

# TREDJE PRECISIONSAVVÄGNINGEN

J-M BECKER, M LILJE, P-O ERIKSSON

## INLEDNING

Följande artikel presenterades i samband med FIG XXI International Congress i Brighton i juli. Artikeln skrevs av Mikael Lilje, Jean-Marie Becker och Per-Ola Eriksson och presenterades av Per-Ola. Den svenska översättningen och förkortningen är gjord av Mikael. Mikael och Jean-Marie jobbar på Geodetiska Utvecklingsenheten på Lantmäteriverket. Per-Ola arbetar på Geodetisk Mätning på Metria i Gävle. Jean-Marie arbetar dessutom som ordförande för FIG Commission 5 med Mikael som sekreterare. Commission 5 sysslar med en frågor kring mätning och alla som är intresserade är välkomna att kontakta dem eller varför inte besöka hemsidan (<http://www.lm.se/fig5/>).

För intresserade kan hela rapporten erhållas genom Mikael.

## INTRODUKTION

Sverige har, liksom många andra länder, arbetat med etablering och förtätning av nationella nät både i plan och höjd. Målet har bl.a. varit att underlätta anslutningen mellan lokala nät och riksnäten, stödja kartproduktionen och att möjliggöra vetenskapliga studier (t.ex. landhöjning).

Ett av de senare projektet detta område startade i mitten av 70-talet och behandlar etableringen av det tredje precisionsavvägningssätet i Sverige. Tiden 1974-79 ägnades främst åt att förbereda genomförandet för att sedan produktionen skulle kunna börja 1979. Avvägningen har nu börjat nå de nordligaste delarna av Sverige och kommer, enligt nuvarande planer, att vara avslutade kring 2003.

## HISTORISK BAKGRUND

Den pågående precisionsavvägningen är den tredje i ordningen. Den första (1886 och 1905) hade en längd av 4857 km och innehöll ca 2500 fixpunkter. Avvägningen gjordes längs järnvägar och hela projektet gav ett slutresultat med ett på ca  $4.4 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ . Slutresultatet är det som vi idag kallar för RH 00.

Den andra precisionsavvägningen (1951-1967) var ungefär dubbelt så lång (10 389 km) och innehöll ca fyra gånger så många fixpunkter (9700 st). Fortfarande gjordes en majoritet av avvägningarna längs järnvägarna men nu hade man även börjat använda vägar. Slutresultatet blev ett medelfel på  $1.63 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  och nätet blev vad vi idag kallar för RH 70.

## FÖRBEREDELSE AV DET NYA HÖJDNÄTET

### Problem med det andra riksnätet i höjd.

En arbetsgrupp på Lantmäteriet studerade i mitten av sjuttio-talet statusen på den då nyligen avslutade riksavvägningen. De kom fram till att resultatet från den andra precisionsavvägningen innehöll en rad problem och att det fanns ett behov av en tredje. Några av nackdelarna var följande:

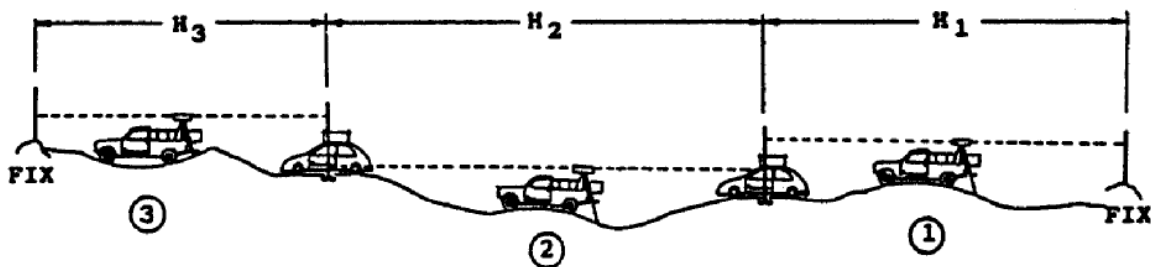
- 30 % av markeringarna var förstörda.
- 30 % av de lägre ordningens markeringarna uppfyllde ej de krav som ställs på en höjdfix som markeringstyp, tillgänglighet och stabilitet.
- En stor del av markeringarna låg längs järnvägar samt på ett stort avstånd från städerna vilket gjorde att de var svåra att utnyttja på ett tekniskt och ekonomiskt bra sätt.

