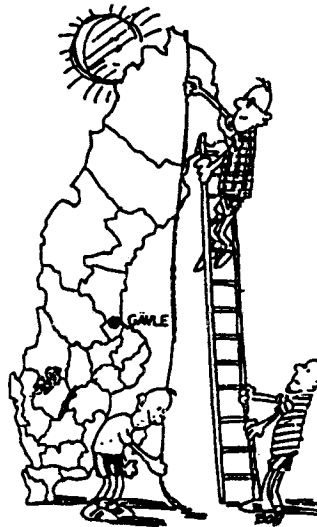


Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem

RIKSAVVÄGNINGSARBETEN I SVERIGE UNDER PERIODEN 1974-1995

JEAN-MARIE BECKER



Gävle 1997

LANTMÄTERIVERKET



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriverket

- 1996:2 Lejonhufvud C & Wiklund P: Undersökning av semikinematisk GPS-mätning i realtid.
- 1996:5 Ammenberg P & Hansson K: The Compatability of SWEPOS-data with GPS-Equipment available on the market.
- 1997:1 Östlund J: Metoder för ruttoptimering, en översikt.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	3
2	HISTORISK BAKGRUND	4
3	UTVÄRDERING AV DE BEFINTLIGA HÖJDDATANÄTEN.....	5
	3.1 Avvägningsmetoder fram till 1974	4
	3.2 Gällande tekniska kravspecifikationer vid genomförande av avvägningsarbeten för olika typer av höjdnät.....	5
4	AVSLUTANDE ARBETEN MED 2:A OCH 3:E ORDNINGENS NÄT	6
5	ANSLUTNING TILL RH 70.....	7
6	FÖRBEREDELSE INFÖR DET NYA RIKSNÄTET I HÖJD (RA).....	7
	6.1 Val av mätteknik.....	7
	6.2 Val av nätkonfiguration	9
	6.3 Rekommendationer för uppbyggnaden av det nya höjdnätet	9
7	DET PRAKTISKA GENOMFÖRANDET AV PROJEKTET ...	11
	7.1 Tidsplan.....	11
	7.2 Uppläggning och tekniskt utförande.....	11
8	PROBLEM SOM HAR UPPKOMMIT UNDER PERIODEN.....	14
	8.1 Jordmagnetismens inflytande	14
	8.2 Stora slutningsfel i vissa polygoner	14
	8.3 Stora skillnader mellan 2:a och 3:e precisions- avvägningens resultat	15
	8.4 Problem i samband med avsaknaden av modern analys- och utjämningssoftware	15
	8.5 Problem knutna till projektets fördröjning	15
9	INVENTERING OCH AJOURHÅLLNING AV DET NYA RIKSNÄTET I HÖJD	16
10	TEKNISK UTVECKLING OCH NYHETER.....	17
11	INTERNATIONELLT	21
12	SLUTSATS OCH FRAMTIDSUTSIKTER.....	22
	Referenser	23

1 INLEDNING

Aktiviteten inom Lantmäteriverket beträffande riksnäten i höjd har under tiden 1974-1995 varit varierande, men man kan skönja två distinkta perioder. Den första perioden (1974 -1979) omfattar huvudsakligen *avslutningen* av nödvändiga avvägningar i Huvud- och Detaljlinjenäten för att möjliggöra dels anslutningen till RH70, dels tillgodose den allmänna kartproduktionens behov. Dessutom gjordes en hel del *förberedelser* för det tilltänkta nya riksnätet i höjd. Den andra perioden (1979-1995) är helt ägnad åt genomförandet av *det pågående Riksavvägningsprojektet (RA)*, med användning av den i Sverige utvecklade Motoriserade avvägningstekniken (MA).

I följande artikel skall jag redogöra för vad som har skett inom detta område genom att belysa följande punkter:

- historisk bakgrund
- utvärdering av de befintliga riksnäten i höjd 1974
- avslutande arbeten med 2:a och 3:e ordningens höjdnät
- anslutning till RH70
- förberedelser inför det Nya Riksnätet i höjd (RA)
- praktiska genomförandet av projektet Riksavvägning (RA)
- problem som uppkom under perioden 1974 -95
- inventering, ajourhållning och uppdatering av den nya RA
- tekniska utvecklingen under samma period
- internationellt samarbete inom detta område.

Detta kompletteras med några slutsatser och framtidsutsikter.

2 HISTORISK BAKGRUND

I Sverige liksom i övriga europeiska länder har man under de senaste århundradena och särskilt under de sista decennierna varit sysselsatt med *uppbyggnad* samt *förtätning* av nationella riksnät i plan och höjd för samhällets allmänna behov. Syftet med dessa arbeten är dels att möjliggöra anslutning av alla lokala och kommunala höjdnät till ett gemensamt rikets höjdsystem, dels att främja den allmänna kartproduktionen, dels tillgodose avnämarnas tekniska behov samt möjliggöra vetenskapliga studier som exempelvis forskning kring landhöjningen.

Ansvar för planering, utförande, beräkning, arkivering samt underhåll hade statsmakterna före 1974 lagt på den Geodetiska Enheten vid dåvarande Rikets Allmänna Kartverk (RAK) samt därefter på det nuvarande Lantmäteriverket.

Bland milstolparna som markerar riksavvägningsarbeten i Sverige bör nämnas den *1:a* och den *2:a* *Precisionsavvägningen* som resulterade i respektive höjdsystem *RH00* (Höjdsystem 1900) och *RH70* (Höjdsystem 1970) samt det nu pågående riksavvägningsprojektet RA (1979-200..?).

Den *1:a*. *Precisionsavvägningen* (1886-1905) hade en omfattning av 4857 km (med ca 2500 fixpunkter) och *precisionslinjerna* (PL) sträckte sig huvudsakligen längs järnvägslinjer samt längs Östersjökusten. Avvägningsstängerna var av trä. Medelfelet efter utjämning var $\pm 4,4 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$.

Den *2:a*. *Precisionsavvägningen* (1951-1967) hade en längd av 10389 km (ca 9700 fixpunkter) med ca 75% av fixpunkterna längs järnväg och övriga längs landsvägar. Utförandet skedde med dubbelskaliga kalibrerade invarstänger, termistorutrustning för bestämning av vertikala temperaturgradienten och refraktionseffekten enligt Kukkamäkis modell. Korrekitioner för sol och måne samt refraktionseffekten infördes. Medelfelet per km efter utjämning var $\pm 1,63 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$.

Sveriges Normalhöjdpunkt, som ursprungligen låg på Riddarholmen i Stockholm, flyttades till Varberg och anslöts till Europas Nollpunkt i Amsterdam genom en gemensam europeisk utjämning 1960 (UELN 55). Dessa primära rikstäckande precisionshöjdnät har under åren förtätats med andra ordningens (*Huvudlinjer* = HL och/eller *Sekundärlinjer* = SL) samt tredje ordningens nät (*Detaljlinjer* = DL). Sammanlagt finns ca 15 000 HL-fixpunkter (varav ca 30% i berg) förlagda längs 26 000 km HL-linjer. DL-nätet består av ca 40 000 markerade fixpunkter samt ett lika stort antal ommarkerade höjdstödpunkter.

