

# Kvalitetssäkring av riksavvägningsdata och förberedelser för införandet av ett nytt nationellt höjdsystem

Mikael LILJE, Per-Ola ERIKSSON, Per-Anders OLSSON, Runar SVENSSON

## 1. INLEDNING

Den tredje precisionsavvägningen börjar nu närma sig slutet efter 22 fältsäsonger. Den sista nyproduktionen av avvägningslinjer är avklarad, och mätningarna de närmaste åren ägnas åt att höja kvaliteten i svaga delar av det nya höjdnätet. Ett omfattande arbete pågår nu med kvalitetssäkring av insamlat material samt förberedelser inför slututjämningen, och i denna artikel försöker vi beskriva det arbete som gjordes framförallt under 2001. Artikeln är en grov översättning samt något omarbetad version av ett föredrag som presenterades i samband med FIG XXII Internationella Kongress i Washington, våren 2002.

Arbetet som krävs inför den slutgiltiga utjämningen, vilken är beräknad till årsskiftet 2003/4, presenteras kortfattat. Mycket arbete kommer sedan att krävas för att införa det nya nationella höjdsystemet och då framför allt med att få de lokala höjdnäten anslutna. Detta arbete kommer att kräva en stor insats både från Lantmäteriets sida och från de inblandade aktörerna, framför allt kommunerna, för att bland annat säkerställa kvaliteten i de lokala höjdnäten. Till detta återkommer vi med mer information på lämpligt sätt inom den närmaste tiden

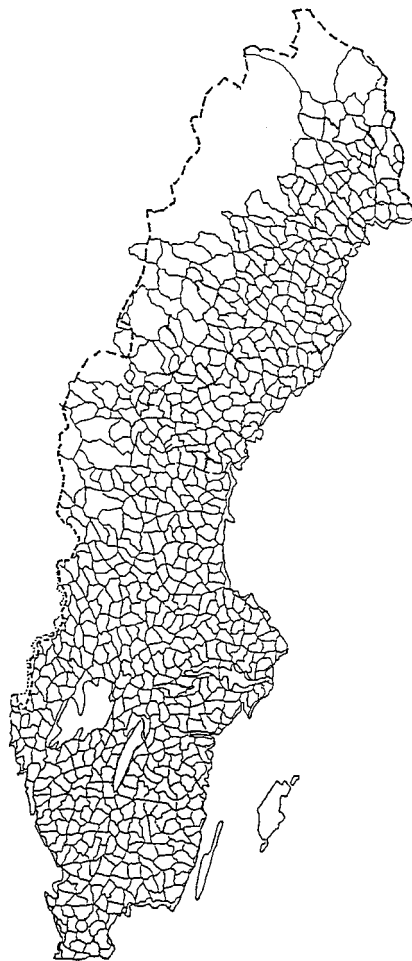
## 2. ALLMÄNT KRING RIKSAVVÄGNINGEN

Fältarbetet med den tredje precisionsavvägningen startade 1979, och den sista nyproducerade linjen avvägdes under 2001. Från början var avsikten att riksavvägningen skulle genomföras på 10 år, men pga omprioriteringar har slutförandet blivit kraftigt försenat. Den första precisionsavvägningen (1886-1905) följdes av en andra precisionsavvägning (1951-1967). Skälet till att göra en andra avvägning var bl a att det gamla nätet inte var tillräckligt tätt för att tillmötesgå användarnas behov. Förutom att yttäckningen var dålig var också kvaliteten låg. Anledningen till att genomföra en tredje precisionsavvägning var huvudsakligen densamma, även om användarkraven på ett tätt nät med hög kvalitet och tillgänglighet var än högre denna gång. De tidigare avvägningarna var främst lokaliserade till järnväg, vilket gjorde att många av fixpunkterna var svåra att nå. Efterhand förstörs också punkter, vilket ytterligare begränsar tillgängligheten. Målet med den tredje precisionsavvägningen är därför att skapa ett nät som täcker hela landet och är tillräckligt tätt för att tillåta användarna att ansluta sina lokala höjdnät till lättillgängliga höjdfixar. Ett annat mål är att skapa en bättre modell för landhöjningen genom att jämföra den nya precisionsavvägningen med de tidigare två avvägningarna och med mareografdata. Idag finns även data från vårt permanenta GPS-stationsnät SWEPOS tillgängligt liksom våra grannländers permanenta GPS-stationer, vilket också kan bidra till en bättre landhöjningsmodell.