Detta ledde till att arbetsgruppen rekommenderade att en ny precisionsavvägningen skulle göras och förberedelserna startade på en gång.

### Val av mätteknik

Den motoriserade avvägningstekniken presenterades i början av 1970-talet och Jean-Marie Becker studerade den i forna Östtyskland hösten 1973. Baserat på hans rapport beslöts det att försöka anpassa tekniken till svenska förhållanden och de första testmätningarna gjordes i Sverige sommaren 1974. Resultaten översteg förväntningarna och mer testmätningar under 1975 bekräftade resultaten från året innan.

Mätprincipen finns presenterad i figur 1 där siffrorna 1 till 3 representerar tre olika uppställningar och  $H_1$  till  $H_3$  representerar de tre olika mätta höjdskillnaderna.



Figur 1: Motoriserad avvägning visad med tre uppställningar.

Alla resultat visade att den motoriserade avvägningen har fördelar i förhållanden till andra avvägningstekniker. Några av dessa fördelar kan beskrivas enligt följande:

- Ökning av produktionen med ca 50 %.
- Kostnadsbesparing på åtminstone 30 %.
- Noggrannhet som är minst lika bra som klassiska metoder även under sämre förhållanden.
- Förbättrad arbetsmiljö.
- Möjligt att arbeta under hela dagen och under hela sommaren.

De stora nackdelarna är behovet av tillgång till väg samt att all fältpersonal måste ha körkort.

### Val av nätkonfiguration

Det fanns ett behov av ett nät med betydligt fler fixpunkter som var bättre fördelade än vid tidigare precisionsavvägningar. Dessutom behövdes det ett nät med högre noggrannhet. Totalt bedömdes det att det fanns ett behov av ca 50000 fixpunkter över hela Sverige och det föreslogs att all avvägning skulle göras i ett sammanhang och inte som tidigare med ett överordnat nät som förtätades med ett lägre ordningens nät. Alla fixhåll, dvs. sträckan mellan två fixpunkter, skulle avvägas åt bägge håll och de två höjdskillnaden fick ej överstiga  $2 \cdot \sqrt{L}$  mm ( $L$  = fixhållens längd i km).

Fördelen med detta var främst följande:

- Höjdnätet skulle bli enklare och billigare att förverkliga.
- En kortare tidsperiod mellan mätning och leverans av koordinater skulle vara möjlig (ca 3 år).
- Ett mer homogent nät med hög kvalitet skulle kunna uppnås.

#### Rekommendationer för uppbyggnaden av det nya precisionsnätet



Figur 2: Nätkonfigurationen för tredje precisionsavvägningsnätet.

Det nya höjdnätet skulle ha en noggrannhet av  $1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  eller bättre och det förväntades att nätverket skulle motsvara användarnas behov bättre än tidigare riksnät. Därför bestämdes det att följande urval av rekommendationer skulle styra uppbyggnaden

- Hela landet skall täckas av ett homogent höjdnät. (se figur 2):

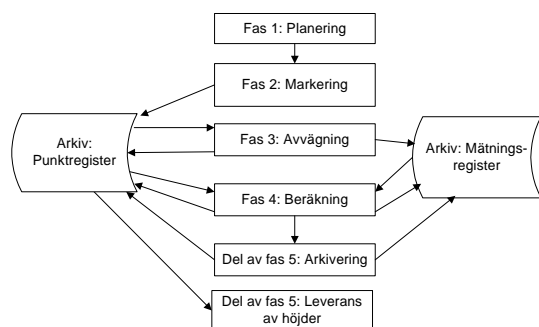
- Nätet skall avvägas i slutna slingor med en omkrets mellan 80 och 120 km.
- Avvägningen skall göras längs vägar.
- Lokal behov skall beaktas vid planeringen.
- Avståndet mellan två fixar skall vara ca 1 km.
- Markeringen skall göras stabil för att säkra fixen för en lång tids period.
- Hela projektet skall göras på ett enhetligt sätt vilket bl. a. Betyder motoriserad avvägning med instrumentet Ni002 från Carl Zeiss Jena.
- All mätutrustning skall kontrolleras och kalibreras med jämna tillfällen
- Alla fixhåll skall avvägas två gånger och i motsatt riktning. Höjdskillnaden måste vara mindre än  $2 \cdot \sqrt{L}$  mm ( $L$ = fixhållslängden). Om inte omavvägs fixhåll i bägge riktningarna.
- Tur- och returmätningen av ett fixhåll skall helst göras vid olika tillfällen och under så olika förutsättningar som möjligt.
- Alla faktorer som kan tänkas påverka resultatet skall dokumenteras och lagras i en databas.
- Alla resultat skall presenteras i ett gemensamt höjdnät. Tills en slututjämnning är gjord levereras höjder i RHB70.