3 UTVÄRDERING AV DE BEFINTLIGA HÖJDNÄTEN 1974.

Höjdnätens utformning, fixpunkternas täthet längs linjerna, deras placering i naturen, beständighet och stabilitet, samt höjdvärdernas noggrannhet har varierat genom åren bland annat på grund av olika önskemål och behov samt rådande tekniska och ekonomiska möjligheter.

3.1 Avvägningssmetoder fram till 1974

Före 1950 utfördes alla mätningar med användning av klassiska avvägningssinstrument s.k. "spirit levels". Syftlängderna vid *precisionsavvägning* var begränsad till ca 30 meter och mätningarna kunde utföras endast under vissa tidpunkter på dagen: tidig förmiddag och/eller sen eftermiddag, dessutom enbart under vår och höst, på grund av problemen med refraction och flimmer. Alla PL-linjer skulle dubbelavvägas. Den dagliga produktionen låg i snitt vid ca 3,5 km enkel väg.

Kring 1950 kom de första "självhorisonterande" instrumenten (Ni2 från Zeiss-Oberkochen, Ertel, ...) som med fördel kunde användas för Huvudlinje- och Detaljlinjeavvägning. Användningen av en tillsats, s.k. "planparallell platta" (ca 1960), möjliggjorde submillimeteravläsningar.

Dessa självhorisonterande avvägningssinstrument var betydligt lättare och mer fältmässiga än de äldre, vilket möjliggjorde användandet av cykel vid förflyttning mellan uppställningarna samt utvecklingen av den sk. "Cykelavvägningstekniken = CA". Dagsproduktionen låg kring 6 km för HL och ca 12-14 km (enkelavvägning) för DL. Avstånden mellan fixpunkterna varierade mellan 1 och 2,5 km.

3.2 Gällande tekniska kravspecifikationer vid genomförande av avvägningssarbeten för olika typer av höjdnät

- PL: lika långa syftlängder, bakåt och framåt, ca 30 meter, 6 avläsningar på invarstänger, avvägning av fixhållen i båda riktningarna, mättolerans: = 2 mm/√ km mellan tur- o returavvägning av ett fixhåll.
- HL: syftlängder 50 -70 m, B = F, normalt 4 meters trästänger, dubbelavvägning, mättolerans = 4 mm/√ km mellan tur- och returavvägning av ett fixhåll.
- DL: fria syftlängder upp till 150 m, 4 meters trästänger, mättolerans = 15 mm /√ km för skillnader mellan anslutningspunkter i överordnade nät.

Dessa tekniska specifikationer gällde tills HL- och DL- arbetena var avslutade 1979/80.

4 AVSLUTANDE ARBETEN MED 2:A OCH 3:E ORDNINGSS HÖJDNÄT

Vid HL avvägning användes både den s.k. CA- (Cykel avvägning) tekniken samt fr.o.m 1974 MA- (Motoriserad Avvägning) tekniken, vars utveckling just hade påbörjats och som nu skulle testas.

Arbetena för 2:a ordningen (HL) utfördes under åren 1974-78 i följande polygoner: 16, 11, 12, 116, 115, 114, 15, 14, 9, 102, 103, 14, 112, 113 samt delar av polygon 8.

Arbetena med 3:e ordningens (DL) avvägning utfördes mellan 1974 och 1980 i polygonerna: 14, 15, 16, 115, 116 samt södra delen av Pol.17. Endast klassisk CA -avvägning användes i DL-sammanhang.

Arbetena i HL- sammanhang avslutades 1978 eftersom man då hade bestämt sig för att starta det Nya Riksavvägningsprojektet (RA) i enlighet med Höjdmättningsgruppens förslag från 1976.

Denna vid LMV upprättade specialstudiegrupp redovisade 1976-12-06 i sin rapport "Precisions och Huvudlinjenätens Förnyelse" den då gällande situationen, och pekade på de brister som fanns i förhållande till rådande behov och krav från olika användare.

I korthet kunde dessa brister sammanfattas enligt följande:

- 30 % av fixpunkterna var borta eller förstörda
- 30% av återstående fixar var av sådan kvalitet att de ej uppfyllde de krav (markeringstyp, stabilitet, tillgänglighet, mm) som bör ställas på en modern höjdfixpunkt
- en stor del av återstående punkter var olämpligt placerade (längs järnvägar, långt från samhällen) och svåråtkomliga för en tekniskt och ekonomiskt rationell vidare användning
- i vissa områden var avsaknaden av användbara höjdpunkter så gott som total
- kvalitén på den 2:a precisionsavvägningen var totalt sett inte tillfredsställande (låg noggrannhet, stora slingor, svåråtkomliga fixpunkter) och otillräcklig som fundament för uppbyggnaden av förtättningsnäten (HL o DL), vilket hade negativa konsekvenser för de lokala och kommunala näten samt dess användare.

5 ANSLUTNING TILL RH70

I Mätningkungörelsen (SFS 1974:339) krävde statsmakterna att all mätningens verksamhet skulle grundas på anslutning till riksnäten och LMV hade tilldelats uppgiften att utöva tillsyn över dessa. De grundläggande riksnäten skulle ha en sådan täthet, noggrannhet och aktualitet att anslutningen till dessa blev meningsfull och anslutningskostnaderna rimliga.

I många fall hade ovan redovisade brister i rikets höjdnät försvårat och t.o.m. omöjliggjort för kommunerna att efterleva riktlinjer och anvisningar från mätningkungörelsen (MK, SFS 1974:339 och TFA 1976:1). Anslutningen till Rikets Höjdsystem 1970 (RH70) hade ej kunnat genomföras såsom föreskrivet. Standarden på Sveriges riksnät i höjd var undermålig.

På grund av redovisade svagheter och brister i befintliga höjdnät, skulle samma studiegrupp vid LMV också undersöka vilka åtgärder som vore lämpliga att vidta för att åstadkomma ett modernt höjdnät.

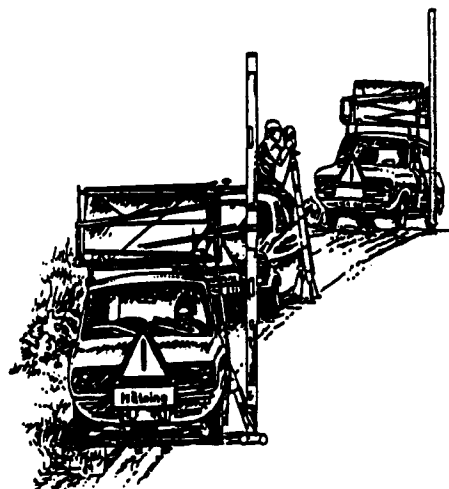
6 FÖRBEREDELSE INFÖR DET NYA RIKSNÄTET I HÖJD (RA)

Förberedelserna omfattade flera gebit såsom: mättekniken, höjdnätens utformning och struktur, datafångst, bearbetning, lagring, leverans, fixpunktens markering, beskrivning, höjdangivelse, arkiveringsfrågor. Här nedan redovisas några av de områden som behandlades.