En stor fördel med tredje precisionsavvägningen är att hela produktionen är gjord med samma mätmetodik och samma typ av instrument, vilket ger en bra homogenitet i nätet.

Eftersom fältmätningarna är mer eller mindre slutförda, koncentreras insatserna nu på kvalitetssäkring av insamlade data och förberedelser för slututjämnningen.

Det nya höjdnätet omfattar ca 50 000 km dubbelavvägning och ca 50 800 höjdfixar. Avståndet mellan fixpunkterna är alltså ca 1 km. Höjdnätet täcker hela landet med slutna slingor, som har en omkrets av ca 120 km, utom för fjällområdet. Här är vägnätet glest vilket gör det svårt, för att inte säga omöjligt, att nå samma täthet (se fig 1). I denna del av landet är dessutom befolkningstätheten låg. Vissa linjer i Norge och Finland är också inkluderade i nätet för att erhålla slutna slingor. Liknande projekt pågår i dessa länder så finska respektive norska mätningar kan användas eftersom kvaliteten på deras mätningar håller samma noggrannhet som de svenska.



**Fig 1.** Höjdnätet ur den tredje precisionsavvägningen.

Höjdnätet är i princip en omavvägning av den andra precisionsavvägningen, dock med en betydande förtätning av de 10 000 km som ingick i den andra precisionsavvägningen. Nätet

är planerat i samarbete mellan Lantmäteriet/Metria och de lokala användarna (t.ex. kommunerna) för att underlätta den framtida anslutningen av de lokala höjdnäten.

### 3. PRODUKTIONSARBETET FRÅN MÄTNING TILL ARKIVERING

Mätningarna är gjorda med den motoriserade avvägningstekniken, vilken består av en instrumentbil och två stångbilar (fig. 2). Instrumentet är Zeiss Jena NI002 och stängerna är 3.5 meter invarstänger. För anslutning till fixpunkterna används en speciell 3.0 meter invarstång, vilket gör att de stänger som är monterade på bilarna inte behöver plockas ner vid varje anslutning.



**Fig 2.** Uppställning vid motoriserad avvägning.

Tillgängliga punkter från tidigare precisionsavvägningar ansluts bl a för att få möjligheten att bestämma landhöjningen.

Det har varit nödvändigt att leverera data från tredje precisionsavvägningen till användarna allteftersom arbetet har fortskridit, eftersom man lokalt inte har kunnat vänta i 20 år på att få resultatet av precisionsavvägningen i form av ett nytt höjdsystem. De höjder som har levererats är preliminära höjder inpassade i RH 70, och då med beteckningen RHB 70. De är beräknade ur utjämningsområden där beräkningsområdena är baserade på de polygoner från andra precisionsavvägningen som byggde upp RH 70. Dessa höjder anses ha tillräcklig noggrannhet för lokal användning.

Alla mätningar bygger på dubbelavvägning, dvs. tur- och returmätning. Gränsen för omavvägning har alltid varit  $2\sqrt{L}$  (L i km). Om mätningen av ett fixhåll överstiger denna gräns måste fixhålet omavvägas. Omkring 7 % av alla fixhåll har blivit omavvägda .

Hela produktionslinjen från observationer till arkivering är digital. Alla mätningar lagras i fältdatorer tillsammans med andra uppgifter om mätningförhållandena. Efter varje mätdag kontrolleras och lagras all data i en lokal databas. Data skickas till Lantmäteriet varje vecka

för lagring i de databaser som finns på huvudkontoret. Lagringen i mättningsregistret görs i Microsoft Access och den grafiska presentationen av data görs i MapInfo. Denna kombination har visat sig mycket lämplig för arbetet med riksavvägningen. För varje avvägt fixhåll finns ungefär 50 olika uppgifter lagrade i databasen, och vårt mättningsregister innehåller mer än 120 000 enkelmätningar av fixhåll.