## Tidtabell

Beslutet att starta projektet togs 1979. Det ursprungliga beslutet var att projektet skulle slutföras under en tioårsperiod med sju avvägningslag. Alltså skulle avvägningarna vara slutförda 1990. Dock så har en rad omprioriteringar gjorts under årens lopp och nu arbetar vi på att slutföra mätningarna år 2003. Vårt ursprungliga 10-årsprojekt har alltså blivit ett 25-årigt.

## Olika arbetssteg inom riksavvägningen

Arbetet kan grovt beskrivas med fem olika steg (eller faser). Dessa måste vara synkroniserade tidsmässigt. De är grafiskt beskrivna i figur 3. Punktregistret innehåller uppgifter om höjdfixar. Mätningsregistret innehåller uppgifter om alla avvägningarna och de är lagrade per fixhåll.



Figur 3. Faser vid produktionen.

**Fas 1 (Första året):** Planering av avvägningslinjer och höjdfixarnas lägen vid Metria tillsammans med de lokala intressenterna.

**Fas 2 (Andra året):** Markering av höjdfixar. Mindre justeringar av den ursprungliga planen kan göras för att uppnå högsta kvalitet. Detta arbete görs av lag innehållande två personer från Metria. Dessutom upprättas punktbeskrivningar samt att fixarnas lägen markeras på en översiktskarta.

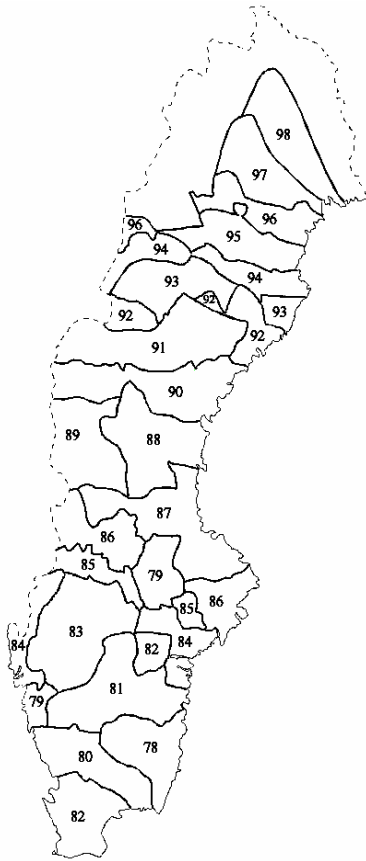
**Fas 3 (Tredje året):** Avvägningen görs. All mätdata från fält kontrolleras och behandlas som förberedelser inför beräkningarna. Tabell 1 innehåller statistik från avvägningarna.

Som en sammanfattning så dubbelavvägs mellan 4,5 och 6,5 km varje dag för ett lag och omavvägningsfrekvensen ligger på ca 7 %. I genomsnitt avväger ett lag under 5,5 timme. Ett lag består av fyra personer. Tills dags dato har över 45000 km avvägnings-linjer dubbelavvägts.

Avvägningarna startade i södra Sverige och har nu nått de allra nordligaste delarna av Sverige, se figur 4. Pga klimatet så blir mätsäsongerna kortare och kortare. I år startade den i början på juni och höll på till början av oktober.

Medeltiden för en uppställning är mindre än två minuter inkluderat förflyttningen mellan uppställningarna. Sikt längderna får vara max 50 meter. Alla moment, förutom mätningar mot höjdfixarna, görs med all personal arbetande i bilarna. För att uppnå högsta kvalitet har arbetsmoment blivit framtagna som bygger på att alla moment görs i samma ordning för varje uppställning. Det mesta av utrustningen är specialdesignad för denna typ av mätning.