6.1 Val av mätteknik

Den motoriserade avvägningstekniken blev känd i början av 1970-talet efter det att undertecknad under våren 1973 hade presenterat sin rapport om "Den Motoriserade Avvägningstekniken - RAK: D20". Denna rapport innehöll en komplett analys av dåvarande riksnät i höjd, samt dåtidens produktionstekniker inklusive kostnadsanalyser och förslag till åtgärder för att modernisera Sveriges riksnät i höjd med bl.a. användande av MA teknik.

Därefter beslutade dåvarande RAK (Rikets Allmänna Kartverk) att denna teknik skulle prövas under "svenska förhållanden". Nödvändig utrustning (bilar + instrument) för att bygga en svensk prototyp av MA hade delvis köpts in och delvis tillverkats i egen regi under vintern 1973/74. Våren 1974 godkände Svensk Bilprovning och Statens Trafiksäkerhetsverk den första svenska Motoriserade Avvägningseenheten. Under sommaren 1974 utfördes de första avvägningförsöken med MA i Sörmlands HL-nät.



Motoriserat avvägningsslag

Uppnådda resultat överträffade förväntningarna både angående kvalitet (högre än dåvarande krav för HL- mätning) och produktionskostnader (en fördubblad produktion till en tredjedel av kostnaderna). RAK bestämde sig därför att under 1975 fortsätta med ytterligare testmätningar med ny personal i MA-arbetslaget för att få tidigare resultat bekräftade, vilket också blev fallet.

En speciell studiegrupp bildades för att undersöka alla tekniska problem knutna till förnyelsen av Sveriges riksnät i höjd. Åren därpå och ända fram till 1979 utfördes en mängd olika studier och försök både i Sverige och utomlands för att utröna vilken teknik och metodik som vore lämpligast för att genomföra ett nytt riksomfattande avvägningsprojekt. Många av dessa studier skedde i nära samarbete med våra nordiska kollegor inom ramen för NKG (Danmark, Norge, Finland), eller med andra länder som stod inför samma stora uppgift, exempelvis Frankrike, Holland, Kanada, USA.

Kunskapen om MA-tekniken var i det närmaste obefintlig och egentligen begränsad enbart till DDR (forna Östtyskland). Många etablerade geodetiska experter varnade för alla de fel som denna oprövade teknik skulle kunna införa i mätresultaten. Detta tvingade fram studier i syfte att kartlägga eventuella felkällor, deras ursprung, sättet att minimera deras effekter samt enklaste och snabbaste metod för att effektivt uppnå ställda mål. Här bör nämnas studier och praktiska undersökningar kring följande frågor: refraktionseffekten (i Danmark och Norge), temperaturvariationer, värmeutstrålning från bilarna, sättningseffekter från stativ, paddor och bilar, trafikstörningar, vägunderlag samt yttre faktorer. Därefter kring själva mätmetodiken med avläsningar på stängerna (antal, ordningsföljd), olika kontroller vid varje uppställning, per fixhåll; syftlängder;....etc.

En utvärdering av alla kända resultat med olika tekniker i Sverige och utomlands t.ex. i Danmark, Holland, Frankrike, USA, England, Tyskland, Finland, mm, pekade entydigt på att MA-tekniken onekligen var fördelaktigast för uppbyggandet av ett modernt höjdnät av hög standard.

I korthet hade MA följande *fördelar* jämfört med övriga avvägningstekniker:

- produktionsökning med minst 50 %
- kostnadsbesparing med minst 30%
- nyttjandegraden under fältsäsongen ca 40% högre
- bättre noggrannhet allmänt och särskilt vid dåliga mätförhållanden
- lättare arbetsförhållanden
- större möjligheter att skapa en integrerad produktionskedja

Den största begränsningen förblev tillgången till framkomliga vägar.

Den **motoriserade avvägningstekniken** hade kontinuerligt vidareutvecklats till en högeffektiv mätteknik, väl lämpad för precisionsavvägning.

6.2 Val av nätkonfiguration.

Höjdmättningsgruppens rapport hade klart visat att behovet av höjdpunkter krävde en rejäl utökning av antalet punkter med bättre yttäckning över landet och en allmän kvalitetshöjning. Det totala behovet för ett grundläggande riksnät uppskattades till c:a 50 000 punkter eller 50 000 km avvägninglinjer.

Två skilda uppfattningar fanns inom gruppen om hur man skulle förfara för att på bästa sätt förverkliga detta mål. Det första förslaget var att på klassiskt vis först etablera ett 1:a ordningsnät av ungefär samma volym som i existerande PL-nät (noggrannhet ca +/- 1 mm/ $\sqrt{\text{km}}$) och samtidigt förtäta med ett 2:a ordnings HL-nät av lägre noggrannhet (2 eller 4 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ som kassationsgräns).

Det andra förslaget var att utföra allt på en gång med samma noggrannhet dvs med en generell kassationsgräns av 2 mm/ $\sqrt{\text{km}}$. Detta alternativ blev också antaget för genomförandet av det nya riksavvägningsprojektet främst på grund av nedanstående fördelar:

- lättare och mycket billigare att genomföra med hjälp av MA-tekniken
- betydligt snabbare access (ca 3 år) till första resultaten för användarna, vid första alternativet fick man vänta minst 7-8 år.
- mera homogent höjdnät av hög kvalitet p.g.a. tätare nätkonfiguration med väsentligt större antal knutpunkter.

6.3 Rekommendationer för uppbyggnaden av det nya höjdnätet.

Följande punkter ligger till grund för uppbyggnaden av höjdnätet för att uppnå en enhetlig och förväntad noggrannhet med ett medelfel bättre än +/- 1mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (internationell standard för precisionsavvägning) och för att tillgodose övriga behov och krav:

- alla landsdelar skall omslutas av ett heltäckande homogent höjdnät
- hela nätet skall mätas i slutna slingor med en omkrets av ca 100-120 km
- linjerna skall i huvudsak förläggas längs landsvägar
- de lokala behoven skall beaktas vid projekteringen av avvägninglinjer
- avståndet mellan närliggande punkter skall vara i snitt ca 1 km
- stor omsorg skall läggas ner vid markeringen av punkter för att garantera deras beständighet
- särskilda kravspecifikationer finns angående höjdfixars utformning, beskaffenhet, placering, beskrivning, numrering, lägesbestämning m.m. Äldre punkter som ej uppfyller dessa krav skall ersättas/dubbleras med nya
- hela projektet skall utföras på ett tekniskt enhetligt sätt d.v.s med MA= motoriserad avvägningsteknik samt med avvägninginstrument Ni002 från Carl Zeiss Jena som är specifikt för denna teknik

