

RH 2000 och riksavvägningen

Mikael Lilje, Per-Ola Eriksson, Per-Anders Olsson,
Runar Svensson, Jonas Ågren

Gävle 2007



Copyright ©

2007-10-08

Författare Mikael Lilje, Per-Ola Eriksson, Per-Anders Olsson, Runar Svensson och
Jonas Ågren

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 56

LMV-rapport 2007:14 - ISSN 280-5731

RH 2000 och riksavvägningen

Mikael Lilje, Per-Ola Eriksson, Per-Anders Olsson,
Runar Svensson, Jonas Ågren

Gävle 2007

L A N T M Ä T E R I E T



Inledning

Syftet med denna rapport är att sammanfatta det hittills största geodetiska projektet i både tid och omfattning som gjorts i Sverige nämligen den tredje nationella precisionsavvägningen, i fortsättningen kallad riksavvägningen. Resultatet har blivit ett modernt nationellt höjdsystem med benämningen RH 2000.

Arbetet mot RH 2000 kan delas in i olika perioder där första perioden pågick mellan 1974 och 1979 och kännetecknas av dels avslutningen av nödvändiga avvägningar i huvud- och detaljlinjenäten för att möjliggöra anslutningen till RH 70, samtidigt som förberedelser för det tilltänkta nya riksnätet i höjd pågick. Den andra perioden pågick från 1979-2003 då själva produktionen av riksavvägningen pågick. Den tredje och avslutande perioden kan sägas vara från 2000 då dels ett mer målmedvetet arbete påbörjades mot slututjämnningen av det nya höjdnätet, och dels arbetet med införandet av RH 2000. Avvägningsarbetet, som ligger tillgrund för RH 2000 genomfördes mellan åren 1977 och 2003 och höjdnätet slututjämnades våren 2005. Arbetet med att introducera RH 2000 pågår och i detta ingår bl.a. att ta fram en geoidmodell (SWEN05_RH2000 och dess efterföljare) och att införa RH 2000 i Lantmäteriet, lokalt hos kommuner samt i andra organisationer.

Av alla inblandade personer som har gjort projektet möjligt samt bidragit till slutresultatet får den största elogen gå till Jean-Marie Becker. Han var den som tog med sig tekniken motoriserad avvägning till Sverige och anpassade den till svenska förhållanden, och var även den som initierade och drev projektet under hela dess tid. En stor eloge skall dessutom gå till Per-Ola Eriksson som drev produktionen under många år och som mot slutet dessutom var projektledare för de två projekt som möjliggjorde den slutliga slututjämnningen.

Sammanfattning

Diskussionerna kring behovet av riksavvägningen startade i början 1970-talet då det stod klart att det dåvarande höjdsystemet RH 70 inte mötte upp till användarnas krav på ett nationellt höjdsystem. Det ansågs till exempel att nätet var alldeles för glest, fixarna var svårtillgängliga och i många fall även förstörda. I början av 1970-talet hade ett nytt instrument presenterats vilket möjliggjorde motoriserad avvägning. Denna teknik introducerades och utvecklades i Sverige på Lantmäteriverket under ledning av Jean-Marie Becker. Riksavvägningen startade med målsättningen att ett nytt höjdsystem skulle vara tillgängligt kring 1990. Omprioriteringar av resurser och satsning på GPS kom att kraftigt försena projektet men det nya höjdsystemet finns nu för användning.

Vid slututjämnningen bestämdes att RH 2000 skulle anpassas så att skillnaderna mot det Europeiska höjdsystemet EVRF 2000 och de nya höjdsystemen hos våra Nordiska grannar skulle minimeras. Ett omfattande samarbete har skett inom ramen för Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG) och dess arbetsgrupp "Height Determination Group", bl.a. vad gäller utveckling av lämplig landhöjningsmodell och utjämnning av den så kallade Baltiska Ringen eller The Baltic Levelling Ring (BLR) Den senare innehåller avvägningssdata från alla Nordiska länder samt Estland, Lettland, Litauen, Polen, Tyskland och Holland. Samarbetet inom NKG har pågått under hela riksavvägningen. Motsvarande arbeten har genomförts i Danmark, Finland och Norge. Omfattande erfarenhetsutbyte och diskussioner kring mätmetoder mm har förts kontinuerligt. Samarbetet över nationsgränserna för att knyta ihop de nationella höjdnäten och samordna avvägningssarbetena i gränstrakterna har också varit viktigt.

För att möjliggöra höjdmätning med GPS i RH 2000 krävdes en ny geoidmodell. Utgående från den nordiska geoiden NKG 2004 och data från GPS-mätning på avvägda fixar samt hantering av de därvid uppkomna restfelen har geoidmodellen SWEN05_RH2000 konstruerats. Denna modell kommer att följas av flera, då projektet RIX 95 har fortsatt att producera GPS-mätning på avvägda punkter liksom andra specifika mätkampanjer för ändamålet. Nästa planerade geoidmodell kommer att presenteras under 2008.

Introduktion av RH 2000 i Lantmäteriet och hos kommuner pågår för fullt. Ett stort antal kommuner har redan påbörjat arbetet. Det viktigaste här är att först studera kvaliteten i det lokala höjdsystemet för att senare göra en bedömning av hur en introduktion av RH 2000 görs lämpligast. Lantmäteriet prioriterar denna verksamhet i sin rådgivningsverksamhet.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att RH 2000 håller hög klass och används lämpligen för höjdmätning både på nationell och lokal nivå framöver, då fler och fler användare introducerar systemet i sin verksamhet. Med RH 2000 har vi fått ett homogent nationellt höjdsystem av hög kvalitet, vilket skapat förutsättningar för en effektiv hantering av höjdinformationen lokalt, inom en region, nationellt och även i internationella projekt.

RH 2000 och riksavvägningen

Inledning	5	
Sammanfattning	7	
1	Dokumentation och arkivering	11
2	Bakgrund till riksavvägningen	12
3	Från planering till arkiv	15
3.1	Planering i samråd med användarna	15
3.2	Mätmetodik för riksavvägningen	15
3.3	Markering	18
3.4	Dataflödet från mätning till arkivering	19
3.5	Beräkning av höjder i system RHB 70	23
3.5.1	Produktionslinjens fem faser	23
3.6	Mättnings- och Punktregister	25
3.7	Övriga arkiv	25
3.8	Produkter från geodetiska arkivet	26
4	Systematiska effekter	27
4.1	Refraktion	28
4.2	Magnetism	29
4.3	Sättningar	29
5	Felsökningsmätning	30
6	Slutberäkningen	31
6.1	Den Baltiska Ringen	31
6.2	Definitionen av RH 2000	32
6.3	Landhöjningsmodell	33
6.4	Utjämnningen av RH 2000	35
7	Införande av det nya höjdsystemet	37
7.1	Ajourhållning	37
7.2	Förtättningsmätning	37

7.3	Kvalitetskontroll och upprätning av lokala system	38
7.4	Råd och stöd från LMV	39
	Publikationer med anknytning till riksavvägningen och RH 2000	40
	Referenser	44
	Bilagor	46
	Bilaga 1: Mättningsregistret, de 50 kolumnerna	46
	Bilaga 2: Avvägningstyper och felflaggor	49
	Bilaga 3: Årlig produktionsstatistik	52
	Bilaga 4: Avvägda områden i Sverige i kronologisk ordning	53

RH 2000 och riksavvägningen

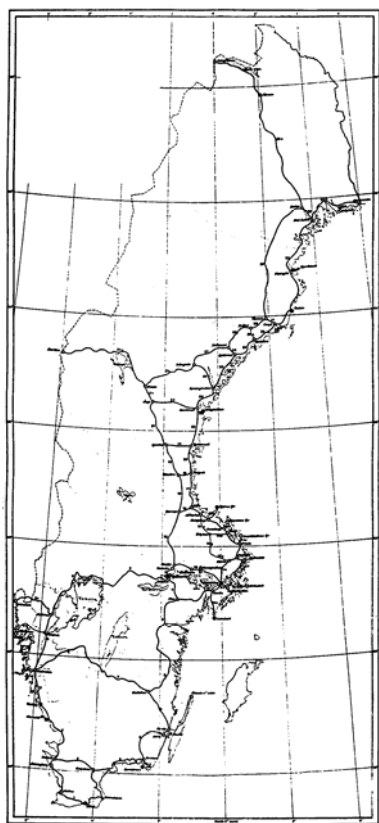
1 Dokumentation och arkivering

Det är viktigt och nödvändigt att ett projekt som riksavvägningen blir dokumenteras och arkiveras. Inför och under resans gång har det skrivits en rad LMV-rapporter, interna dokument, tidskriftsartiklar och konferensartiklar. Dessa sammanställs och kompletteras till en dokumentation som så fullständigt som möjligt beskriver projektet. Denna rapport är en del av dokumentationen och är tänkt att vara en mer populärvetenskaplig beskrivning som kompletteras med ett antal mera vetenskapliga rapporter.

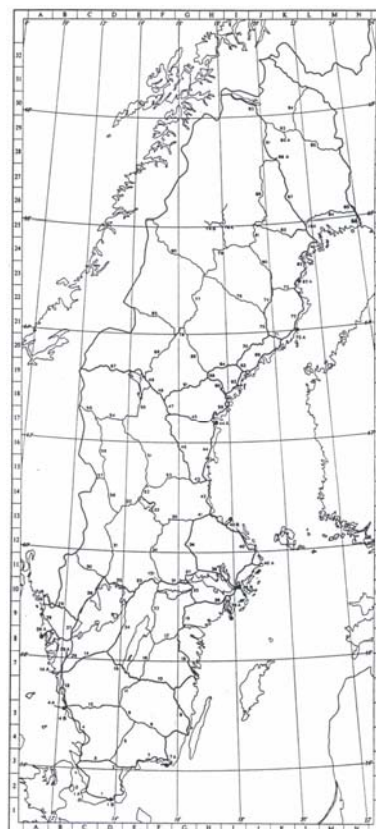
Alla mätdata och alla programvaror som ligger till grund för slututjämnningen, liksom all dokumentation från projektarbetet angående slutberäkningen, har arkiverats i Lantmäteriets arkivsystem ARKEN för framtida medarbetare och andra forskare.

2 Bakgrund till riksavvägningen

I Sverige hade det genomförts två nationella precisionsavvägningar som grund för nationella höjdsystem innan riksavvägningen startade. Den första genomfördes 1886 - 1905 och omfattade ca 2 500 fixpunkter i ett nät om 4 857 km. Nätet utgjordes av 12 stycken slutna polygoner och 16 bilinjer och tågen var mestadels förlagda till järnväg, framförallt längs kusterna. Täckningen i de inre delarna av landet var däremot mycket dålig, se figur 1. Medelfelet efter utjämning blev $4.4 \text{ km}/\sqrt{\text{km}}$. Detta nät utgjorde grunden till höjdsystemet RH 00 med epoken 1900. Som systemets nollpunkt valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900.