Vid sidan av mättningsregistret finns även ett punktregister som innehåller uppgifter om fixpunkterna. Även detta är en Microsoft Access databas. Där finns uppgifter om typ av markering, punktnummer, beskrivning av läge, punktskiss, etc. Alla uppgifter kan sedan presenteras på en punktbeskrivning som dessutom innehåller ett kartklipp hämtat från en digital karta. Det finns även möjligheter att få ut en punktkarta.

## **4. KVALITETSSÄKRING AV DATA OCH FÖRBEREDELSE FÖR SLUTUTJÄMNINGEN**

Under framförallt 2001 har ett stort arbete lagts ner på att försöka iordningställa data från den tredje precisionsavvägningen inför slututjämnningen. All data måste vara komplett och strukturerad på så vis att den är lätt att arbeta med. Detta kapitel ger en kort inblick i detta arbete.

### **4.1.Mätningar med olika syften**

Som mätning av ett fixhåll räknas medelvärdet av höjddifferensen för en tur- och returmätning. Alla mätningar är kategoriserade efter syftet med mätningen. Den vanligaste kategorin är naturligtvis ordinarie riksnetmätning, men det finns även kategorier som kontrollmätning, ajourhållningsmätning eller mätning utförd på uppdrag av andra organisationer. Anledningen till kategoriseringen är att vi vid slututjämnningen endast vill använda ordinarie riksnetmätningar, och genom uppdelningen är det också lätt att växla mellan olika typer av mätningar i t.ex. utvärderingssyfte.

### **4.2.En mätning per fixhåll**

Av olika anledningar finns det ett antal fixhåll som är avvägda mer än en gång. Eftersom detta vid en utjämnning bl a skulle leda till högre vikt för sådana fixhåll, har alla mätningar för dessa fixhåll plockats fram och värderats. Vi har därvid generellt sett valt att använda den först utförda godkända mätningen. Det finns ingen anledning att ett fixhåll som är avvägt flera gånger skall ha högre vikt, speciellt inte om anledningen är att mätningarna har varit problematiska för detta fixhåll. De mätningar som inte skall användas vid slututjämnningen kategoriseras utifrån skälet till att mätningen är gjord, se ovan. Resultatet av detta arbete är att i det närmaste varje fixhåll endast har en aktuell mätning.

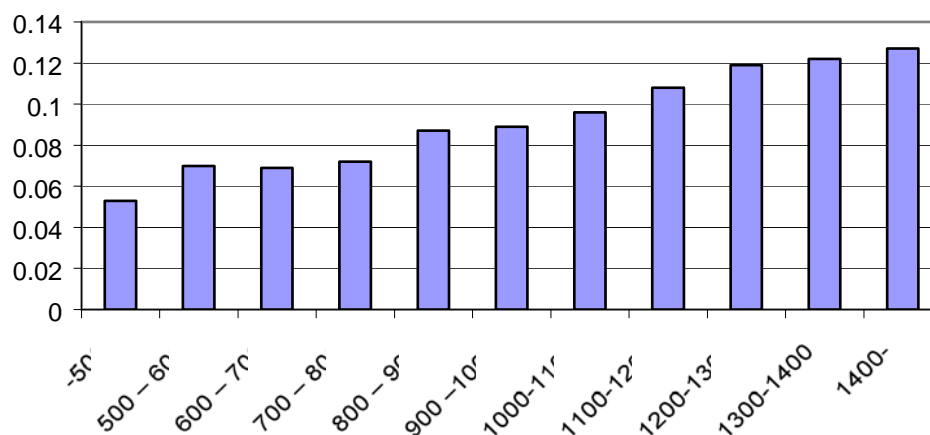
### **4.3.Korrektioner**

Alla mätningar är korrigerade för temperatur, jordkrökning och tidjord. Före och efter varje fältsäsong kalibreras alla avvägningsstänger, och varje observation korrigeras efter resultatet av kalibreringen.

#### 4.4. Systematiska fel

Efter att ha korrigerat enligt ovan, med utnyttjande av den produktionslinje som är uppbyggd för motoriserad avvägning, bör det inte finnas många systematiska fel kvar i materialet. Det är dock nödvändigt, och även intressant, att studera denna databank för att utvärdera den tredje precisionsavvägningen för att se om det ändå finns några tecken på systematiska fel i materialet.