- alla instrument (Ni002, stänger, paddor mm) skall regelbundet kontrolleras, justeras och kalibreras
- mätningarna skall utföras som dubbelavvägning med kalibrerade invarstänger. Högsta tillåtna avvikelse mellan tur- och returmätning av samma fixhåll skall är 2 mm/√ km
Vid överskridande av toleransen skall fixhållet omavvägas i båda riktningarna
- tur- och returmätning skall utföras olika dagar och vid olika tidpunkter, av olika observatörer och helst under olika yttre mätförhållanden (temperatur, sol, ..mm)
- alla faktorer som kan tänkas påverka resultatens kvalitet som exempelvis: invarbandets temperatur, rådande meteorologiska förhållanden, vägbeskaffenhet, omgivande vegetation, rådande trafik eller andra störningar skall beaktas och registreras vid varje instrumentuppställning.
- alla insamlade fältdata skall sparas för beräknings-, utvärderings- och forskningsändamål i ett mättningsregister
- för att uppnå högsta kvalitet på nätet skall mätningarna utföras under kortast möjliga tidsperiod med hänsyn tagen till tekniska möjligheter och ekonomiska förutsättningar. Höjdmättningsgruppen ansåg att en 10-årsperiod skulle vara optimal för genomförandet.
- alla resultat skall anges i ett enhetligt rikssystem, tillsvidare Höjdsystem 1970 (RH70) samt lagras i ett ADB-baserat höjdregister.

Bibehållandet av RH70 grundar sig tillsvidare på två huvudsakliga skäl nämligen:

- den tekniska omöjligheten att upprätta ett nytt höjdsystem innan hela projektet är avslutat, vilket skulle medföra orimligt långa väntetider på resultaten (ca 12-13 år) vilket skulle vålla användarna tekniska och ekonomiska problem.
- många kommuner hade inte avslutat sin anslutning till RH 70 och var inte benägna att byta höjdsystem igen.

Bibehållandet av RH70 har dessutom fördelen att snabbt möjliggöra beräkning av höjder etappvis och i direkt anslutning till projektets framskridande över landet, för att tillmötesgå användarnas behov. Dessa RH70 höjder är fullt tillräckliga för de flesta tekniska behov och kan tills vidare ses som "brukshöjder".

Den slutliga utjämnningen av hela nätet skall göras när mätningarna täcker hela landet och är avsedd för andra och mera vetenskapliga ändamål.

7 DET PRAKTISKA GENOMFÖRANDET AV PROJEKTET

7.1 Tidsplan

Beslutet om genomförandet fattades 1979. Mätningsarbetena skulle utföras under en tioårsperiod, d.v.s. fram till 1990 med hjälp av ca 7 MA-team. Efterföljande beräkning av hela projektet med etablering av det nya höjdsystemet med tillgänglighet för användarna skulle ske före år 2000.

Tidplanen blev ändrad vid flera tillfällen. Första gången 1984 i samband med KP 85:s omprioriteringar, som medförde en påtaglig minskning av anslagsmedlen samt en tidsförskjutning till 1997 (17 år i stället för 10). Detta fastlades igen 1990 i GEODESI 90 samt förlängdes 1991 till år 2003 som avslutningsdatum för mätningarna i samband med nya omprioriteringar av anslagsmedel. Ett tioårig projekt har alltså successivt omprioriterats till 25/30 år med alla de negativa följd effekter detta medför.

Arbetena påbörjades 1979 med 3 MA-lag och nådde 1983 sin största styrka med 6 MA-lag. Sedan 1991 finns endast 3 MA-lag kvar i aktivitet. (Bifogad tabell på sidan 12 visar hur antalet lag har varierat genom åren).

7.2 Uppläggning och tekniskt utförande av de olika arbetsmomenten

De praktiska arbetena är indelade i olika moment som utförs stegvis vid olika tidpunkter i följande kronologiska ordning:

- **Fas 1** (1:a året): Planering och utformning av nät- och linjesträckning vid LMV. Samordning och anpassning för lokala behov i samförstånd med våra lokala representanter samt kommuner och övriga användare. Planering av markeringsinsatser. Dessa arbeten utförs mestadels vintertid av fast anställd personal från geodetiska produktionsenheten vid Metria (tidigare LMV).

- **Fas 2** (2:a året): Markeringsarbetena utförs, med hänsyn till lokala detaljusteringar, för att garantera bästa kvalitet i markeringarna. Dessa arbeten utförs av särskilda markeringslag bestående av 2 personer (en mätningssingenjör och ett biträde) vilka har fått anpassad utbildning för detta uppdrag. Antalet markeringslag har varierat från 1 till 3 beroende på planerade avvägningsinsatser och typen av markeringar. Normalt kan ett lag sätta ut ca 10 markeringar per dag när det gäller placering i berg, sten eller husgrunder. Vid s.k. jordmarkeringar markeras endast två till tre punkter per dag. I samband med markeringsarbetet upprättas punktbeskrivningar och punktkartor över alla punkter.

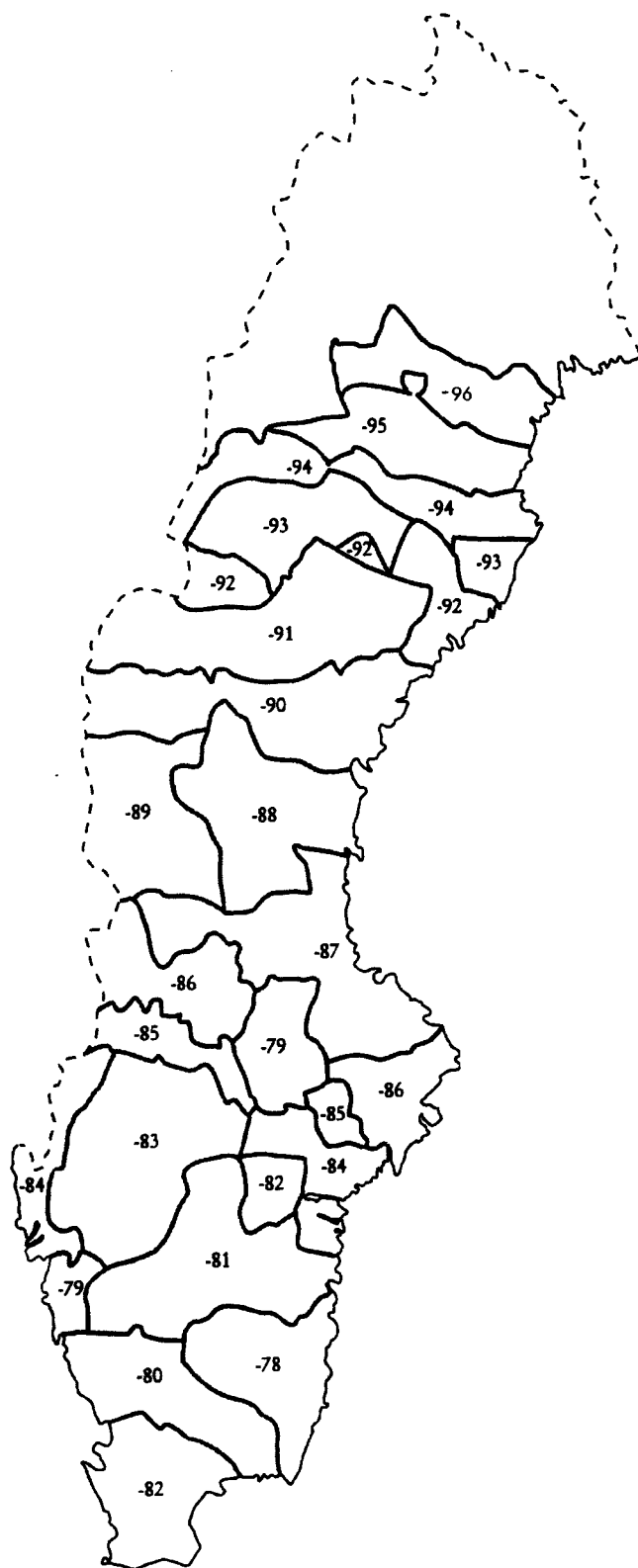
- **Fas 3** (3:e året): Mätningsarbetena utförs tillsammans med eventuella beställningsarbeten på uppdragsbasis. Fälldata bearbetas och kontrolleras samt sammanställs för beräkning. Dagsproduktionen har varierat mellan 4,5 och 6,5 km dubbelavvägning per lag med en ommättningsfrekvens varierande mellan 2 och 20% per lag och med i snitt mellan 5 och 7%. Varje lag består av 4 personer: minst en fast anställd mätningssingenjör samt tre mätningssbiträden. Knappt en tredjedel av personalen är fast anställd, övriga rekryteras säsongvis eller inlänas från övriga enheter inom LMV/Metria.