Figur 1: RH 00



Figur 2: RH 70

Den andra precisionsavvägningen genomfördes 1951 - 1967 och omfattade ca 9 700 fixpunkter i ett nät om 10 389 km. Ungefär 75 % av tågen var förlagda till järnväg och resten till landsvägar. Det nya nätet var således betydligt mera omfattande än det gamla och hade en bättre täckning över landet. Trots detta var slingorna alltför stora för att grova fel skulle kunna upptäckas. Medelfelet efter utjämning blev $1.63 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$, vilket också var sämre än förväntat. I Norrlands inland var täckningen fortfarande bristfällig. Nätet utgjorde grunden till höjdsystemet RH 70 med epoken 1970 (se figur 2). Som nollpunkt

användes nu Normaal Amsterdam Peil (NAP), som ursprungligen refererar till havets medelnivå i Amsterdam vid en viss epok. Skillnaden mellan systemen RH 00 och RH 70 varierar på grund av landhöjningen mellan -4 cm i sydligaste Sverige och +83 cm i norra Sverige. (Eriksson, 2003)

Framförallt för kartläggningsändamål krävdes ett betydligt tätare nät av höjdpunkter i landet än vad precisionsavvägningarna gav. För att åstadkomma detta förtätades precisionslinjerna med ett huvudlinjenät som kan sägas vara ett andra ordningens nät. Detta förtätades i sin tur med tredje ordningens nät, kallat detaljlinjenät. Syftet med dessa mätningar var framförallt att ge höjdstöd vid kartläggningen, och noggrannheten i mätningarna anpassades därefter. Kravet på yttäckning var större än kravet på god kvalitet.

I mitten av 1970-talet genomfördes en utredning av de dåvarande höjdnätens kvalitet och omfattning kopplat till användarnas behov. Linjeavvägningen som påbörjades i början av 1900-talet pågick fram till mitten av 1970-talet då behoven för kartläggningen ansågs vara uppfyllda. Fram till dess hade de lokala behoven av bra anslutningspunkter inte alls beaktats. Kvaliteten i linjeavvägningen i allmänhet var för dålig för att ge en tillfredställande anslutning av de lokala höjdnäten. I princip uppfyllde endast punkter från precisionsavvägningarna kraven för anslutning av lokala nät. En majoritet av de lokala näten är ändå anslutna på punkter från linjeavvägningarna vilket fått till följd att de kan vara deformerade eller ligga på olika nivåer p.g.a. de dåliga anslutningspunkterna. I början av 1970-talet insåg man bristerna i höjdsystemet och användarnas behov av bättre höjder. Bland det som konstaterades var att (Becker, 1984):

- 30 % av alla fixpunkter var förstörda.
- större delen av linjeavvägningens punkter hade inte den kvalitet som krävs avseende markeringstyp, tillgänglighet och stabilitet.
- i vissa områden saknades användbara punkter helt.
- på grund av de stora slingorna i den andra precisionsavvägningen, kunde inte en acceptabel noggrannhet för lokala användare uppnås genom den förtätning som gjordes av detta nät.

Dessa insikter ledde till ett beslut om att utföra en ny precisionsavvägning, som bland annat på ett bättre sätt skulle skapa realistiska anslutningsmöjligheter för de lokala användarna. Det stod snart klart att ett nät som på ett någorlunda rimligt sätt kunde motsvara kraven skulle komma att bli mycket omfattande och ta lång tid att upprätta. För att inom rimlig tid få nätet färdigt och kunna introducera ett nytt höjdsystem skapades vissa restriktioner angående bland annat nätets täthet. Man insåg att man inte skulle kunna tillmötesgå användarnas alla krav trots att nätet slutligen planerades att omfatta 50 000 km, se figur 3. Arbetet planerades att ta 10 år att utföra, vilket med hänsyn till användarnas situation ansågs vara den längsta tid man kunde

vänta på bättre anslutningsmöjligheter. I själva verket skulle det komma att ta 25 år innan RH 2000 fanns tillgängligt. Ytterligare krav från användarna skulle tillgodoses i ett andra steg, när det nya höjdsystemet var etablerat. Det viktigaste bedömdes vara att i första skedet åstadkomma ett homogent och heltäckande nät över landet.



Figur 3: Höjdnätet för RH 2000

Ett mer formellt genomförandearbete med riksavvägningen påbörjades 1979 efter flera års förberedelser i en projektgrupp på Lantmäteriet kallad PRAG (Projektgruppen för RiksAvvägningens Genomförande). Gruppens uppgift var att strukturera arbetet och skapa en komplett digital produktionslinje, från rekognosering av punkter till arkivering av resultaten. Det kan poängteras att i slututjämnningen har avvägningar gjorda åren 1977 och 1978 också använts, då dessa hade genomförts enligt de riktlinjer som PRAG-gruppen hade fastställt.

På grund av ekonomiska prioriteringar har projektets färdigställande fördröjts, och så sent som under sommaren 2001 gjorde de sista mätningarna. Därefter har ommätningar skett i svagare delar av nätet fram till 2003, då de sista mätningarna gjordes som ligger till grund för det nya nationella höjdsystemet RH 2000. Höjdsystemet blev färdigberäknat under 2005.

3 Från planering till arkiv

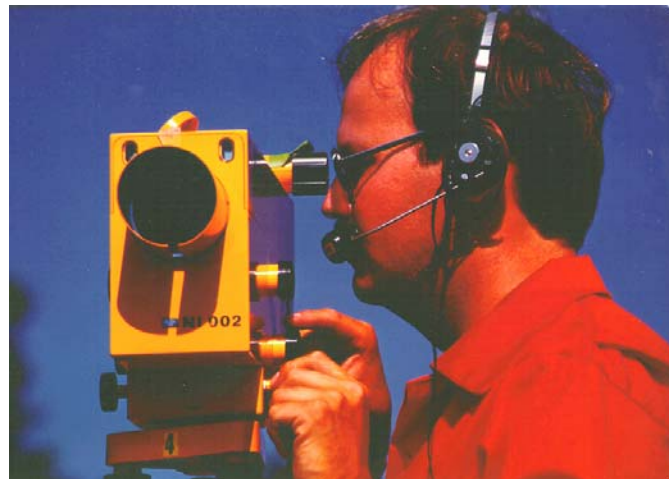
3.1 Planering i samråd med användarna

Nätutformningen byggde på ett antal grundläggande förutsättningar. Nätet skulle så långt som möjligt omfatta hela landet och byggas upp i slutna slingor med en omkrets av ca 100 – 120 km där så var möjligt. Avståndet mellan punkterna skulle vara 1,0 – 1,2 km. För att få information om landhöjningen skulle anslutning ske till åtkomliga punkter från den andra precisionsavvägningen, vilket krävde att vissa tåg förlades i nära anslutning till dessa sträckningar. Dessutom behövdes dessa anslutningar för att kunna utföra de regionvisa utjämnarna i system RHB 70, se kap. 3.5.

Ett av huvudsyftena med riksavvägningen var att skapa anslutningsmöjligheter för lokala höjdnät, och även i övrigt vara till bästa nytta för lokala/regionala användare. Nätuppbyggnaden skedde därför i nära samråd med kommuner och andra myndigheter och intressenter. Förslag till tågsträckning skickades till dessa aktörer för synpunkter, och vid den slutliga nätutformningen kunde, bortsett från de grundläggande restriktionerna, stor hänsyn tas till användarnas synpunkter. I samband med markeringsarbetet kontaktades sedan användarna för diskussioner angående tågsträckningen på detaljnivå. Uppgifter om lokala fixpunkter samlades in för att man om möjligt skulle kunna använda sådana punkter i nätet, och på så sätt ansluta de lokala näten direkt. Genom denna process anpassades det nya höjdnätet så väl som möjligt till användarnas behov.

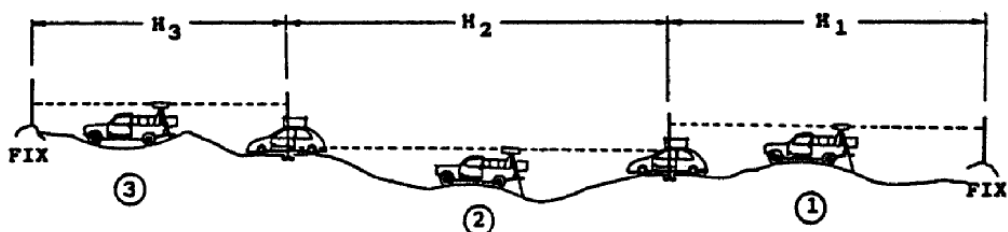
3.2 Mätmetodik för riksavvägningen

I början av 1970-talet utvecklades i dåvarande Östtyskland den motoriserade avvägningstekniken som innebar en rationalisering av avvägningsarbetet. Genom att förflytta sig med bilar vid mätningen hade man kunnat öka produktionen väsentligt, och med det nyutvecklade avvägningsinstrumentet NI002 från Carl Zeiss Jena, som var anpassat för motoriserad avvägning, kunde också själva mätningen göras betydligt snabbare än tidigare. Instrumentet har ett 360 grader vridbart okular, som tillåter syftning horisonten runt från samma observatörsposition, se figur 4. Alla funktioner är dubblerade för att enkelt kunna nås från båda sidor av instrumentet. NI002 är ett pendelinstrument där pendeln kan vridas 180 grader. Vid mätning i instrumentets båda pendellägen ger medeltalet en quasiabsolut horisont, och kollimationsfelet elimineras i princip. NI002 är ett mycket robust och noggrant instrument, och har använts under hela riksavvägningen. Hela nätet har för övrigt mätts med samma typ av utrustning och samma metodik, vilket är en stor fördel då nätet därigenom även i detta avseende håller en homogen kvalitet.



Figur 4: NI 002-instrumentet

Jean-Marie Becker, Lantmäteriet, gjorde 1973 ett studiebesök hos Prof. Peschel i dåvarande Östtyskland för att se om den motoriserade tekniken kunde användas också i Sverige (Becker, 1973). Becker insåg snabbt teknikens potential, och under hans ledning vidareutvecklades tekniken i Sverige under åren 1974 - 1975, då testmätningar kunde göras för första gången. Därefter utvecklades tekniken ytterligare. En mätenhet bestod av fyra personer och tre bilar, en liten pickup som instrumentbil och två mindre personbilar som stångbilar, se figur 5. Eftersom bilarna var tvungna att kunna passera varandra under mätningen var det en fördel att använda små bilar, då mätning ofta skedde på smala vägar. Instrumentbilen var försedd med en elektrisk domkraft för att lyfta och sänka stativet, som vid mätning stod fritt från bilen. Genom att observatören stod på bilflaket vid mätning var instrumenthöjden ca 2.1 m mot normalt 1.5 m vid t.ex. fotavvägning, vilket gjorde att refraktionsproblemen i det närmaste eliminerades.



Figur 5: Motoriserad avvägning under tre uppställningar

Internkommunikation fanns mellan observatören och föraren som lagrar alla data i en handdator. Alla bilar var utrustade med digitrip, som ger jämna syftlängder. Den maximala siktlängden var satt till 50 meter. Den genomsnittliga siktlängden i nätet är ca 35 meter.