Hittills har vi bland annat studerat de fixhåll som inte blev godkända vid första mätningen. Avviker dessa mätningar från de förhållanden som gällde vid andra mätningar som är godkända? Vi har sett en tendens till att ju längre fixhållet är desto fler omavvägningar råkar vi ut för, se fig 3. Det samma gäller för antalet uppställningar. Det verkar också finnas en tendens till högre omavvägningsandel då solen skiner jämfört med när det är molnigt eller regnar. Vi har ännu inte gått så djupt i våra analyser att vi vet alla orsaker till omavvägning.

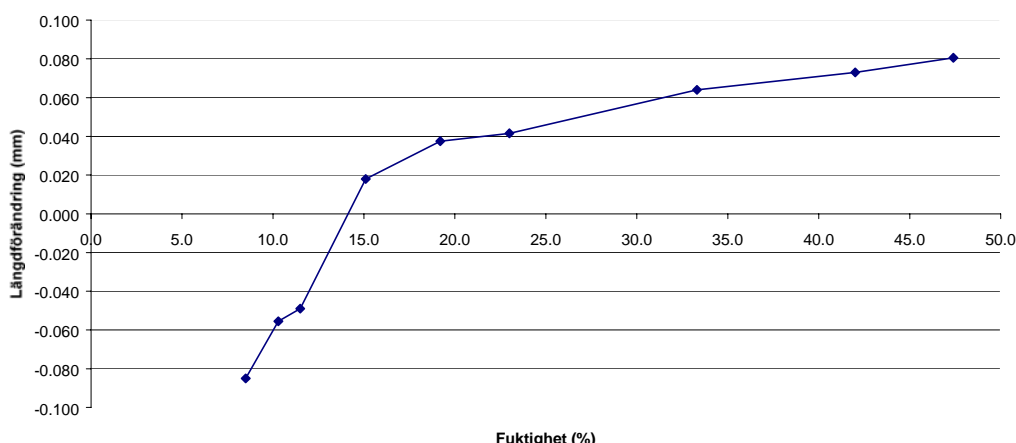


**Fig 3.** Andelen omavvägning i förhållande till fixhållslängden (meter).

Vi har även undersökt om fukt påverkar stångens längd under en fältsäsong, och hur det i så fall påverkar stångens skala. För detta experiment lades en stång i vattenbad under några veckor för att bli så fuktig som möjlig. Före och efter vattenbadet kalibrerades stången. Kalibrering gjordes sedan kontinuerligt vartefter stången torkade. Figur 4 visar hur stångens längd varierar med fuktigheten. Under fältsäsongen ställdes samma stång upp utomhus för att utsättas för väder och vind, och fuktmätning skedde under hela säsongen.

Dessa undersökningar visade att skalan på stången blev 0.16 mm kortare då stången förändrades från genomblöt till torr. Fuktmätningarna under fältsäsongen verkade tyda på att fuktigheten i stången varierade linjärt över tiden trots väderväxlingar, vilket gör att de korrektioner som vi gör baserade på stångkalibrering före och efter fältsäsong verkar vara korrekta.

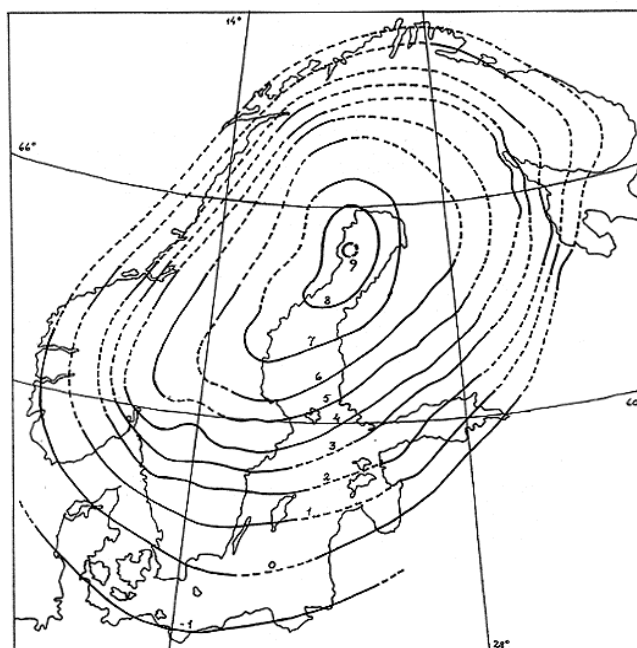
Fortsatta undersökningar under 2002 kommer att fokuseras på effekter från refraktion och sättning. Vi tror att de olika höjderna som kan beräknas ur vänster resp. höger skala på stången kan hjälpa oss vid dessa undersökningar.