- **Fas 4** (3-4:e året): Efter fri utjämning och felsökning av alla nya data sker en inpassning till RH70. Denna beräkning sker områdesvis med precisionslinjerna från 2:a precisionsavvägningen som begränsningslinjer, varvid de gemensamma precisionspunkter som har befunnits vara orubbade hålls fasta i beräkningen. Urvalet av dessa punkter sker enligt mycket hårda kravspecifikationer dels angående kvalitén och beständigheten i markeringarna, stabilitet i höjdvärden samt deras fördelning längs linjerna. I samband med utjämningen och efterföljande analys och utvärdering sker en ny provning/gallring av dessa fasta referenspunkter till grund för den slutliga utjämningen för definitiva RH70-brukshöjder. Hela denna process kräver ingående kunskaper om den 2:a precisionsavvägningen.

- **Fas 5**: Omfattar lagring av allt material, d.v.s definitiva punktbeskrivningar, punktkartor, brukshöjder i RH70, i det Geodetiska Arkivet.

Den årliga nyproduktionen har varierat mellan 1600 och 3050 km/fältsäsong. Sammanlagt till dags dato har 43000 km dubbelavvägts. Därav ca 3000 km omavvägning, vilket motsvarar 7%. Se nedanstående tabell. Arbena är klara för hela södra och mellersta Sverige och fortsätter 1997 norrut (se kartsnitt på sid 13).

År	Antal lag	Antal arbetsdagar	Prod. brutto i km	Omavvägning i km	Omavvägning i %	Prod. netto	Netto km/dag
1978	2	284	3016	121	4	2895	10,2
1979	3	370	3164	394	12,4	2770	7,5
1980	4	487	4378	226	5,2	4152	8,5
1981	5	552	5491	240	4,4	5251	9,6
1982	5	566	6646	255	3,9	6389	11,3
1983	6	557	6896	295	4,8	6599	11,5
1984	5	397	4636	209	5,8	4429	10,5
1985	5	503	5370	347	6,1	5021	10
1986	5	541	6099	418	7,2	5680	10,4
1987	5	453	5326	301	5,9	5026	10,9
1988	4	474	5969	529	8,7	5440	11,5
1989	4	419	5063	451	8,9	4612	11
1990	4	462	5505	585	10,7	4919	10,6
1991	3	344	4249	278	6,5	3971	11,5
1992	3	309	3989	257	6,4	3732	12,1
1993	3	333	4180	258	6,2	3938	11,9
1994	3	304	4077	447	11	3630	11,9
1995	3	288	3964	425	10,7	3539	12,3
1996	3	306	3815	445	11,7	3369	11,0
S:a		7949	91833	6481	7,0	85362	10,7



Kartan visar RA-projektets årliga avvägningsinsatser

8 PROBLEM SOM HAR UPPKOMMIT UNDER PERIODEN 1974-1995

8.1 Jordmagnetismens inflytande

1981: Upptäckten av att många självhorisonterande pendelinstrument påverkas av magnetiska fält bl.a. *jordmagnetism*, vilket medför stora systematiska fel som ej kan upptäckas genom de klassiska kontrollerna (Tur- och returmätning av fixhåll eller slutningsfel i slingor). Detta väckte allmän oro i alla länder liksom här i Sverige. Detta var en "kalldusch" för alla inblandade.

1982: P.g.a. dåliga nyheter från undersökningar i Danmark och Finland angående de systematiska magnetiska fel som påverkade resultaten från deras instrument, bestämdes att LMV skulle försöka få klarhet i denna fråga. Tre veckors undersökningar utfördes i bl.a. Sandviken med två skilda instrumenttyper (Wild N3 ett klassiskt och sk *felfritt* instrument och med Zeiss Ni002 sk *felbehäftat* pendelinstrument) med samtidiga mätningar (ca 150 km) under samma villkor i två korsriktningar: S-N och Ö-W. Resultaten visade att Ni002 ej var påverkat av denna effekt. Dessutom gav Ni002 högre noggrannhet än Wild N3. Detta lugnade tillfälligt alla inblandade ansvariga vid LMV !!!

1983: Nya finsk-svenska undersökningar angående *magnetiska effekter*, i Mårtsbo, med en finsk magnetometer. Resultaten visade att instrumentbilens inverkan helt förstör jordmagnetismfältet så att felen mellan framåt och bakåtmätning i stort sett eliminerar varandra.

1983/84: *Laboratoriekontroll* av alla Ni002 från Sverige och Danmark vid flera tillfällen, 3 i Wingst (Tyskland) och i Buddinge (Danmark) för att bestämma den systematiska feleffekten p.g.a. magnetism. Resultatet på 14 instrument visade att effekten var försumbar (0,01 à 0,06 mm/km) och utan inverkan på våra mättningsresultat.

Som redovisats här ovan har vi ej kunnat hitta någon identifierbar inverkan av jordmagnetism på våra resultat vid de undersökningar som har genomförts dels med instrumenten (Zeiss Ni002 och Wild N3), dels med utrustningen (bilarnas inverkan), samt därutöver genom jämförelser av höjdskillnader framtagna med olika mättekniker som MTL (Motoriserad Trigonometric Levelling) (felfri i detta avseende) och MA (påverkbar).