Genom att instrumenthöjden vid mätning var ca 2.1 m, har speciellt tillverkade 3.5 m långa centimetergraderade invarstänger använts för att kunna uppnå acceptabla syftlängder. För att undvika syftning nära marken med ökad refraktionsinverkan, saknar invarbandet gradering de nedersta 50 cm, se figur 6. Vid anslutning till fixpunkterna användes en separat 3.0 m invarstång.



Figur 6: Avvägningsstång med nedersta 50 cm utan skalstreck



Figur 7: Komparering i lantmäteriets komparator

Alla stänger har kalibrerats varje år före och efter fältarbetet med Lantmäteriets komparator, se figur 7. Alla stångavläsningar har efter fältarbetet korrigerats linjärt med avseende på tiden enligt de tabeller som har upprättats efter vår- och höstkalibreringarna.

Varje invarstång var utrustad med två skalor och stångavläsningarna på fält gjordes enligt ett uppgjort schema enligt följande:

- Avläsning 1: Bakåt stång, vänster skala

- Avläsning 2: Framåt stång, vänster skala
- Avläsning 3: Framåt stång, höger skala
- Avläsning 4: Bakåt stång, höger skala.

Mellan avläsning 2 och 3 skiftades pendelläge i instrumentet. Även distanstråden avlästes under mätningsproceduren. De två höjdskillnaderna som kunde beräknas ur vänster respektive höger skala fick inte skilja sig med mer än 0.4 mm. I sådana fall gjordes nya avläsningar. En uppställning tog i genomsnitt mindre än 2 minuter inklusive förflyttningen av bilarna. Eftersom all mätning har utförts från bilarna så har mätproceduren kunnat optimeras vad gäller tidsåtgång (Becker, 2002).

Alla mätningar har utförts tur och retur, under olika dagar, helst under olika väderförhållanden, och med olika observatörer, för att så långt som möjligt undvika korrelation och systematik i mätningarna. Genom detta förfarande är det svårare att uppnå hög precision i tur- och returmätningarna, däremot ökar noggrannheten. Hög precision i tur- och returmätning ger inte automatiskt hög noggrannhet. Noggrannheten visar sig däremot i slutningsfelet på en slinga. Kassationsgränsen för skillnaden mellan tur- och returmätningen har varit $2\sqrt{L}$ (L i km), eller 2 mm för en sträcka på 1 km. Om denna gräns har överskridits har en ny tur- och returmätning gjorts. Om även denna mätning överskrider felgränsen $2\sqrt{L}$ har medeltalen av de båda tur- och returmätningarna jämförts. Om dessa medeltal har underskridit gränsen $1\sqrt{L}$ har alla fyra mätningar använts. I annat fall har ytterligare en tur- och returmätning utförts, och motsvarande jämförelser har gjorts på nytt. De mätningar som på detta sätt har kasserats har försetts med en felflagga och sparats i mätningsregistret (Lilje, 2002).

Även om motoriserad avvägning har varit en mycket effektiv teknik har andra tekniker utvecklats och testats. Bland dem som det spenderades mycket tid på kan nämnas motoriserad trigonometrisk avvägning (MTL). Denna teknik utvecklades för att kunna göra jämförande mätningar med en oberoende mätteknik. Tanken var också att denna teknik skulle kunna användas i starkt kuperad terräng. Tekniken har visat sig vara noggrann och effektiv men tekniskt krävande. Att bygga en produktionslinje med denna teknik visade sig inte vara kostnadseffektivt, varför den har fått begränsad användning i riksavvägningen (Becker, 1988).

3.3 Markering

En stor svaghet i de äldre höjdnäten var, förutom bristande noggrannhet i mätningarna, de bristfälliga punktmarkeringarna. Fixpunkterna representerar höjdnätet på marken, och om de inte är entydiga och stabila spelar det ingen roll hur noggranna mätningar

man har utfört. Eftersom mycket möda har lagts ner på att åstadkomma mätningar med så hög noggrannhet som möjligt i riksavvägningen måste också punktmarkeringarna motsvara samma noggrannhetskrav. I första hand har bergmarkeringar eftersträvats och i andra hand jordfasta stenar. I vissa fall har även husgrunder och brofästen använts som underlag för fixpunkterna. Markeringen utgörs alltid av en dubb med en entydig högsta punkt, i de flesta fall av syrafast rostfritt stål, se figur 8. På sträckningar där berg inte har varit åtkomligt, har med jämna mellanrum markerats så kallade underjordiska fixpunkter som utgörs av järnstänger som drivs ner till fast botten inuti ett yttre rör. Detta för att säkerställa tillgången på stabila punkter även i områden där markeringsförhållandena är dåliga. I det nya riksnätet finns mer än 50 000 punkter. Av dessa är:

- 36 % markerade i berg
- 54 % i jordfasta stenar
- 6 % i husgrunder, broar eller liknande
- 4 % underjordiska punkter



Figur 8: En vanlig markering i RH 2000-nätet

Avståndet mellan punkterna längs avvägningslinjerna är ca 1 km, något kortare i tätorter och i starkt kuperad terräng. Punktbeskrivningar har upprättats för alla punkter, med innehåll enligt fastställda normer för att ge relevant och entydig information om punkterna. Punktnummeringssystemet är uppbyggt på dåvarande ekonomiska kartans bladindelning och säkerställer en unik identitet för alla punkter. All information om punkterna har lagrats i en databas (punktregistret) varifrån punktbeskrivningar kan genereras.

3.4 Dataflödet från mätning till arkivering

Redan från början skapades en produktionskedja som skulle innehålla så få manuella moment som möjligt. För att skapa denna produktionskedja krävdes en hel del teknikutveckling. Produktionskedjan bestod av en mängd olika dataprogram, från insamling av data fram till utjämning och beräkning av höjder. Alla

mätningar har lagrats i handdatorer sedan 1981, då ett mätprogram utvecklades för den första generationens handdatorer. Handdatorerna har under åren bytts ut flera gånger medan mätprogrammet i stort sett har varit oförändrat under projektet. Programmet var tämligen omfattande och en mängd kontroller utfördes för varje instrumentuppställning för att eliminera risken för fel i mätningarna. Förutom mätvärdena, som instrumentoperatören rapporterade via headset till bilföraren, samlades också en mängd andra uppgifter in angående mätningen, se figur 9. Att inte operatören av instrumentet själv behövde registrera mätvärdena effektiviserade produktionen och höll alla i mätlaget aktiva under en uppställning. I stångbilarna registrerades temperaturen på stängernas invarband på två ställen för varje syftning mot stången. Dessutom registrerades bland annat uppgifter om vägunderlag och väder för varje uppställning.

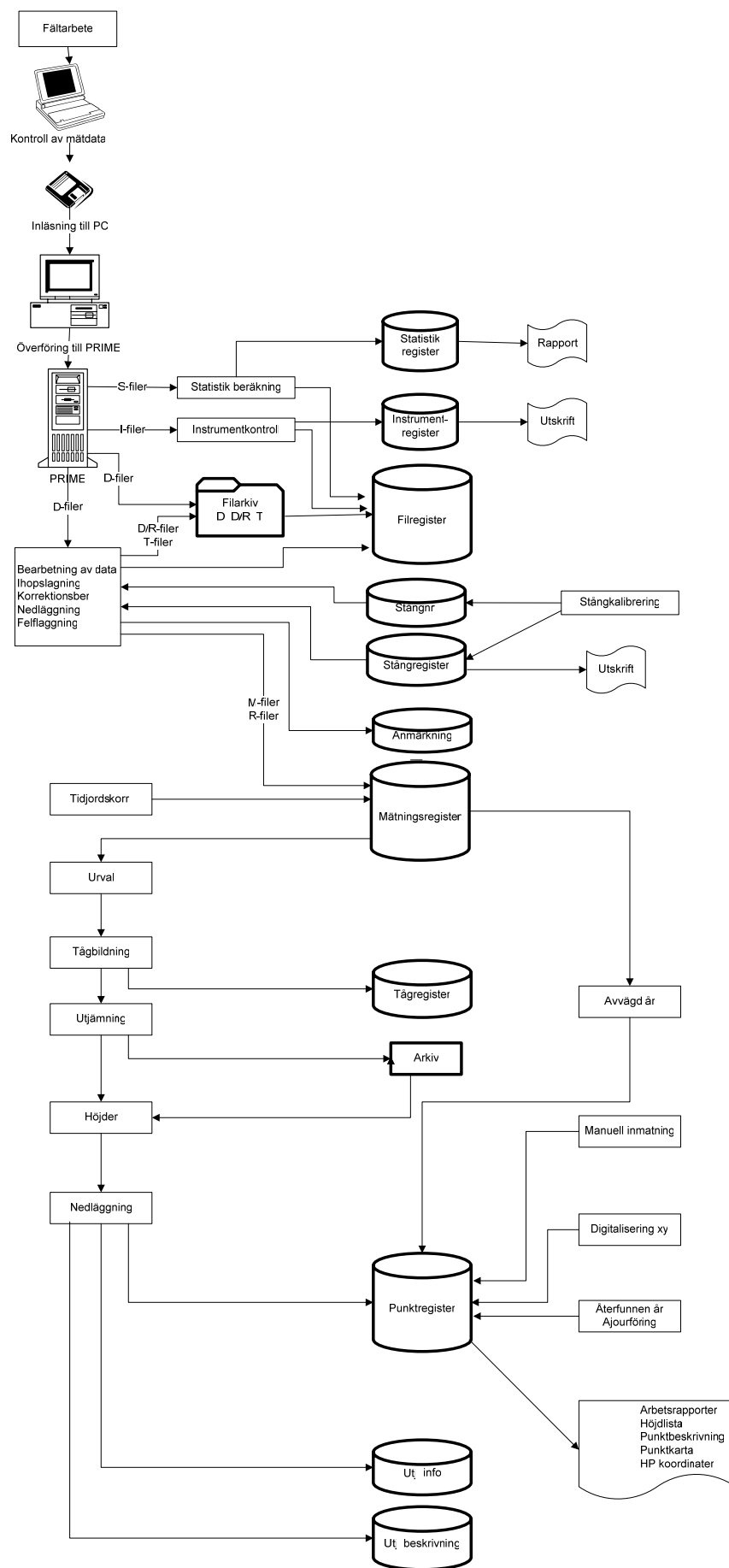


Figur 9: Information lagras i datastacken

Varje kväll tömdes innehållet i de tre handdatorerna till en dator, varefter ett matchningsprogram säkerställde att de tre datafilerna överensstämde. I samband med detta skapades en rättningskopia av respektive rådatafil, som således alltid är oförändrad. Efter matchningen skapades en resultatfil som sedan lagrades i en databas (mättningsregistret) vid huvudkontoret i Gävle. Innan bärbara datorer fanns, lästes datafilerna över till magnetband som skickades till lantmäteriet för inläsning till en PR1ME-dator, där de sedan bearbetades under vintern. Alla filer arkiverades, såväl rådata som rättningskopior och resultatfiler. Detta säkerställer spårbarheten av utförda ändringar i mätningarna, se figur 10.