**Fig 4.** Förändring av invarbandets längd pga fukthalten i träramen.

#### 4.5.Landhöjning

Eftersom Sverige utsätts för landhöjning måste detta tas om hand vid en utjämning. Landhöjningen varierar över Sverige och är som mest ca 1 cm/år kring Umeå-Skellefteå (figur 5). Detta betyder att förhållandena ständigt förändras, med norra Sverige som stiger i förhållande till de södra landsdelarna. Eftersom tredje precisionsavvägningen har pågått i ca 20 år betyder det att skillnaden mellan norra och södra Sverige har förändrats med ca 20 cm bara under projektets gång. I utjämningen löses detta med att vi korrigerar alla mätningar så att de är beräknade till samma epok, dvs. som om alla mätningar gjordes under en och samma fältsäsong. Detta görs genom att bl.a. utnyttja en landhöjningsmodell (se vidare kapitel 5). Med en förbättrad landhöjningsmodell beräknad ur alla tillgängliga observationer kan vi sedan beräkna höjder i valfri epok så att vi inte låser fast vårt höjdnät vid hur det såg ut vid ett bestämt år.



**Fig 5.** Apparent postglacial uplift of Fennoscandia 1892-1991 in mm/yr (Ekman, 1996).

#### 4.6. Geopotentialer

För att reducera effekten av icke-parallella geopotentialytor vid utjämningen måste beräkningen göras med geopotentialskillnader och inte med geometriska höjdskillnader. Tyngdkraften som används för ett fixhåll är medelvärdet av tyngdkraftsvärdet på ändpunkterna av motsvarande fixhåll. Eftersom det svenska detaljnätet (tyngdkraftsvärde i ett 5\*5 km mönster) ligger i det nationella tyngdkraftssystemet RG 62 har Bougueranomolier på Hayfords ellipsoid och 1930 års internationella tyngdkraftsformel använts.

$$\gamma = 978049 \times \left( 1 + 0,0052884 \times \sin^2 \varphi - 0,0000059 \times \sin^2(2\varphi) \right) \text{mgal}$$