Efter alla dessa undersökningar kunde äntligen arbetet fortsätta fritt från tankarna på att jordmagnetism systematiskt förvrängde våra mätresultat.

8.2 Stora slutningsfel i vissa polygoner

Ovanligt stora slutningsfel finns i vissa mätslingor i geografiskt begränsade områden. Utförda analyser ger ingen bra förklaring. Dock kan man skönja vissa teamrelaterade systematiska trender där exempelvis skillnaderna mellan enkla avvägningar i tur- och returmätningar systematiskt har samma tecken upp till 80%. Detta konstaterande är i vissa fall klart

personrelaterat och oberoende av utrustning, vägslag och rådande yttre förhållanden vid mättillfället. Systematiken bibehålls trots utbyte av all mätutrustning mellan två skilda lag. Båda lagen bibehåller sin egen fördelningsmodell.

8.3 Stora skillnader mellan 2:a och 3:e precisionsavvägningens resultat

I vissa områden har man haft stora avvikelser mellan 2:a och 3:e precisionsavvägningen. Avvikelsen har uppgått till 12-15 cm på långa sträckor utan att efterföljande analys kunnat påvisa fel i mätningarna vare sig i 2:a eller 3:e avvägningen. Många typer av felkällor blev misstänkta (t.ex bilens inverkan, geologiska lokala sättningar, refraktionsinflytande, systematiska personrelaterade fel,...m.m.) och många försök har gjorts för att finna en godtagbar förklaring.

Då ommätningar och undersökningar ej gav svar på felorsaken har man också gjort höjdbestämmingar med en helt annan mätteknik, den s.k. MTL, för att försöka besvara frågan. I samtliga fall har MTL-resultaten bekräftat tidigare MA-resultat, trots att denna teknik har en helt annan felfortplantningsmodell. Med andra ord har vi ingen godtagbar förklaring till avvikelserna i dag.

8.4 Problem i samband med avsaknaden av modern analys- och utjämningssoftware

Detta har varit ett stort problem särskilt i början av RA-projektet då man under flera år helt enkelt saknade all programvara för beräkning och därmed ej kunde leverera höjdvärden till användarna. Problemet kvarstår i dag i sin helhet när det gäller programvara för resultatutvärdering och nödvändiga felanalyser.

Läget kommer dessutom att avsevärt försämrats framöver när Lantmäteriverket byter datorsystem och överger PRIME, i vilken hela programsystemet finns. *Detta är alltså ett stort problem som snarast måste få en lösning. Det är bråttom!*

8.5 Problem knutna till projektets fördröjning

De många förlängningarna av tidplanen för utförandet av detta projekt har medfört många olägenheter. Angående det tekniska utförandet har en kvalitetsförsämring skett genom för många byten av inblandad personal, ökande trötthet och ointresse för projektet, minskad skärpa, bortglömda motiveringar för de tekniska kravspecifikationerna, m.m. De totala kostnaderna har också ökat genom att de fasta kostnaderna inte minskar i samma grad som kostnaderna för fältarbetet.

9 INVENTERING OCH AJOURHÅLLNING AV DET NYA RIKSNÄTET I HÖJD

På grund av förseningarna i genomförandet av Riksavvägningsprojektet och trots att mätningarna således ännu inte är avslutade har behovet av ajourhållning av nätet blivit alltmer påtagligt under senare år, då punkterna ofta ligger i utsatta lägen, trots de ansträngningar som görs för att skydda dem i samband med markeringsarbetena. 1992 gjordes därför en inventering i två provområden (Skåne och Bergslagen) med olika exploateringsgrad för att fastställa i vilken takt punkterna försvinner. Resultatet visade att i Skåneområdet försvinner nästan 1% och i Bergslagsområdet c:a 0,5% av punkterna varje år, vilket betyder att 15 resp. 7% av punkterna har försvunnit under denna tid. Då nätets värde för användarna utgörs av höjdvärdena på befintliga fixpunkter, bedömdes att en större förlust av punkter inte var acceptabel.

Därför beslutades att en systematisk inventering och ajourhållning särskilt av nätets mera expansiva delar skulle utföras. Dessa arbeten genomförs i två etapper. Först inventeras alla punkter kartbladvis varvid försvunna punkter ersätts av nya. I samband härmed uppdateras också alla punktbeskrivningar och punktkartor. Därefter avvägs de nya punkterna och inpassas mellan närliggande punkter. Denna inpassning sker efter ett bestämt mönster för att de nya punkterna ska bli likvärdiga med övriga riksnätspunkter.

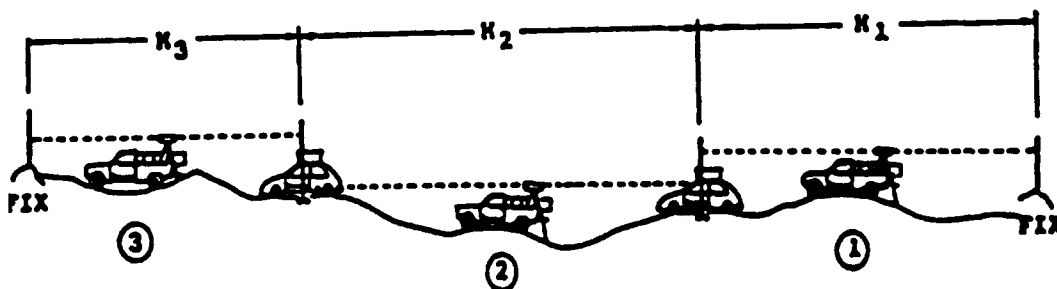
Sedan 1994 har c:a 2000 punkter/år inventerats och ajourhållits i det nya riksnätet.

10 TEKNISK UTVECKLING OCH NYHETER

I detta kapitel följer en kortfattad sammanställning i kronologisk ordning över de tekniska nyheter som har påverkat höjdmätningssektorn.

1972: *Ni002* från *Carl Zeiss Jena* (DDR) introduceras. Ett nytt revolutionerande självhorisjonerande avvägningsinstrument som med sina två symmetriska pendellägen gav en quasiabsolut horisont också när syftlängderna mellan bakåt (B) och framåt (F) vid varje uppställning varierade några meter, och med sitt vridbara okular, som tillät syftning runt horisonten från samma observatörsposition. Dessa bägge egenskaper var nyckeln till förverkligandet av den motoriserade avvägningstekniken.

1973/74: Uppbyggnaden av den *svenska versionen av motoriserad avvägningsutrustning*. Här bör uppmärksammas dels användningen av en pickup som instrumentbil, dels användning av en digitrip (typ Halda) för avståndsbestämning mellan förflyttningarna.