Alla mätningar påfördes efter fältarbetet korrektioner för jordkrökning, temperatur och stånglängd samt tidjord. Dessa korrektioner har sparats separat för varje mätning i mättningsregistret. Därigenom kan höjdskillnader redovisas utan eller med valfria korrektioner. I mättningsregistret finns cirka 50 olika uppgifter för varje mätt höjdskillnad. Även mätningar som av olika

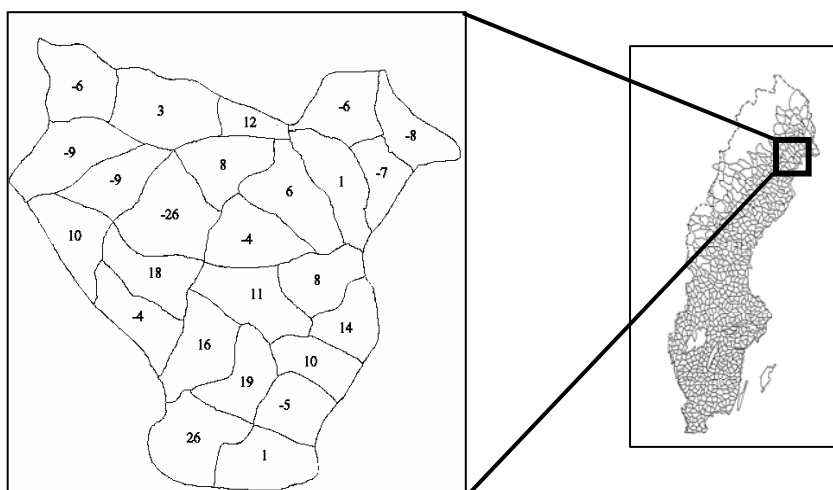
skäl är felaktiga sparas i mättningsregistret med en felflagga beroende på felets orsak. Totalt har projektet resulterat i ca 145 000 mätningar mellan två fixpunkter i mättningsregistret. De olika typerna av uppgifterna i mättningsregistret liksom vilka felflaggor som har använts finns redovisade i bilaga 3 respektive bilaga 4.



Figur 10: Produktionslinjen, översikt

3.5 Beräkning av höjder i system RHB 70

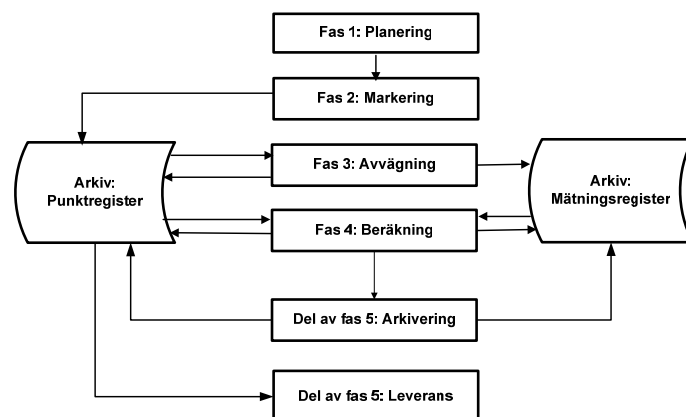
Eftersom hela projektet från början var tänkt att ta 10 år att genomföra, skulle användarna få vänta minst 10 år innan resultatet av mätningarna blev tillgängligt. Detta var naturligtvis oacceptabelt, och det beslöts därför att under projektets gång göra regionvisa utjämnningar i system RH 70. Genom att nya tåg hade förlagts till samma sträckningar som den andra precisionsavvägningen för att ansluta punkter från denna, fanns många gemensamma punkter. Beräkningsregionerna utgjordes därför av de nya mätningarna längs de äldre precisionslinjerna samt det nymätta innanmätet i dessa polygoner. Ett sådant område innehöll i genomsnitt 2 000 – 3 000 punkter, och i princip kunde en region beräknas varje år, se figur 11. Genom att först göra en fri utjämnning kunde man fastställa vilka punkter från den andra precisionsavvägningen som var stabila. Dessa punkter med höjder i RH 70 hölls sedan fasta i en ny utjämnning. Alla nypunkter liksom övriga äldre punkter nybestämdes. För att visa att dessa höjder härrör från riksavvägningen med en helt annan kvalitet än äldre punkter från linjeavvägningen, och inte okritiskt bör blandas med andra höjder i RH 70, gavs höjder från dessa utjämnningar beteckningen RHB 70. Användarna kunde på detta sätt successivt få tillgång till resultaten av mätningarna senast ett år efter fältarbetet.



Figur 11: En region för RHB 70 bestämning

3.5.1 Produktionslinjens fem faser

Det går att beskriva den använda produktionslinjen genom en indelning i fem faser synkroniserade över tiden, se figur 12 och 13. I punktregistret lagrades alla uppgifter om punkterna, medan mätningsregistret innehöll all information om mätningarna. I det sistnämnda fanns mätningarna lagrade per fixhåll.



Figur 12: De olika faserna som genomgås vid mätning i en region.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	
År 1									Fas 1				
År 2	Fas 1			Fas 2					Fas 3				
År 3	Fas 3			Fas 4						Fas 5			
År 4	Fas 5												

Figur 13: De olika faserna som genomgås vid mätning i en region sett över tiden.

Fas 1 (Första och andra året): Planering av strukturen för nätet, vilket också inkluderar kontakter med externa intressenter såsom berörda kommuner.

Fas 2 (Andra året): Under denna fas markeras fixpunkterna. I samband med markeringsarbetet upprättas även koncept till punktbeskrivningarna.

Fas 3 (Andra och tredje året): Uppgifter om fixpunkterna lagras i punktregistret. Punktskisserna renritas. Förberedelser inför avvägningen i fas 4 görs.

Fas 4 (Tredje året): Mättningsarbetet utförs. Mätningarna kontrolleras i fält och lagras efterhand i mättningsregistret på huvudkontoret inför utjämnningen. För årlig statistik samt avvägningsområden från produktionen, se Bilaga 3 respektive 4.

Fas 5 (Tredje och fjärde året): Avvägningarna beräknas i RH 70 genom regionvisa utjämnningar där polygonerna från andra precisionsavvägningen definierar beräkningsområdena. Gemensamma fixar från andra precisionsavvägningen hålls fasta (om de inte har bedömts ha rört sig) och övriga fixar får en ny höjd. Höjden noteras som en RHB 70-höjd. Hela nätet har naturligtvis senare ingått i slututjämnningen.

Denna fas innehåller även arkivering av allt material i Geodetiska Arkivet liksom leverans till berörda intressenter.

3.6 Mättnings- och Punktregrister

Alla mätningar med anknytning till riksavvägningen har sparats i ett mättningsregister. I detta register sparas alla uppgifter om varje utförd mätning mellan två fixpunkter. Totalt finns cirka 50 olika uppgifter för varje mätning, se bilaga 1. Det har från början av projektet funnits klara regler för hur olika typer av mätningar ska hanteras, men eftersom projektet har pågått under lång tid har det varit svårt att vara konsekvent och strikt följa de uppsatta kriterierna. Genom att synsättet har varierat något genom åren har värderingen av olika mätningar gjorts på något olika sätt, och mätningarna har i vissa fall kommit att behandlas därefter.

Mättningsregistret låg till strax före projektets avslutande i Infobaser i PR1ME. Där var möjligheterna att göra utsökningar och matcha olika uppgifter mycket begränsade jämfört med hur moderna databashanterare arbetade vid projektets slut. Det var i den tidigare miljön svårt och tungarbetat att i efterhand upptäcka om data i något avseende hade blivit felaktigt behandlat.

På motsvarande sätt som i mättningsregistret fanns ett punktregister där all information om punkterna som har anknytning till projektet är lagrad.

Mättnings- och punktregistret är hjärtat i produktionssystemet, varifrån all data hämtas vid alla former av bearbetning. För att kunna säkerställa kvaliteten på den insamlade informationen inför slututjämnningen, var det nödvändigt att kritiskt granska mättningsregistrets innehåll. Det var nödvändigt att också se över punktregistret så att det matchade det kvalitetssäkrade mättningsregistret.

Inför slututjämnningen av hela nätet genomfördes därför under 2001 ett omfattande städningsarbete i registren varvid en överföring från ursprungliga databashanteraren Btrieve till Microsoft Access startades. Dessutom kopplades MapInfo till Access vilket innebar ett grafiskt stöd till databaserna. Arbetet genomfördes som en del i ett projekt med namnet "Riksavvägningen - Preliminärberäkning". Det kan noteras att alla inblandade underskattade hur arbetskrävande städningsarbetet skulle bli och arbetet blev betydligt mer omfattande än vad som förutsågs.

3.7 Övriga arkiv

Som visas i figur 10 så finns det ett antal arkiv utöver mättnings- och punktregistret. Bland dessa kan nämnas filarkivet, stångarkivet, och instrumentarkivet. Alla arkiv hade sin naturliga plats i produktionslinjen och var nödvändiga för att arbetet skulle ske så

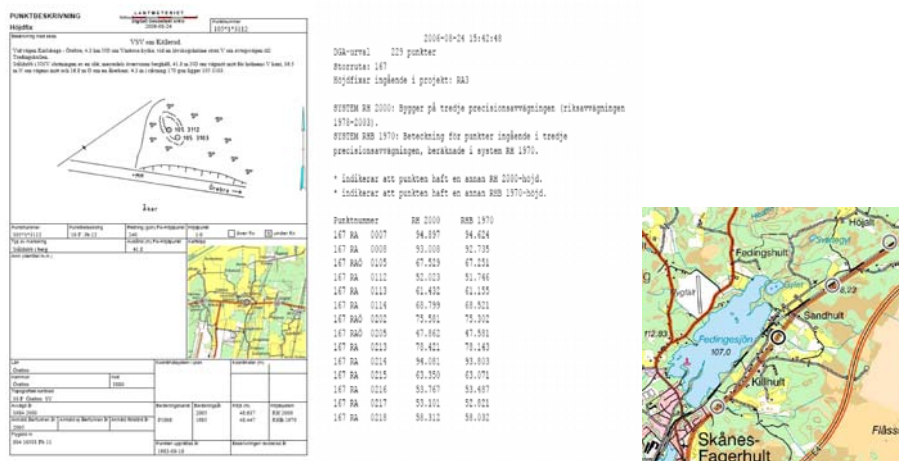
effektivt som möjligt. Arkiven hanterades så likartat som möjligt vad gäller datormiljö för att underlätta underhåll av dem.

