersättas ska även förstörda grannpunkter ersättas.
- Om fyra eller fler punkter i rad är förstörda ersätts dessa.

Undantaget från ovanstående kriterier är om en kommun ännu inte genomfört övergången till RH 2000. I sådant fall ersätts samtliga förstörda punkter i områden med ej anslutna lokala höjdnät. Detta för att möjliggöra anslutning och nyutjämning i RH 2000 av de kommunala höjdnäten. När en kommun sedan infört RH 2000 ersätts förkomna punkter enligt de generella kriterierna ovan.

Efter varje avslutad inventeringssäsong genomförs en grundlig översyn av hela inventeringsområdet, för eventuell ersättning av förstörda punkter som inte omfattas av de generella ersättningskriterierna. Detta gäller särskilt i områden där behovet av tillgängliga punkter kan vara större. Punkter som ligger längs ombyggda vägar ersätts eventuellt på en alternativ sträckning.

## 4.2.2 Markering

Eftersom RH 2000 realiserar av höjderna på de fysiska markeringarna är det av yttersta vikt att dessa är så stabila och beständiga som möjligt. Markeringen utgörs alltid av en dubb med en entydig högsta punkt, i regel av syrafast rostfritt stål, och i första hand eftersträvas bergmarkeringar. I andra hand används jordfasta stenar följt av stadiga stensocklar, betonggrunder och betongbroar. Ibland görs så kallade jordmarkeringar för att säkerställa stabila punkter i områden där det råder sämre markeringsförhållanden. Markeringen är underjordisk och utgörs av en järnstång som drivs ned till fast botten.

För att säkerställa att punkterna går att återfinna upprättas punktbeskrivningar med information om bl.a. markeringstyp och punkternas läge i förhållande till varaktiga detaljer i omgivningen.

## 4.2.3 Avvägning

All avvägning mellan punkterna utförs som tur- och returmätning, så kallad dubbelavvägning. Skillnaden i millimeter mellan tur- och returmätningen får inte överstiga  $2\sqrt{S_{km}}$ , där  $S_{km}$  är avståndet i kilometer mellan punkterna. Om avståndet är en (1) km får skillnaden alltså inte vara större än 2 mm. Höjdskillnaden mellan

punkterna ges sedan av medeltalet av de båda godkända mätningarna.

#### **4.2.4 Beräkning**

De mätta höjdskillnaderna lagras i en databas. Innan nya höjder beräknas påförs mätningarna korrektioner för jordkrökning, tidjord och korrektioner från resultatet av en kalibrering av instrument och avvagningsstänger. I vissa fall, t.ex. vid längre avvagningsståg, kan även landhöjnings- och normalhöjdskorrektioner påföras mätningarna. Samtliga korrektioner sparas separat tillsammans med respektive mätning. Slutligen lagras de nya höjderna i DGA.

### **4.3 Förtätning**

Ajourhållningen innebär ingen utvidgning av höjdnätet, utan syftet är att ersätta befintliga punkter som förstörts. Då behov uppstår utförs däremot ibland förtättningsmätningar där befintliga punkter, som bedömts vara stabila, används som utgångspunkter. De nya punkternas höjder erhåller samma kvalitet som övriga punkter i referensnätet.

I samband med införandet av RH 2000 har många kommunala höjdnät nyutjämnats. I den mån kommunerna underhåller sina höjdnät kan dessa punkter i många fall ses som en bra kommunal förtätning av det nationella höjdnätet och därigenom bidra till en ökad tillgänglighet till RH 2000.

### **4.4 Beslut om förändrad ajourhållning**

Den förändrade ajourhållningen innebär en skärpning av tidigare riktlinjer för ersättning av förstörda punkter. Antalet tillåtna förstörda punkter i rad i en avvagnings slinga sänks från fem till tre punkter. En översyn införs efter varje avslutad inventerings säsong i syfte att studera utfallet och eventuellt ersätta förstörda punkter som inte omfattas av de generella ersättningskriterierna. Översynen medför en form av behovsanpassad ersättning som bidrar till en bra tillgänglighet i områden där behovet av punkter kan vara större.

Denna förändrade ajourhållning bedöms bevara höjdnätet i tillräcklig omfattning och dessutom upprätthålla en god tillgänglighet till punkterna.