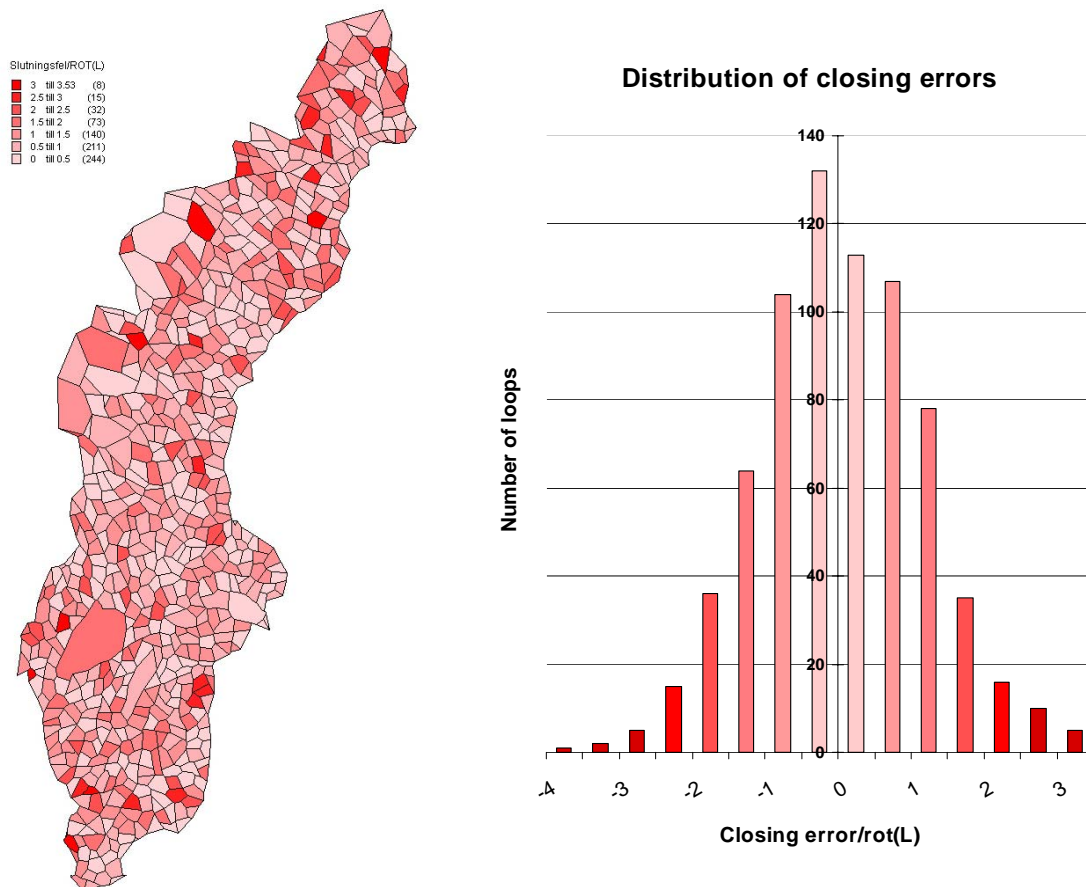
#### 4.7. Kontroll av slutningsfel

Gemensamt för avvagningsnät är låg kontrollerbarhet ( $k \approx 0,3$ ). Det kan leda till risken att vi accepterar observationer som är felaktiga och att dessa fel sprids i nätet. För att försöka minimera denna risk har beslut tagits om att omavväga ett antal slingor som ligger i riskzonen. Den minsta enheten för dessa omavvägningar är en slinga, och valet av slinga görs genom att jämföra slutningsfelet för slingan mot en felgräns. Slutningsfelen divideras med  $\sqrt{L}$  ( $L$  är slingans längd i km) så att de är normaliserade. Fördelningen av dessa normaliserade slutningsfel finns beskriven i figur 6.

Fördelningen verkar vara normalfördelad vilket gör att en lämplig nivå på kassaktionsgräns för materialet är 5% av nätet:

$$1,96 \times \text{standardavvikelsen för nätet} \times \sqrt{L} \approx 1,96 \times 1,18 \times \sqrt{L} \approx 2,3 \sqrt{L}.$$

Genom att utnyttja denna felgräns erhålls 4.4 % av slingorna (32 av 735) som måste omavvägas. Fram till januari 2002 har ungefär hälften av dessa slingor blivit omavvägda med det resultat som vi hade hoppats på. Både slutningsfelen i det omavvägda området och standardavvikelsen för hela nätet har sjunkit.



**Fig 6.** Distribution av normaliserade slutningsfel.

#### 4.8.Preliminär utjämning

Som ett steg i kvalitetssäkringen och förberedelsen av data har en preliminär utjämning gjorts. Denna ger oss en indikation på hur bra vår kvalitetssäkring har varit och vilket slutresultat vi kan förvänta oss av den tredje riksavvägningen. Vi är idag försäkrade om att våra beräkningar fungerar och att alla fixpunkter får en höjd. Vi har en indikation på att standard avvikelsen kommer att bli ca  $1,18 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  och redundansen ca 0.32.

### 5. MOT ETT NYTT HÖJDSYSTEM

#### 5.1.Modellering av landhöjningen

Som nämnts tidigare är det viktigt att ha en modell som beskriver landhöjningen över Sverige. Denna modell har två syften. Dels är den nödvändig för att reducera avvägningarna till en gemensam epok och dels är den viktig för rent vetenskapliga syften.