3.8 Produkter från geodetiska arkivet

Lantmäteriet förvaltar ett geodetiskt arkiv där information om punkter i de nationella geodetiska referensnäten hanteras För riksavvägningen, och de tidigare höjdsystemen, innebär det att all information som berör en fixpunkt finns tillgänglig i geodetiska arkivet. Informationen kan levereras i flera olika format där de vanligaste är

- Punktbeskrivning
- Höjdlista
- Punktkarta

Materialet för de moderna höjdsystemen RH 2000 och RH 70 finns i digital version och tillgänglighet kommer att finnas via Internet. Nedan finns exempel på dessa produkter.



Figur 14: Punktbeskrivning, höjdlista och punktkarta

4 Systematiska effekter

Avvägning är en mätmetod där en felkälla av systematisk karaktär kan få stora konsekvenser. Anta att vi avväger en linje från Ystad till Haparanda. Det behövs ungefär 40 000 uppställningar för att genomföra avvägningarna eftersom vi mäter tur och retur. Om vi då av någon anledning skulle ha ett enskilt systematiskt fel på endast 0.05 mm/uppställning i mätningen, som inte elimineras genom tur- och returmätning eller andra omständigheter, skulle detta fel uppgå till 2 000 mm eller 2 m när vi når Haparanda. Med tanke på detta inser vi lätt att systematiska fel i avvägning är mycket svåra att hantera, då även mycket små fel växer snabbt genom att mätproceduren upprepas så många gånger. De systematiska felen uppstår, om de finns, vid varje instrumentuppställning. I arbetet inför slututjämnningen har stora ansträngningar gjorts för att identifiera och försöka kvantifiera olika systematiska felkällor. De möjliga felkällorna är många, men eftersom de flesta effekter är små är de mycket svåra att identifiera och urskilja. Många systematiska fel tar ut varandra eller elimineras genom tur- och returmätning. Vår fokus har lagts på att genomföra undersökningar kring magnetism (undersökningen gjordes i början av projektet) samt refraktion och sättningar (undersökningarna gjordes mot slutet av projektet).

Produktionslinjen liksom utrustningen för avvägningen är uppbyggda för att minimera risken för att systematiska fel skall uppträda. Exempel på detta är att stänger kompareras före och efter säsongen, instrument kontrolleras ofta på fält, siktlängder framåt och bakåt skall vara så lika som möjligt osv. På figuren nedan syns hur stavbenens fötter är specialgjorda för att minimera effekten av att stativet sjunker under uppställningen.



Figur 15: Stativbenens fötter

Vid ommätning av slingor med ett slutningsfel större än uppsatt felgräns har i många fall en systematisk skillnad mellan den första och den andra mätningen av slingan kunnat konstateras. Den systematiska skillnaden har ofta varit begränsad till ett eller flera tåg i slingan och sedan tvärt upphört vid en knutpunkt eller vid en punkt där en ändring av de fysiska förutsättningarna ägt rum (byte av mätlag, vägbeläggning, tidpunkt på året etc.). Det har dock inte

gått att hitta någon gemensam nämnare för de olika tågen med till synes systematiska effekter. Man kan därför anta att det under vissa omständigheter då och då kan uppträda systematiska effekter av olika slag i mätdata samt att fördelningen och arten av dessa systematiska effekter är mer eller mindre slumpvis fördelat i nätet. Vidare kan man anta att de slingor som inte klarat felgränsen är sådana slingor där denna effekt varit särskilt tydlig.

Kortfattat så har det utförts en rad undersökningar av systematiska effekter. En del av dessa pekar på att systematiska effekter förekommer men inga korrekationer för dessa har kunnat tas fram. De olika undersökningarna kommer att bearbetas vidare och beskrivas mer utförligt i en separat artikel men nedan finns en kortfattad redovisning.

4.1 Refraktion

Refraktionseffekten har ansetts vara försumbar när man använder den motoriserade avvägningstekniken, framförallt beroende på att tekniken ger en relativt hög siktlinje. Därför har inte temperaturgradienten uppmätts under fältarbetet. I Finland, där man går till fots vid avvägningen, mäts temperaturgradienten vid varje uppställning och korrektion för refractionen görs enligt Kukkamäkis metod (Kukkamäki, 1938). Kukkamäki själv har även applicerat sin metod på den första precisionsavvägningen i Finland där, precis som i svenska riksavvägningen, inga observationer av temperaturgradienten gjordes. Enligt Kukkamäki kunde han på detta sätt förbättra resultatet i den första precisionsavvägningen. Bland annat med utgångspunkt från detta har en refraktionskorrektion beräknats för riksavvägningen på samma sätt som Kukkamäki gjorde med den första finska. Hela förfarandet bygger på skattning av gradienten med utgångspunkt från bland annat tid på dagen, tid på året och väderobservationer. Mer sofistikerad skulle den skattningen kunna bli om man använder en metod utvecklad av Taavitsainen på samma sätt som man i Finland gör idag för de mätningar där man saknar observationer av gradienten (Taavitsainen, 1981). Försöket med att beräkna en refraktionskorrektion för riksavvägningen resulterade inte i några märkbara förbättringar i form av sänkt grundmedelfel eller minskade slutningsfel. Däremot infördes, inte helt oväntat, en skalfaktor som tog sig uttryck i att de beräknade höjderna ökade med upp till 15 mm för de högst belägna punkterna i nätet. Dessa korrekationer har dock inte använts vid slutberäkningen. Taavitsainens metod har inte testats.

4.2 Magnetism

Jordmagnetismens påverkan på avvägningssinstrumenten var ett ämne som diskuterades flitigt i början på 1980-talet. Då framkom att pendeln i de instrument (Zeiss NI002) som användes kunde påverkas av jordens magnetfält. Många undersökningar gjordes och bland annat uppmättes felets storlek i mm/km för alla svenska instrument i bruk. Efter 1984 kunde tillverkaren garantera att alla nytillverkade instrument skulle vara fria från denna effekt. Resultaten från testerna av de svenska instrumenten har i efterhand letats fram, och korrektioner har beräknats för varje mätt sträcka där så har varit möjligt. På grund av osäkerheten i underlaget, och att de korrektioner som har kunnat beräknas blev mycket små, har de inte applicerats på mätningarna.

4.3 Sättningar

Sättningseffekter kan studeras genom att analysera höjdskillnaderna som kan beräknas utifrån de två olika skalorna, antingen vid en uppställning (δ) eller på en tur och retur-mätning för hela fixhållet (ρ). Detta har gjorts vid flera tillfällen, bl.a. vid ett doktorsarbete på Kungliga Tekniska Högskolan (Egeltoft, 1986) och vid ett examensarbete vid samma högskola (Shah, 2006). Bägge avhandlingarna har studerat om det finns systematiska skillnader av höjdvärdena baserade på de olika skalorna och kommit fram till att skillnaden är systematiskt skild från noll, dvs. vänster skala och höger skala ger inte samma höjdskillnad, samt att detta framförallt borde bero på sättningar. Genom att alla mätningar görs i båda riktningarna elimineras sättningseffekten till största delen.

5 Felsökningsmätning

Vartefter mätningarna har framskridit har ett antal slingor i nätet visat sig ha oväntat stora slutningsfel. En felgräns som bedömdes vara rimlig i detta sammanhang var $2.4\sqrt{L}$ mm (L i km). På motsvarande sätt som vid tur- och returmätning beslöts att mäta om de slingor som överskred denna felgräns i sin helhet innan slututjämnningen gjordes, eftersom enheten i dessa fall är en slinga. Ommätningarna påbörjades 2001, och avslutades under fältsäsongen 2003, se figur 16. I de allra flesta fall har slutningsfelet i de ommätta slingorna sjunkit. I dessa fall byttes de gamla mätningarna ut mot de nya i hela de ommätta slingorna. Även de omgivande slingorna har överlag förbättrats genom ommätningarna. Grundmedelfelet efter utjämnning sjönk också vartefter felsökningsmätningarna ersatte de äldre mätningarna.

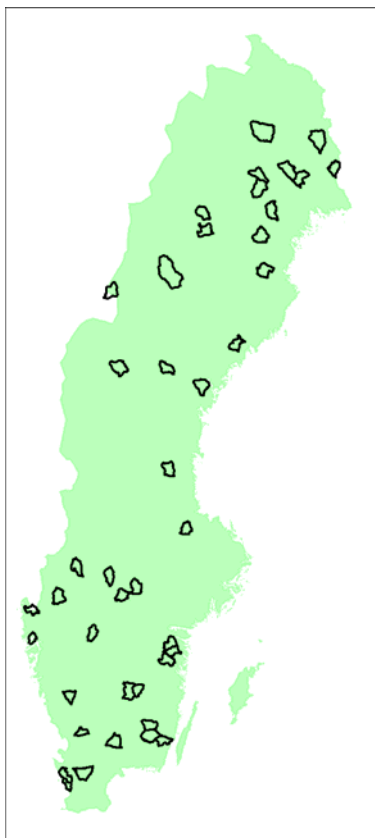


Bild 16. Omavvägda slingor på grund av för höga slutningsfel

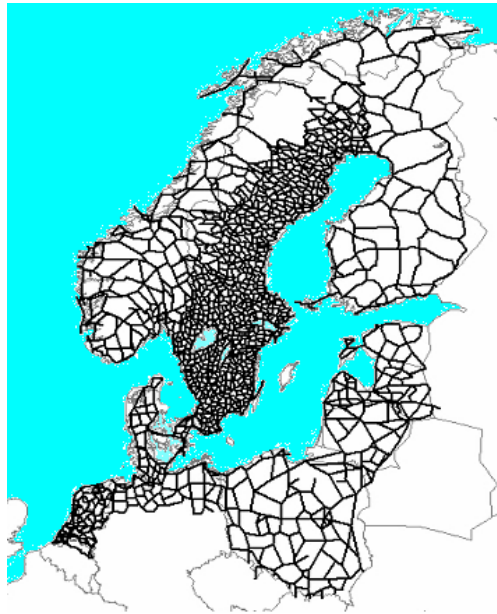
De ommätta slingorna har efterhand analyserats för att om möjligt ge besked om orsakerna till de stora slutningsfelen, men ingen enskild orsak har tydligt kunnat pekats ut.

6 Slutberäkningen

För att få ett höjdsystem som harmoniserar så bra som möjligt med andra europeiska länders höjdsystem bestämdes att RH 2000 skulle beräknas som en svensk realisering av det europeiska EVRS (European Vertical Reference System). Dock kan det påpekas att på europeisk nivå finns ingen beskrivning om hur landhöjningen ska behandlas. För att reducera alla mätningar till en gemensam epok behövdes en landhöjningsmodell. Modellen NKG2005LU konstruerades för detta ändamål och det gjordes i ett Nordiskt samarbete inom ramen för NKG:s arbetsgrupp för höjdbestämmning. RH 2000 beräknades i samarbete med samma grupp men även EUREF (en undergrupp med fokus på Europa inom International Association of Geodesy) var inblandade i arbetet när det gällde att tillhandahålla avvägningsdata ur en europeisk databas.