Exempel på MA-lag

Det *svensktillverkade stativet* var en världsnyhet p.g.a. dels sina tvådelade ben som motverkade överföring av vibrationseffekter från vind och närtrafik till instrumentet, och dels genom sina rörliga fotplattor som minimerade sättningseffekter på olika vägunterlag. Stativet möjliggjorde avvägning på nästan alla underlag (asfalt, grus, sand, m.m.) samt i vindstyrkor upp till 10 m/sek.

Dessutom hade stativet långa ben som ökade instrumentets syfthöjd till minst 2 meter över marken och därigenom avsevärt minimerade refractionsinflytande och därigenom tillät mätning under hela dagen. Detta är ett väsentligt genombrott, vilket gav god 100% utdelning i produktions-sammanhang och minskade kostnaderna betydligt.

1976: Utveckling av ett funktionellt *snabbhorisjoneringshuvud* för grovhorisontering av instrumentet.

1979: Övergång till ett *nytt punktnummeringssystem* för alla fixpunkter bestående av en kombination av 7 siffror och några bokstäver som tillät unika punktnummer över hela landet utan begränsningar (se exempel med: Område*Typ*Löpnummer). Denna fråga gav upphov till många debatter inom Projektgruppen för riksavvägningen. Senare beslutades också

att alla punktbeskrivningar skulle göras i stående *A4-format* i stället för det föråldrade Viscard-formatet. Detta väckte upprorsstämning bland Geodetiska Arkivets personal.

1979: Försöksmätningar i NKG's regi i Meldal (Norge) för att dels testa hur man mäter den *vertikala refraktionsgradienten*, dels studera dess inverkan på MA (svensk variant) och CA (finsk precisions variant) samt avgöra behovet av att bestämma denna för MA-bruk. Samma typ av studier hade tidigare utförts tillsammans med Kort-og Matrikelstyrelsen (KMS) i Danmark på deras testbaser i Olshered. Utvärderingen av dessa testmätningar visade två saker. För det första att de refraktionsmätningar som utfördes enligt den finska modellen varken var pålitliga eller särskilt representativa, vilket medförde att man kunde ifrågasätta värdet av påförda korrekationer (kanske enbart av psykologiskt värde!). För det andra att de svenska okorrigerade MA-resultaten gav samma och t.o.m. bättre noggrannhet än de korrigerade CA- eller FA-värdena från det Finska teamet. Senare undersökningar utförda bl.a. i Frankrike och USA bekräftade dessa resultat.

1980: En *kurs i geoteknik* genomfördes av Sveriges Geotekniska Institut (SGI) för att lära framförallt den personal som skulle syssla med markeringsarbeten i Riksavvägningen att kunna välja lämpliga markeringstyper och underlag i samband markeringsarbetena.

1980: Publikation av Höjdarbetsgruppens inom NKG "Rekommendationer för nordiska avvägningensarbeten" med anvisningar för precisionsavvägning.

1979/81: Utveckling tillsammans med MICRONIC (Täby) av världens *första datastack* skräddarsydd för avvägningstillämpningar. Denna väckte bl.a. amerikanernas uppmärksamhet, särskilt i förhållande till deras enorma fältdatorer som krävde en egen "computer car!". Denna datastack möjliggjorde övergången till en *helt digital produktionskedja* från datafångsten på fält till leveransklara höjder. Detta var epokgörande och skedde långt innan man pratade om digitala kartor osv. Denna datastack hade dessutom en tillkopplad skrivare för kontroll och säkerhet om något elektroniskt eller manuellt fel skulle uppstå.

1981: Sex veckors lyckade demonstrationer av svensk motoriserad avvägningsteknik i *Corbin/USA* på NOAA-NGS 's testfält. Efter denna uppvisning infördes tekniken i USA och i Kanada.

1980/81: Konstruktion av LMV's automatiska *laserinterferometer komparator* tillsammans med SCHLEMMER (TU-Karlsruhe) i LMV:s mätkorridor för kalibrering av avvägningstångar. Kalibrering av alla streck på båda stångskalorna sker automatiskt på ca 2 timmar med alla data lagrade i digital form samt resultatredovisning i form av tabeller och kurvor. Samma arbete tog innan dess ca en vecka.

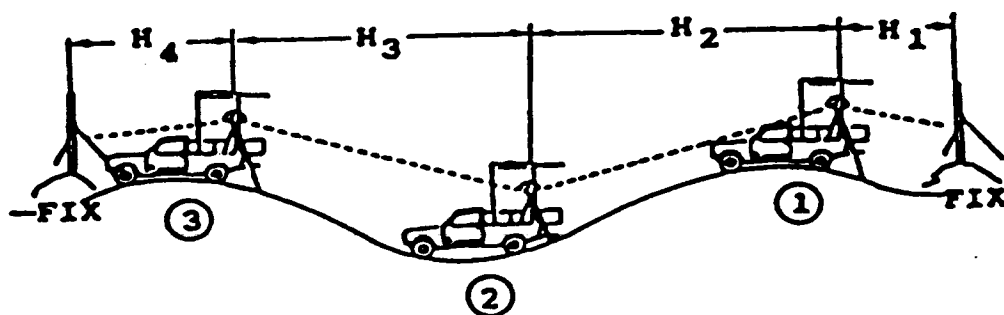
1982/83: På LMV:s begäran levererade Carl Zeiss Jena *världens första 3,5 meter långa precisionsavvägningstånger*. Införandet av dessa gav en produktionsökning på 15% tack vare att man kunde öka medelsyftlängden från ca 33 m till 37 meter.

1984/85: Efter många år fick vi äntligen ett tillyxat *dataprogram för beräkning* och utjämning av höjder i PRIME-datorn. Detta var inget nytt program utan enbart en moderniserad variant av världens äldsta program M9 (30 år minst). I alla fall kunde vi nu för första gången leverera höjder till alla kunder!

1985: Utveckling vid LMV/PG av två nya svenska mättekniker nämligen: MTL och MXYZ.

MTL eller *Motorized Trigonometric Levelling* (se bild sid 19) är en teknik där man använder sig av 3 st totalstationer som förflyttas med hjälp av 3 liknande instrumentbilar som vid MA för att bestämma höjdskillnader mellan instrumenten/fixpunkter. Våra testmätningar visade att MTL klarade kraven för precisionsavvägning (bättre än +/- 1mm/km) vilket var ett resultat som väckte stor uppmärksamhet internationellt bland fackfolk och instrumenttillverkare. För svenska förhållanden (mycket kuperade och kurviga vägar, omgivna av mycket skog) kunde dess prestanda dock ej konkurrera ut MA-tekniken. Km-priset var ca 15% för högt i jämförelse. Denna teknik används dock med stor framgång utomlands (Danmark, Frankrike).

En variant, s.k. "*halv-motoriserad MTL med japanska fyrhjulingar*", har används i fjällområden för höjdbestämmning i svårframkomlig terräng där klassisk avvägning är omöjlig.