Vi jobbar idag med tre olika typer av landhöjningsmodeller:

- Modell som bygger helt på geofysiska studier av gamla kustlinjer (Lambeck, 1998).



- Modell som i huvudsak bygger på mareografdata längs kusterna (Ekman, 1996).
- Modell byggd på upprepade avvägningar.

De två förstnämnda modellerna är redan tillgängliga. Den tredje modellen är den vi kommer att ägna oss åt nu. För att möjliggöra den senare modellen kommer det att behövas en rejäl insats i arkivarbete och datahantering av första och andra precisionsavvägningarna. Mätningarna från de upprepade avvägningarna måste behandlas på likvärdigt sätt vad gäller korrekationer m.m för att kunna behandlas i gemensamma utjämningsprogram.

Efter utvärdering av de tre modellerna kommer den mest lämpliga, eller en kombination av flera modeller att användas vid slututjämningsprogrammet.

### **5.2. Parametrar för det nya höjdsystemet**

Innan slututjämningsprogrammet kan göras måste beslut fattas om vilka parametrar som ska ligga till grund för det nya höjdsystemet. Några av de viktiga val som måste göras finns beskrivna nedan:

Nollpunkt. Skall vi utnyttja Normaal Amsterdam Peil (NAP) vilket vi gör i RH 70 och som stora delar av Västeuropa gör, eller ska vi t.ex. utnyttja en nollpunkt som bättre överensstämmer med medelhavsytan runt Sverige?

Typ av höjd. Ska vi utnyttja normalhöjder, vilket stora delar av Europa använder, eller skall vi fortsätta använda ortometriska höjder, som har en tydligare fysikalisk koppling. Det finns även andra höjdtyper att välja bland, men dessa två är de mest naturliga alternativen i dagsläget att välja mellan.

Permanenta tidjorden. Skall vi använda medel-, noll- eller tidjordsfri geoid?

Epok för det nya höjdsystemet.

### **5.3. Utjämningsprogram**

Vi har under 2001 testat ett antal utjämningsprogram för att utvärdera dem mot varandra. Dessa är X-net från X-position samt programvaror utvecklade vid Lantmäteriet/Metria samt vid Danmarks motsvarighet till Lantmäteriet, Kort- och Matrikelstyrelsen. Resultaten från de olika programmen överensstämmer bra. Programvarorna har dock några olika karakteristika, vilket talar för och emot de enskilda programmen. Detta kan handla om statistiska resultat som stöd vid utvärdering, kvalitetsredovisning och grafiskt stöd. I slutändan kommer troligen en kombination av flera program att användas.

### **5.4. Slututjämningsprogrammet**

Eftersom vi har 2 fältsäsonger kvar innan mätningarna är helt avslutade kan inte slututjämningsprogrammet göras förrän vintern 2003/2004. Målsättningen med arbetet nu är att vi om två år ska ha förberett oss så bra att det förhoppningsvis bara är att ”trycka på knappen”.

## 6. VAD HÄNDER EFTER SLUTUTJÄMNINGEN?

### 6.1. Ajourhållning av höjdnätet

Att bygga upp det nya höjdnät har varit mycket kostsamt. Den stora investeringen finns för användaren tillgänglig i fixpunkter i terrängen och dess höjder. Därför är det viktigt att underhålla höjdnätet så att antalet punkter inte reduceras i alltför hög grad. Ajourhållning av nätet påbörjades i mitten av 90-talet, men för tillfället görs ett uppehåll för att istället satsa resurserna på att slutföra mätningarna. Ajourhållningen består i huvudsak av fyra delar:

- Inventering och uppdatering av fixpunkternas status,
- Ersättning av förstörda fixpunkter med nya,
- Inmätning av de nya fixpunkterna mot omgivande redan existerande fixpunkter,
- Beräkning av höjder på de nya fixpunkterna.

Ajourhållningen görs enligt en plan där någon del av höjdnätet ajourhålls varje år.