6.1 Den Baltiska Ringen

Samtidigt som den tredje precisionsavvägningen genomfördes så höll våra nordiska grannländer på med motsvarande arbete. Även om Danmark redan flera år tidigare hade genomfört beräkningen av det danska höjdsystemet DVR 90, så hjälpte de aktivt till i arbetet med den så kallade Baltiska Ringen. För att kunna ansluta till NAP (Normaal Amsterdam Peil), som traditionellt är nollnivån i UELN (United European Levelling Network), och för att kunna bestämma relationerna till våra grannländer, bestämdes det inom NKG att utöka det nordiska avvägningsnätet med avvägningar från de baltiska länderna samt Polen, Tyskland och Holland. Finland genom det Finska Geodetiska Institutet koordinerade arbetet mot EUREF som levererade de icke-nordiska avvägningsdata från UELN-databasen. Hela nätet finns redovisat i figur 17. Tyvärr blev det aldrig möjligt att sluta den baltiska ringen med avvägningsdata runt Finska Viken genom Ryssland. Däremot har en övergång över Finska Viken gjorts baserad på annan information som GPS/Geoid och oceanografiska data vilket gör att ett slutningsfel runt Östersjön har kunnat bestämmas. Slutningsfelet är värdefullt som kvalitetssäkring av utjämning. Det bör dock påpekas att i själva slututjämningen har endast avvägningsdata använts. Vad som framgår i figur 17 är att den baltiska ringen täcker en stor geografisk yta och den landhöjningsmodell som behövs för att reducera avvägningsdata måste täcka hela ytan.



Figur 17: Den Baltiska ringen.

6.2 Definitionen av RH 2000

Som redan nämnts har mycket av arbetet med slututjämnningen skett i samarbete med NKG och så har också skett vad gäller besluten kring definitionen av de parametrar som definierar RH 2000 och utvecklingen av landhöjningsmodellen. Sverige blev tvunget att skynda på vad gäller slutförandet för att inte behöva försena RH 2000 ytterligare, vilket gjorde att skapandet av en ny landhöjningsmodell samt hanteringen av några av parametrarna fick forceras (Ågren, Svensson, 2006c). Valet av parametrar, som t.ex. för epoken, hade dock diskuterats under en relativt långt tid inom NKG och de beslut som togs ligger i linje med dessa diskussioner.

Det bestämdes att RH 2000 skulle beräknas som en svensk realisering av EVRS, och huvudanledningen var att systemet skulle harmoniseras med de europeiska systemen. Med harmonisera menas att skillnaderna mellan RH 2000 och andra Europeiska höjdsystem skall vara så liten som möjligt. Detta beslut ger automatiskt (EUREF hemsida, Ihde och Augath, 2001):

- Nollnivån ges av geopotentialen från den senaste UELN-realiseringen (EVRF 2000) för NAP. Det går att diskutera hur pass entydig definitionen av NAP är men den diskussionen förs inte här
- Normal höjder.
- Tidjorden behandlas som nolltidjord.

Ett problem med definitionen av EVRS är att det inte ges några rekommendationer om hur landhöjningen skall hanteras. Det betyder att NKG själva fick ta ställning till hur landhöjningen bäst

hanteras. Det är uppenbart att landhöjningen måste hanteras på något sätt och för definitionen av RH 2000 gäller följande:

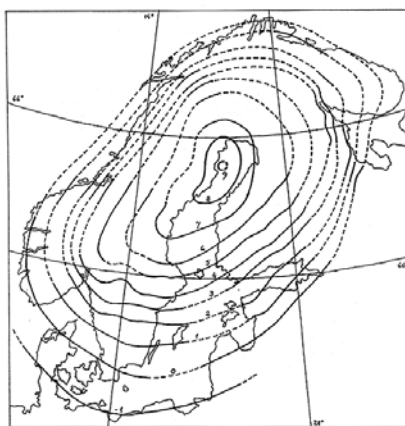
- **Referensepoken** bestämdes till 2000.0. Detta var också ett nordiskt beslut.
- **Landhöjningsmodell** är NKG2005LU. Denna beskrivs i kommande avsnitt.

Vid utjämnings av den Baltiska Ringen har samma parametrar används som för RH 2000, som dock skall anses vara ett strikt svenskt höjdsystem.

6.3 Landhöjningsmodell

Landhöjningen, som påverkar Norden, orsakas av den is som täckte området under senaste istiden. Isen var som tjockast över Norden för ca 20 000 år sedan (Lliboutry, 1999). Landhöjningen uppgår till ca 1 cm per år som mest, se figur 18. Det betyder att geodetiska projekt med hög noggrannhet och som pågår under lång tid, som riksavvägningen, blir påverkade och måste epokhanteras. För att kunna slututjämnas riksavvägningen behövdes därför en modell av landhöjningen.

Modellen som har använts vid slututjämnings är baserad på nordiskt samarbete. Till att börja med utvärderades några av de existerande modellerna för att undersöka om de kunde användas. Nästa steg blev att utveckla en ny modell som kombinerade existerande modeller (Ågren, Svensson, 2006c). Tre existerande modeller utvärderades, Ekmans modell (1996), Lambeck et al. (1998) och Vestøl (2005).



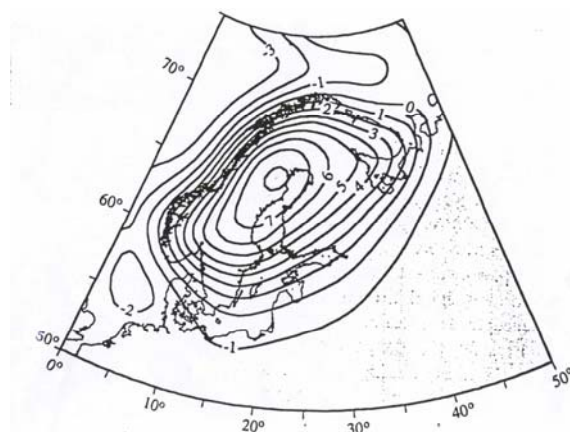
Figur 18: Landhöjningen enligt Ekman (1996).

Ekmans modell (1996) är baserad på upprepade avvägningar och den apparenta landhöjningen är bestämd vid 58 mareografer. En nackdel med modellen är att den förutom mareografdata endast utnyttjar information från första och andra precisionsavvägningarna

vilket gör att informationen om landhöjningen i inre delarna av Norden saknas nästan helt, se figur 18. Dessutom saknas information för hela det geografiska område som Baltiska Ringen täcker. Vid skapandet av modellen saknades tillförlitlig information om landhöjningen från permanenta GPS stationer. Även om modellen anses mycket bra i kustområden och där det finns upprepande avvägningar så bedömdes modellen inte vara tillräcklig för att kunna användas i samband med slututjämnningen av RH 2000.

Med en geofysisk modell försöker man beskriva landhöjningen utifrån ett fysikaliskt perspektiv och är inte nödvändigtvis baserad på mätningar. En modell av Lambeck, Smither and Ekman (1998) anses vara den bästa geofysiska modellen som är tillgänglig. Detta var den andra modellen som utvärderades. Modellen har utnyttjat information om den apparenta landhöjningen vid mareograferna, observationer gjorda vid sjöar och även gamla kustlinjer.

Modellen fanns endast tillgänglig som en mindre bild i en publikation varifrån en digitalisering av bilden gjordes. Det är denna digitaliserade version som i arbetet med slututjämnningen har benämnts Lambecks modell. Modellen finns presenterad i figur 19.



Figur 19: Landhöjningen enligt Lambeck, Smither och Ekman (1998).

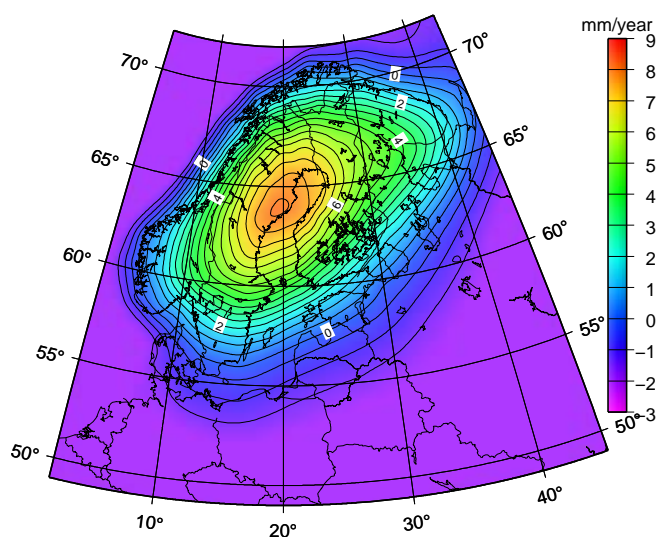
Utvärderingen av modellen har gjorts genom att studera residualer vid mareografer liksom vid permanenta GPS stationer. Resultatet visade på en systematisk effekt i de inre delarna av Norden som var upp till 1-1,5 mm/år. Främst beroende på detta bestämdes att Lambecks modell var mindre lämplig att använda. Då alternativet att själva skapa en geofysisk modell var otänkbart återstod möjligheten att utnyttja en matematisk (eller empirisk) modell eller att modifiera Lambecks modell i de områden där bättre information fanns tillgänglig.

Den tredje modellen som utvärderades var en matematisk (eller empirisk) modell, utvecklad av Olav Vestøl (Statens Kartverk,

Norge). En matematisk modell består av en matematiskt definierad yta skapad på lämpligt sätt utifrån de tillgängliga observationer som i detta fall är landhöjningen. För slututjämnningen har den aktuella modellen som fanns tillgänglig i januari 2005 utnyttjats (Vestøl 2005). Observationerna i modellen kommer från mareografer permanenta GPS stationer samt upprepade avvägningar i Norge, Sverige och Finland.

Modellen överensstämmer väl med observationerna men är inte definierad för hela den geografiska utbredningen av Baltiska ringen. För att modellen skulle kunna användas har ytan dessutom jämnats till.

Den stora fördelen med Lambecks modell är att den täcker utbredningsområdet för den Baltiska ringen på ett bättre sätt än Vestøls modell. Å andra sidan passar Vestøls modell mycket bättre över Norden än vad Lambecks modell gör med avseende på vår kännedom om landhöjningens hastighet. Därför bestämdes att en kombination av modellerna skulle vara en bra lösning för att kunna skapa en modell som täcker det aktuella området ända ner till NAP. Angående detaljer om hur modellerna kombinerades hänvisas till publikationerna Ågren och Svensson (2006b och 2006c). Den ursprungliga modellen kallades för RH 2000 LU men har senare döpts om till NKG2005LU då den har fått en mer officiell status inom NKG efter det att RH 2000 färdigberäknades. Figur 20 beskriver modellen.



Figur 20. Apparent landhöjning från NKG2005LU modellen. Enhet: mm/år.

6.4 Utjämnningen av RH 2000

I slututjämnningen av RH 2000 har *endast* avvägningssdata använts och det är samma avvägningssdata som finns inkluderade i Baltiska Ringen. Först gjordes en minsta-kvadrat-utjämnning av geopotential-skillnaderna mellan nätets 7 400 knutpunkter av vilka 5 132 är

svenska. Viktsättningen av respektive länders data gjordes av Karsten Engstager (KMS, Danmark). För de svenska avväggningsdata användes en a-priori standardavvikelse på $1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$.