## 5 Referenser

- Andersson B. (2009): Ajourhållning av SWEREF-punkter. (Intern PM)
- Andersson B, Alfredsson A, Nordqvist A, Kilström R. (2015): RIX 95-projektet - slutrapport, LMV-rapport 2015:4, Gävle 2015
- Andersson B. (2015): Redogörelse avseende antennenmätningar på SWEPOS-stationer. (Intern PM)
- Dach R, Lutz S, Walser P, Fridez P (eds). (2015): Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual, Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing, DOI: 10.7892/boris.72297, ISBN: 978-3-906813-05-9
- Engfeldt A, Olsson P-A, Steffen H, Lidberg M, Ågren, J, Sekowski M, Dykowski P, Krynski J, Bryskhe H, Nielsen J E, Strykowski G. (2019): RG 2000 - the new gravity reference frame of Sweden, *Geophysica Special issue 1/2019*, ISSN 2324-0741
- Lahtinen S, Häkli P, Jivall L, Kempe C, Kollo K, Kosenko K, Pihlak P, Prizginiene D, Tangen O, Weber M, Paršeliūnas E, Baniulis, R, Galinauskas, K. (2018): First results of the Nordic and Baltic GNSS Analysis Centre, *Journal of Geodetic Science*, 8. 34-42. 10.1515/jogs-2018-0005
- Lidberg M, Lilje M. (2007): Evaluation of Monument Stability in the SWEPOS GNSS Network using Terrestrial Geodetic Methods - up to 2003, LMV-rapport 2007:10, Gävle 2007
- Lidberg M, Johansson J M, Kierulf H, Steffen H, Kristiansen O. (2015): The BIFROST project: 21 years of search for the "true" crustal deformation in Fennoscandia. EUREF symposium 3-5 juni 2015, Leipzig, Tyskland.  
<http://www.euref.eu/symposia/2015Leipzig/02-04-Lidberg.pdf>  
(citerad 2019-03-19)
- Lilje M, Eriksson P-O, Olsson P-A, Svensson R, Ågren J. (2007): RH 2000 och riksavvägningen, LMV-rapport 2007:14, Gävle 2007
- Ågren J, Engberg L E. (2010): Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden, LMV-rapport 2010:11, Gävle 2010



## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2011:2 Jansson Jakob: Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet – vid mätning med nätverks-RTK.
- 2011:3 Liu Ke: A study of the possibilities to connect local levelling networks to the Swedish height system RH 2000 using GNSS.
- 2012:3 Lundell Rebecka: Undersökning av nätverks-RTK-meddelande tillsammans med olika GNSS-mottagare – vid nätverks-RTK-mätning i SWEPOS nät av fasta referensstationer.
- 2014:2 Vestøl Olav, Eriksson Per-Ola, Jepsen Casper, Keller Kristian, Mäkinen Jaakko, Saaranen Veikko, Valsson Guðmundur, Hoftuft Olav: Review of current and near-future levelling technology – a study project within the NKG working group of Geoid and Height Systems.
- 2014:5 Ohlsson Kent: Studie av mätosäkerhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK i SWEPOS 35 km-nät.
- 2015:1 Fredriksson Annika & Olsson Madeleine: Jämförelse av höjdmätning med olika GNSS-mottagare i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.
- 2015:2 Norin Dan, Johansson Jan M, Mårtensson Stig-Göran, Eshagh Mehdi: Geodetic activities in Sweden 2010–2014.
- 2015:4 Andersson Bengt, Alfredsson Anders, Nordqvist Anders, Kilström Ronald: RIX 95-projektet – slutrapport.
- 2016:1 Engfeldt Andreas: RG 2000 – status March 2016.
- 2016:2 Engfeldt Andreas: Preparations and plans for the new national gravity system, RG 2000.
- 2016:4 Kempe Christina (ed.): Proceedings of the NKG General Assembly. Göteborg, Sweden, 1–4 September 2014.
- 2016:5 Berggren Anna: Inledande försök till mätning med Europas navigeringssystem Galileo.
- 2018:3 Svensson Vilhelm & Tobler Fredrik: Utvärdering av olika metoder för fri stationsetablering med nätverks-RTK.
- 2018:4 Norin Dan, Jensen Anna B O, Bagherbandi Mohammad, Eshagh Mehdi: Geodetic activities in Sweden 2014–2018.
- 2018:5 Jivall Lotti & Nilfouroushan Faramarz: Mast-based versus pillar-based networks for coordinate estimation of SWEREF points – using the Bernese and GAMIT-GLOBK software packages.

# LANTMÄTERIET



801 82 GÄVLE Tfn 0771 - 63 63 63 E-post kundcenter@lm.se  
Internet: [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se)