### 6.2. Introduktion av ett nytt höjdsystem

Kommuner och andra aktörer ansvarar för sina egna höjdsystem och Lantmäteriet har inget inflytande mer än som rådgivare. Från Lantmäteriets sida tror vi dock att fördelarna med en anslutning till det nationella höjdnätet är stora, och räknar med att under perioden 2002 och 2003 bygga upp en kunskapsbas om hur ett höjdsystemsbyte bör göras. Vår förhoppning är att i detta sammanhang kunna genomföra regelrätta höjdanslutningar i pilotprojekt tillsammans med några kommuner.

### 6.3. Dokumentation

I samband med vårt arbete de senaste åren, och framför allt då vi har arbetat med data från första och andra precisionsavvägningarna har vi insett vikten av bra dokumentation. Därför planeras redan nu att skriva en detaljerad redogörelse över hela processen med tredje precisionsavvägningen. Denna skall innehålla alla steg från planering till mätning och arkivering, samt även beskriva varför vi har genomfört tredje precisionsavvägningen på det sätt som vi har gjort. Ett bra exempel på dokumentation är sammanfattningen av den danska tredje precisionsavvägningen (Schmidt, 2000).

## REFERENSER

- Asplund L (1968): Land uplift in Sweden. A preliminary study based on repeated levellings and mareograph data. RAK:s meddelande nr. D2, 1968.
- Becker, J-M (1973): Den motoriserade avvägningen. Rikets Allmänna Kartverk Meddelande nr. D20, 1973.
- Becker, J-M (1984): Uppbyggandet av Sveriges nya riksnät i höjd. Lantmäteriverkets Tekniska Skrifter, 1984:1, 12 pp.

- Becker, J-M (1985): The Swedish experience with motorised levelling, new techniques and tests, Presented at the NAVD Symposium, April 21-26,1985, Lantmäteriverkets Tekniska Skrifter, 1985:10, 54 pp
- Becker, J-M (1997): Riksavvägningsarbeten i Sverige under perioden 1974 - 1995, Lantmäteriverkets Tekniska Skrifter, 1997:2, 23 pp.
- Becker J-M, Lilje M, Eriksson P-O (1998): Establishment of third precise levelling network, Presented at FIG XXI International Congress, July 19-25 1998, Brighton, United Kingdom.
- Ekman M (1996): A consistent map of the postglacial uplift of Fennoscandia, Terra Nova, 8, 158-165.
- Egeltoft, T (1996): Data Analysis and Adjustment in Precise Levelling, Doctoral Dissertation, Division of Geodesy Report no. 1040, Royal Institute of Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry, 1996.
- Eriksson, P-O, Becker J-M (1994): Updating of the Swedish primary height network. How to update? Results from test measurements. Presented at the Nordic Geodetic Commissions, 12 General Meeting, Ullensvang, Norway, 1994.
- Lambeck K, Smither C, Ekman M (1998): Test of glacial rebound models for Fennoscandinavia based on instrumented sea- and lake-level records, Geophys. J. Int., 135, 375-387.
- Lilje M, Eriksson P-O (1999): The production line used in the third precise levelling of Sweden, Presented at Geodesy and Surveying in the Future, The Importance of Heights, March 15-17, Gävle, Sweden, LMV-rapport 1999:3, 1999
- Projektgruppen Riksavvägningen – Preliminärberäkning (2001): Handskrift P1040. LMV:s geodetiska arkiv 2001.
- Schmidt K (2000): The Danish height system DVR90, Kort & Matrikelstyrelsen, Skrifter 4. Række, bind 8.
- Ussisoo I (1970): Beräkningen av landhöjningen i Sverige. Föredrag vid 6:e Nordiska Geodetmötet, (NKG) Helsingfors 1970.

## **KONTAKT**

Mikael Lilje and Per-Anders Olsson  
Lantmäteriet  
801 82 Gävle  
Tel. 026/63 30 00  
Fax. 026/61 06 76  
Email: [mikael.lilje@lm.se](mailto:mikael.lilje@lm.se), [per-anders.olsson@lm.se](mailto:per-anders.olsson@lm.se)

Per-Ola Eriksson and Runar Svensson  
Metria  
801 82 Gävle  
Tel. 026/63 30 00  
Fax 026/65 41 67  
Email: [per-ola.eriksson@lm.se](mailto:per-ola.eriksson@lm.se), [runar.svensson@lm.se](mailto:runar.svensson@lm.se)