Ett MTL lag

MXYZ eller *Motoriserad 3-D teknik* var en vidareutveckling av MTL där man också bestämde planläget (X och Y) på alla instrumentuppställningar. Tanken var att denna teknik sedan också skulle användas i samband med inmätning av optokabel för att tillgodose Televerkets behov.

1987/88: Införande av en *ny generation datastackar* från Micronic samt ersättning av Tectronix bandstationer med en *fält-PC* för att på fältet varje kväll kunna göra nödvändiga kontroller som tidigare enbart varit möjliga att göra på kontoret i Gävle.

1989: Det första helt *digitala avvägningsinstrumentet NA2000* från Leica/Wild kommer på marknaden. LMV utförde 1990 grundliga tester och undersökningar som visade att NA2000 hade en mängd begränsningar och felkällor som gjorde instrumentet olämpligt för precisionsavvägning. Instrumentet var för känsligt för temperaturvariationer samt direkt belysning (sol).

1991: För att motverka framförd kritik mot NA2000 kom Leica Wild med en s.k. förbättrad variant under beteckning *NA3000*. Några framsteg hade gjorts jämfört med den tidigare modellen. Dock fanns fortfarande samma känslighet bl.a. för temperaturvariationer.

1994: Firma Carl Zeiss Jena, som efter Berlinmurens fall är integrerad i Carl Zeiss Oberkochen-koncernen, kommer med sitt digitala precisionsavvägningsinstrument: *DiNi 10*.

LMV utför tillsammans med KTH/BMG liknande tester och undersökningar som för NA 2000 och 3000, dessutom samtidiga tester av båda instrumenten. Resultaten är till fördel för Zeiss DiNi10 bl.a. p.g.a. dess begränsade behov av att "se" stångbilden, endast 20 cm av stången på upp till 70 meter syftlängd.

1995: Användning av scanner för scanning av punktskisser och överföring i digital form till Geodetiska Arkivet. Detta undanröjer en felande länk i den digitala produktionskedjan av punktbeskrivningar.

11 INTERNATIONELLT SAMARBETE

I samband med förundersökningarna inför projektet Riksavvägning har Kartverket och Lantmäteriverket haft ett intensivt samarbete dels med sina nordiska grannländer (inom NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi), dels med övriga europeiska länder (genom UELN = Unified European Levelling Network) samt övriga världen (genom IAG = Int. Association of Geodesy).

Efter sina lyckade försök med den Motoriserade Avvägningstekniken (MA) har Sverige hjälpt många andra länder att införa och utnyttja samma teknik. Bland dessa kan nämnas Holland (1978), Danmark (1978/79), Frankrike och Norge (1979), USA (1980), Kanada (1981), samt senast 1992 Tyskland (f.d. DDR).

Tekniken har också exporterats på Swedsurveys uppdrag till bl.a. Zambia och Malaysia.

Anmärkningar:

a) Här bör nämnas *Vattenövergången* mellan Danmark (Kronborgs slott i Helsingör) och Sverige (Påsjö Klint i Helsingborg) som utfördes 1980-81 gemensamt av KMS och LMV för att nybestämma Sveriges höjdsamband med Danmark och kontinenten. Detta arbete utfördes med Wild N3 instrument och stora syfttavlor genom reciprokala syftningar över sundet, dels på hösten och dels på våren under flera veckors tid. Resultaten var av hög noggrannhet och bekräftade tidigare mätningar från seklets början.

b) Sverige har också i många år utfört mätningar i det *Norska riksnätet* på uppdrag av Statens Kartverk för att sluta avvägningsslingorna som ligger på den svensk-norska gränsen. Dessa arbeten har mestadels utförts med blandade team och på uppdragsbasis.

12 SLUTSATS OCH FRAMTIDSUTSIKTER

På den tekniska sidan utgör projekt Riksavvägning den äldsta och mest fulländade samt välfungerande digitala produktionskedjan inom geodesin. Införandet av digitala fältböcker i samband med markeringsarbeten kommer att utgöra den sista etappen i en lång utvecklingsperiod.

Arbetena med RA måste *fullföljas snarast möjligt* så att den teknologi och utrustning som finns för närvarande håller tiden ut. Några nya instrument går ej att uppbringa på marknaden, då Zeiss Jena har slutat tillverkningen av dessa instrument sedan flera år tillbaka. Dessa arbeten tål ingen ytterligare försening, tvärtom borde man accelerera slutförandet p.g.a. ovan nämnda skäl så att all mätverksamhet avslutas detta århundrade.

Innan den slutliga utjämningen genomförs bör också alla tveksamheter och återstående problem/frågetecken ha blivit uppklarade bl.a. genom ajourhållnings- och ommättningsinsatser över hela landet.

Stora insatser på programutveckling krävs fortfarande för slutberäkningsändamål samt för efterföljande analyser och forskningsbehov. Den pågående *övergången från PRIME-datorn till annan miljö* kommer också att kräva stora insatser vad avser programutveckling.

En gemensam utjämning av hela det nordiska blocket kommer sedan att ske som grund bl. a. för landhöjningsstudier.

Införandet av ett nytt höjddatum, RH 2000?, blir då naturligt.

Frågan om en eventuell förtätning av detta nät togs upp i utredningen RIX 95, där man konstaterade att behovet av förtätning finns såväl i höjdnätet som i det plana riksnätet. Det ansågs inte meningsfullt att påbörja en förtätning av höjdnätet innan RA har resulterat i ett nytt höjdsystem. Trots den förtätning som har skett jämfört med 2:a precisionsavvägningen finns ändå områden där anslutning av lokala nät inte kan göras utan orimligt stora kostnader.

Framtida metoder för höjdbestämmningen blir förmodligen en blandning och integrering av GPS, totalstationer samt digitala avvägningsinstrument, laser m.fl. tekniker.

Referenser

J-M Becker (1973): Den Motoriserade Avvägningen. RAK: D20 - Stockholm

Projektgruppen för Riksavvägningen vid LMV (1976): Precisions och huvudlinjenavvägningens förnyelse

J-M Becker & I Brook (1980): The establishment of a basic national geodetic system: E/Conf.72/K.70

Kartpolitik 85 (1983): Lantmäteriets förslag till verksamhet åren 1985-1994

J-M Becker (1984): Uppbyggandet av Sveriges Nya Riksnät i Höjd, LMV-Rapport 1984:01, ISSN 0280-5731

Geodesi 90: Rapport från utredningsprojektet om geodesin i Sverige på 1990-talet, LMV-Rapport 1990:1

J-M Becker (1990): Comparisons between different height determination techniques: Workshop Hannover Oct.

J-M Becker & B Andersson, P-O Eriksson, A Norqvist (1994): A new generation of levelling instruments. FIG 94

Tomas Egeltoft (1996): Data Analys and Adjustment in Precise Levelling. ISSN 1400-3155

J-M Becker, T Lithén, A Nordquist (1988): Experience of motorized Trigonometric Levelling, (MTL) - a comparison with other techniques. LMV-Rapport 1988:23

Rix 95: En utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stornät. LMV-rapport 1994:24