Resultatet från denna utjämning, som alltså är geopotentialtal på knutpunkterna, har sedan utnyttjats som kända värden i utjämningen av de resterande fixarna i det svenska nätet. Sammanlagt har ca 50 000 punkter bestämts i RH 2000. Som ett sista steg omvandlades geopotentialtalen för fixarna till normalhöjder.

Vid en jämförelse mellan RH 2000 och RH 70 kan konstateras att skillnaden varierar mellan 7 och 32 cm, där den största delen kan förklaras med olika epoker (30 års landhöjning) och att hanteringen av den permanenta tidjorden har skett på olika sätt.

7 Införande av det nya höjdsystemet

7.1 Ajourhållning

Uppbyggnaden av det nya höjdnätet är en mycket stor investering, och värdet av investeringen representeras av de fixpunkter som har höjdbestämts i det nya systemet. Det är dessa punkter som är bärare av höjdsystemet. Genom olika former av exploatering förstörs eller försvinner höjdfixar kontinuerligt, och i takt med detta urholkas värdet av den gjorda investeringen. Samtidigt ökar användarnas kostnader, eftersom mera mätning krävs när tillgängligheten till anslutningspunkter minskar. Det är därför viktigt att den gjorda investeringen inte förlorar sitt värde. Detta säkerställs genom ajourhållning av höjdnätet.

I början av 1990-talet gjordes en undersökning av i vilken omfattning fixarna i det nya höjdnätet förstörs av olika skäl. Två provområden valdes ut, det ena i ett expansivt område i södra Sverige, och ett annat i inlandet, där exploateringsgraden förväntades vara lägre. I dessa områden inventerades alla punkter. Resultatet av undersökningen visade att i det södra området försvinner ca 1 % av punkterna per år och i det norra området cirka 0.5% per år. Eftersom nätet innehåller ca 50 000 punkter tyder undersökningen på att ungefär 250-500 punkter försvinner varje år. Under 1994 påbörjades därför en systematisk ajourhållning av höjdnätet, trots att nymätningarna ännu inte var avslutade. Om alltför många punkter hinner försvinna innan åtgärder sätts in krävs en allt större insats för att restaurera nätet. Bristen på tillgång till goda anslutningspunkter blir också otillfredsställande. Efter provinventeringen bedömdes att bortfallet inte bör tillåtas bli större än ca 15 % för att man med rimliga insatser ska kunna vidmakthålla nätets funktion.

Ajourhållningen utförs så att alla punkter i ett område besöks, varvid de förkomna punkterna ersättes med nya. Samtidigt uppdateras alla punktbeskrivningar. De nya punkterna avvägs sedan från de närmast omgivande punkterna, med sådana toleranser att de nya punkternas höjder blir av samma kvalitet som de äldre. Samtidigt kontrolleras att utgångspunkterna inte har rubbats. I sådana fall fortsätter mätningen tills överensstämmelse med de äldre mätningarna uppnås.

7.2 Förtätningmätning

Med RH 2000 får vi ett väsentligt starkare och mera homogent nationellt höjdsystem än RH 00 och RH 70 är. Det nya nätet är starkare både lokalt och regionalt, och har dessutom en tillfredsställande täckning över landet.

Naturligtvis vore det därför en fördel om man också på lokal nivå kunde dra nytta av styrkan i det nya nationella höjdsystemet. Nätet har byggts upp med avsikt att underlätta anslutning av lokala höjdnät, och tågen har lokaliserats i samråd med de lokala användarna för att uppnå en optimal utformning i detta avseende. Många lokala höjdnät har delvis anslutits i samband med riksavvägningens genomförande, genom att bra markerade lokala punkter har tagits in i riksnätet. Trots detta krävs ytterligare åtgärder för att på bästa sätt dra nytta av RH 2000.

Ajourhållningen av riksavvägningen innebär ingen expansion av riksnätet utan syftar endast till att vidmakthålla nätet på ursprunglig nivå, d v s nya punkter anläggs i princip endast om äldre punkter har förkommit. Däremot kan en särskild förtätning av riksnätet bli aktuell t ex i de fall lokala höjdnät saknar anslutningsmöjligheter. Trots de ansträngningar som gjordes i samband med uppbyggnaden av nätet kunde inte alla tätorter nås med riksavvägningen. En sådan förtätning blir således selektiv, och genomförs inte generellt. Förtätningstågen utjämnas separat med punkter från riksavvägningen som utgångspunkter.

7.3 Kvalitetskontroll och upprätning av lokala system

De mätningar som har gjorts i lokala höjdnät är ofta av god kvalitet, även i äldre nät. Många nät är dock bristfälligt anslutna, huvudsakligen på grund av att tillgången till tillfredsställande anslutningspunkter har saknats. Endast i områden där man har kunnat ansluta till de äldre precisionsavvägningarna har någorlunda goda anslutningsmöjligheter funnits. Detta har ofta inneburit att mätningarna har tvingats in på dåliga anslutningspunkter, och därmed deformerats. För att säkerställa kvaliteten i de lokala höjdnäten krävs därför att näten ansluts fullständigt till och utjämnas i RH 2000. Därefter kan eventuella deformationer analyseras. Om inga deformationer finns kan ett relationstal till RH 2000 bestämmas, och man kan sedan med hjälp av relationstalet använda det nya nationella systemet. Om det däremot visar sig att deformationerna är så stora att man tvingas byta ut höjderna i delar av nätet, bör man överväga att helt övergå till RH 2000, eftersom själva arbetet med utbyte av höjder är det samma oavsett till vilka höjder man byter. Det är också denna process som är den mest krävande för användaren.

I många kommuner används olika höjdsystem i olika kommundelar, vilket kan innebära stora olägenheter, särskilt i de fall där de olika näten möts. I dessa fall kan man inte ha ett relationstal, utan det krävs ett relationstal för varje nät. Detta gäller i princip också där man har flera olika nät anslutna till RH 00, på grund av de lokala och

regionala svagheter i detta system. För att undvika dessa olägenheter är ett enhetligt höjdsystem inom kommunen att föredra.

7.4 Råd och stöd från LMV

För att i möjligaste mån underlätta för användarna att på bästa sätt dra nytta av det nya höjdsystemet, har Lantmäteriet utarbetat ett åtgärdsprogram som syftar till att analysera de lokala näten, för att sedan övergå från lokala system till RH 2000. Här ingår alla de arbetsmoment som krävs för ett sådant systembyte. Lantmäteriet svarar i första hand för utjämning, analys och förslag till åtgärder, medan kommunerna ansvarar för tillhandahållande av data och utförande av de föreslagna åtgärderna. Arbetets omfattning varierar kraftigt med de lokala förhållandena, och olika åtgärder kräver olika stora insatser i de olika kommunerna. Lantmäteriet vill med detta skapa förutsättningar för att på ett effektivt sätt kunna hjälpa alla de användare som så önskar att övergå till det nya höjdsystemet, för att därmed höja kvaliteten och effektivitet i det framtida arbetet i de lokala höjdnäten.

Publikationer med anknytning till riksavvägningen och RH 2000

Nedan följer ett försök att sammanställa publikationer som har anknytning till det genomförda projektet och det nya höjdsystemet.

Becker J-M (2002): Levelling over the Öresunds Bridge at the millimetre level, Presented at *FIG XXII International Congress*, April 19-26, Washington, USA, 2002.

Becker J-M, Lilje M, Olsson P-A, Erikson P-O (2002): Motorised levelling - the ultimate tool for production of classic national height networks. In Drewes, Dodson, Fortes, Sánchez, Sandoval (eds): *Vertical Reference Systems*, IAG, IAG Symposium 124, 137-141, Cartagena.

Becker P-O (1999): History and Evolution of Height Determination Techniques Especially in Sweden, Presented at *Geodesy and Surveying in the Future, The Importance of Heights*, March 15-17, ISSN 0280-5731, LMV-Rapport 1999:3, Gävle, Sweden, 1999.

Becker J-M, Lilje M, Eriksson P-O (1998): Tredje Precisionsavvägningen, SINUS 1998:4, 1998.

Becker J-M, Lilje M, Eriksson P-O (1998): The Establishment of the Third Precise Levelling Network of Sweden, Presented at *FIG XXI International Congress*, July 19-25, Brighton, United Kingdom, 1998.

Becker J-M (1997): Riksavvägningsarbeten i Sverige under perioden 1974 - 1995, ISSN 0280-5731, LMV-rapport 1997:2, Gävle, 1997.

Becker J-M, Lithén T Nordqvist A (1988):: Experience of Motorized Trigonometric Levelling (MTL)-a comparison with other techniques, ISSN 0280-5731, LMV-Rapport 1988:23, Gävle, 1988.

Becker J-M, Lithén T Nordqvist A (1988): Erfarenheter med motoriserad trigonometrisk höjdbestämningsteknik (MTL) - jämförelser med övriga tekniker, ISSN 0280-5731, LMV-Rapport 1988:12, Gävle, 1988.

Becker J-M, Lithén T (1986):: Nivellement indirect motorise (MTL) & technique motorise XYZ (MXYZ) en Suede, LMV-Rapport 1988:7, Gävle, 1986.

Becker J-M, Lithén T (1986): Motorized Trigonometric Levelling (MTL) and Motorized XYZ Technique (MXYZ) in Sweden, LMV-Rapport 1986:6, Gävle, 1986.

Becker J-M (1985): Automatisering och Motorisering av Avvägningsarbeten - nuvarande teknik och framtidsutsikter, ISSN 0280-5731, LMV-Rapport 1985:8, Gävle, 1985.