All mätdata kontrolleras i fält och lagras i ett mättningsregister. All rådata och alla beräkningsfiler lagras i arkivet på Lantmäteriverket.



Figur 4: Avvägningsår för olika delar av riksavvägningen.

**Fas 4 (Tredje och fjärde året):** Mätningarna beräknas till höjdsystemet RHB 70. Beräkningarna görs i förbestämda regioner som beskrivs av de avvägningslinjer som ingick i andra precisionsavvägningen. I samband med beräkningen hålls för tillfället gemensamma fixar från andra och tredje precisionsavvägningarna som kända och nya höjder räknas fram för de nya fixarna.

När hela nätet är avvägt skall en ny utjämning göras som inkluderar alla mätningar. Resultatet kommer bli ett nytt rikstäckande höjdnät. Eftersom liknande projekt görs eller har gjorts i Finland och Danmark samt i viss mån även i Norge är planerna att de kommer att utföras en gemensam utjämning för hela Norden.

**Fas 5:** Detta steg handlar om arkivering av allt material vid det Geodetiska Arkivet på Lantmäteriet samt leverans av RHB70 höjder till användarna.

År	Antal lag	Antal arbetsdagar	Produktion (netto) i km.	Omvävning i km	Omvävning i %	Produktion (netto)	Netto km/dag
1978	2	284	3016	121	4.0	2895	4.0
1979	3	370	3164	394	12.4	2770	12.4
1980	4	487	4378	226	5.2	4152	5.2
1981	5	552	5491	240	4.4	5251	4.4
1982	5	566	6646	255	3.9	6389	3.9
1983	6	557	6896	295	4.8	6599	4.8
1984	5	397	4636	209	5.8	4429	5.8
1985	5	503	5370	347	6.1	5021	6.1
1986	5	541	6099	418	7.2	5680	7.2
1987	5	453	5326	301	5.9	5026	5.9
1988	4	474	5969	529	8.7	5440	8.7
1989	4	419	5063	451	8.9	4612	8.9
1990	4	462	5505	585	10.7	4919	10.7
1991	3	344	4249	278	6.5	3971	6.5
1992	3	309	3989	257	6.4	3732	6.4
1993	3	333	4180	258	6.2	3938	6.2
1994	3	304	4077	447	11.0	3630	11.0
1995	3	288	3964	425	10.7	3539	10.7
1996	3	306	3815	445	11.7	3369	11.7
1997	3	257	3470	291	8.4	3178	12.4
Totalt		8206	95303	6772	7.1	88540	10.8

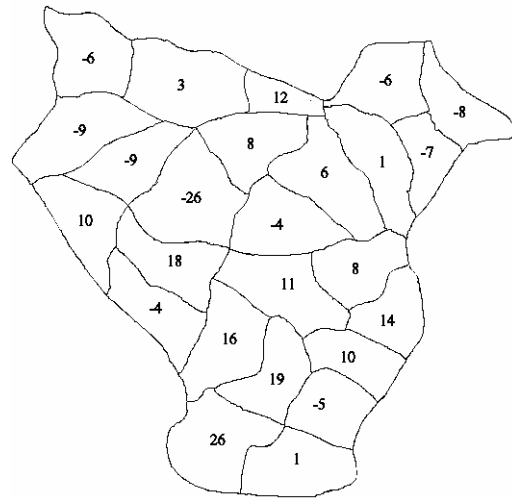
Tabell 1. Statistik från produktionen.

## RESULTAT

Figur 7 visar ett beräkningsområde som avgränsas av en polygon från andra precisionsavvägningen. Den tidigare polygonen är nu i samband med riksavvägningen förtätad med en rad mindre. Just denna polygonen kommer från norra Sverige.

Pågående riksavvägningen inkluderar så många höjdfixar som möjligt från andra precisionsavvägningen och tätheten av den pågående riksavvägningen motsvara andra precisionsavvägningen samt andra ordningens höjdnät tillsammans.

Slutningsfelen i denna polygon ligger på mellan -26 mm och +14 mm och genomsnittslängderna på polygonerna är mellan 80 och 120 km. Resultatet från denna polygon är ett typiskt resultat som går att återfinna över hela Sverige.



Figur 7: En polygon från andra precisionsavvägningen förtätad under den pågående riksavvägningen. Slutningsfelen i mm.

## REFERENSER

- 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.
- 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.