- Becker J-M (1985):: The Swedish experience with motorized levelling - new techniques and tests, LMV-Rapport 1985:7, Gävle, 1985
- Becker, J-M (1984): Uppbyggandet av Sveriges nya riksnät i höjd. LMV-rapport 1984:1, Gävle, 1984.
- Becker J-M (1973): Den motoriserade avvägningen, Meddelande nr: D 20, Stockholm, 1973
- Brook I (1979): The Third Precision Levelling of Sweden, Presented at *The General Assembly of IAG, Canberra, Dec 1979*, LMV-rapport 1979:9, Gävle, 1979.
- Ekman M (1995): Slutberäkningen av Sveriges tredje precisionsavvägning - försök till problembeskrivning i nordiskt perspektiv, ISSN 0280-5731, LMV-rapport 1995:20, Gävle, 1995.
- Enhetligt Geodetiskt Referenssystem (2003): Infoblad n:o 3 Nytt höjdsystem. SKMF, Sinus, nr 4 2003, pp 24-25.
- Enhetligt Geodetiskt Referenssystem (2004): Infoblad n:o 7 Höjder i olika höjdsystem. SKMF, Sinus, nr 1 2004, pp 20-21.
- Egeltoft. T (1996) Data Analysis and Adjustment, Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, TRITA-GEOFOTO 1996:2, Division of Geodesy Report No 1040, 1996, Stockholm
- Eriksson P-O (2005): Sveriges nya höjdsystem RH 2000. In Dokumentation föredrag, KIF-SKMF, KIF MätKart 05, May 11-13 2005, pp 1b:2:1-1b:2:7, Göteborg.
- Eriksson P-O (2003): Riksavvägningen - Sveriges tredje precisionsavvägning 1979-2003, Sveriges Kart- och mätningstekniska Förening, 21-23 maj, 2003, Norrköping, Sverige
- Eriksson P-O, Lilje M, Olsson P-O, Svensson R (2002): Validation and Preparation of Data for the Computation of a New Height System in Sweden, Presented at *FIG XXII International Congress*, April 19-26, Washington, USA, 2002.
- Eriksson P-O (1999): Requirements on the Height Benchmarks in the Third Precise Levelling of Sweden, Presented at *Geodesy and Surveying in the Future, The Importance of Heights*, March 15-17, ISSN 0280-5731, LMV-Rapport 1999:3, Gävle, Sweden, 1999.
- Kasser M & Becker J-M (1999): Error sources in high precise levelling -How to minimise their effects on the heights. In Lilje (ed): *Geodesy and Surveying in the future - the Importance of Heights*, Proceedings, Lantmäteriet, Reports in Geodesy and Geographical Information Systems, 1999:3, 213-221, Gävle.
- Lilje M, Mäkinen J, Engsager K, Eriksson P-O, Jepsen C, Olsson P-A, Saaranen V, Schmidt K, Svensson R, Takalo M, Vestöl O, Ågren J (2005): Nordic height systems and the Baltic loop. IAG, *Dynamic Planet 2005: Monitoring and Understanding a Dynamic Planet with*

Geodetic and Oceanographic Tools, August 22-26 2005, Cairns, Australia, 2005.

Lilje M, Olsson P-A, Eriksson P-O (2004): Nytt nationellt höjdsystem. SLF, Nya lantmätaren, 1/04, pp 16-17, 2004..

Lilje M, Olsson P-A, Eriksson P-O (2004): Det nya nationella höjdsystemet RH 2000 klart under 2004. SKMF, Sinus, nr 1 2004, pp 6-9, 2004.

Lilje M, Olsson P-A, Eriksson P-O, Svensson R (2002): Validation and preparation of data for the computation of a new height system in Sweden. NKG, 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission, Esbo

Lilje M, Olsson P-A, Eriksson P-O, Svensson R, Nielsen S W, Schmidt K, Engsager K, Vestøl O, Saaranen V, Mäkinen J, Takalo M (2002): The Nordic height block: Status report on data transfer and calculation. NKG, 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission, Esbo.

Lilje M, Eriksson P-O, Olsson P-A, Svensson R (2002): Kvalitetssäkring av riksavvägningsdata och förberedelser för införandet av ett nytt nationellt höjdsystem, SINUS 2002:2, 2002

Lilje M, Olsson P-A, Eriksson P-O, Svensson R (2002): Minimising the error budget in the third precise levelling in Sweden. In Drewes H, Dodson A, Fortes L P S, Sánchez L, Sandoval P (eds): Vertical Reference Systems, IAG, IAG Symposium on Vertical Reference Systems, February 20-23 2001, pp 125-130, Cartagena, Colombia.

Lilje M, Eriksson P-O (2001): The Production Line used in the Third Precise Levelling of Sweden, Presented at the *International Symposium on Vertical Reference Systems*, February 21-23, 2002, Cartagena, Colombia, 2001

Lilje M & Eriksson P-O (1999): The production line used in the third precise levelling of Sweden. In Lilje (ed): *Geodesy and Surveying in the future - the Importance of Heights*, Proceedings, Lantmäteriet, Reports in Geodesy and Geographical Information Systems, 1999:3, 107-117, Gävle.

Lithén T & Eriksson P-O (1999): Motorized Trigonometric Levelling (MTL) for precise levelling - the Swedish tests and results. In Lilje (ed): *Geodesy and Surveying in the future - the Importance of Heights*, Proceedings, Lantmäteriet, Reports in Geodesy and Geographical Information Systems, 1999:3, 119-127, Gävle, 1999.

Mäkinen J, Lilje M, Ågren J, Engsager M, Eriksson P-O, Jepsen C, Olsson P-A, Saaranen V, Schmidt K, Svensson R, Takalo T, Vestøl O (2005): Regional Adjustment of Precise Levellings around the Baltic. EUREF, 2005 Symposium, June 1-4 2005, Vienna, Austria, 2005.

Mäkinen J, Lilje M, Engsager K, Eriksson P-O, Olsson P-A, Saaranen V, Schmidt K, Svensson R, Takalo M, Vestøl O, West-Nielsen S (2002): The Nordic height block: Status report. In Poutanen M & Suurmäki H (eds): Proceedings of the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission, NKG, 14th General Meeting, October 1-5 2002, pp 154-159, Esbo, Finland, 2002.

Mäkinen J, Lidberg M, Schmidt K, Takalo M, Lilje M, Engsager K, Eriksson P-O, Jepsen C, Olsson P-A, Saaranen V, Svensson R, Vestøl O (2004): Future height systems in the Nordic countries, their relation to the EVRS2000 and to INSPIRE GIS standards. In Torres J A & Hornik H (eds): EUREF Publication No. 13, EUREF, 2003 Symposium, June 4-7 2003, pp 190-201, Toledo, Spain, 2004.

Sjöberg L E (1981): An analysis of systematic and random errors in the third precise levelling, LMV-rapport 1981:2, Gävle, 1981.

Vestøl O (2005): Land uplift model, Documentation - An empirical model based on levelling, tide gauges and GPS-rates, January 2005.

Widmark J, Becker J-M (1984): The motorized levelling technique - the Swedish experience, LMV-rapport 1984:15, Gävle, 1984.

Ågren J, Svensson R, Olsson P-A, Eriksson P-O, Lilje M (2006): The Swedish Height System RH 2000 as a National Realisation of EVRS, EUREF, 2006 Symposium, June 7-9 2006, Riga, Latvia, 2006.

Ågren J, Svensson R (2006): On the construction of the Swedish height correction model SWEN05_RH2000. NKG, 15th General Meeting, May 29-June 2 2006, Copenhagen, Denmark.

Ågren J, Svensson R (2006): Land uplift model and system definition used for the RH 2000 adjustment of the Baltic Levelling Ring. NKG, 15th General Meeting, May 29-June 2 2006, Copenhagen, Denmark.

Ågren J, Svensson R (2006): System definition and postglacial land uplift model for the new Swedish height system RH 2000. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2006:X (in print), Gävle

Referenser

Becker J-M (1973): Den motoriserade avvägningen, Meddelande nr: D 20, Stockholm, 1973

Becker, J-M (1984): Uppbyggandet av Sveriges nya riksnät i höjd. Lantmäteriverkets Tekniska Skrifter, 1984:1, 12 pp.

Becker J-M, Lilje M, Olsson P-A, Erikson P-O (2002): Motorised levelling - the ultimate tool for production of classic national height networks. In Drewes, Dodson, Fortes, Sánchez, Sandoval (eds): Vertical Reference Systems, IAG, IAG Symposium 124, 137-141, Cartagena.

Becker J-M, Lithén T Nordqvist A (1988): Erfarenheter med motoriserad trigonometrisk höjdbestämningsteknik (MTL) - jämförelser med övriga tekniker, ISSN 0280-5731, LMV-Rapport 1988:12, Gävle, 1988.

Egeltoft. T (1996) Data Analysis and Adjustment, Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, TRITA-GEOFOTO 1996:2, Division of Geodesy Report No 1040, 1996, Stockholm

Ekman M (1996): A consistent map of the postglacial rebound uplift of Fennoscandia. Terra Nova 8: pp. 158-165.

Eriksson P-O, Lilje M, Olsson P-A, Svensson R (2002): Validation and preparation of data for the computation of a new height system in Sweden. FIG, XXII International Congress, Washington DC.

Eriksson P-O (2003): Riksavvägningen - Sveriges tredje precisionsavvägning 1979-2003, Sveriges Kart- och mätningstekniska Förening, 21-23 maj, 2003, Norrköping, Sverige

Ihde J, Augath W (2001) The vertical reference system for Europe. In JA Torres and H Hornik (Eds.) Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Tromsö, 22-24 June, 2000. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten 61: 99-101.

Kukkamäki T J (1938) Über die Nivellitische Refraktion, Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Institutes, No 25, Helsinki

Lambeck K, Smither C, Ekman M (1998): Test of glacial rebound models for Fennoscandia based on instrumented sea- and lake-level records. Geophys. J. Int. 135: pp. 375-387.

Lilje M, Olsson P-A, Eriksson P-O, Svensson R (2002): Minimising the error budget in the third precise levelling in Sweden. In Drewes H, Dodson A, Fortes L P S, Sánchez L, Sandoval P (eds): Vertical

Reference Systems, IAG, IAG Symposium on Vertical Reference Systems, February 20-23 2001, pp 125-130, Cartagena, Colombia.

Lliboutry L (1999): Quantative geophysics and geology, ISBN 1-85233-115-1, Springer Verlag, 480 pp,

Taavitsainen V-M (1981): Vertical Temperature Gradient Prediction by Second Degree Response Surface Analysis, Reports from the Finnish Geodetic Institute 81:4, ISBN 951-711-072-3, 1981

Vestøl O (2005): Land uplift model, Documentation - An empirical model based on levelling, tide gauges and GPS-rates, January 2005.

Ågren J, Svensson R (2006a): On the construction of the Swedish height correction model SWEN05_RH2000. NKG, 15th General Meeting, May 29-June 2 2006, Copenhagen, Denmark.

Ågren J, Svensson R (2006b): Land uplift model and system definition used for the RH 2000 adjustment of the Baltic Levelling Ring. NKG, 15th General Meeting, May 29-June 2 2006, Copenhagen, Denmark.

Ågren J, Svensson R (2006c): System definition and postglacial land uplift model for the new Swedish height system RH 2000. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2006:X (in print), Gävle

Bilagor

Bilaga 1: Mättningsregistret, de 50 kolumnerna

Här nedan ges en kort beskrivning av innehållet i mättningsregistret.

PF	Från punkt nr
PT	Till punkt nr
Datum	Datum för mätningen
År	Årtal för mätningen
PNyckel	Identifierare för mätningen uppbyggd av PF, PT, datum och tid för mätningen
H	Mätt höjdskillnad i m
Graderingskorrektio	Summa korrektio för graderingsfel i stängerna
Graderingsstatus	Visar om och hur graderingskorrektio är beräknad
Temperaturkorrektio	Summa korrektio för invarbandets utvidgning
Temperaturstatus	Visar om och hur temperaturkorrektio är beräknad
Instrumentkorrektio	Ej använd
Instrumentstatus	Ej använd
Krokningskorrektio	Summa korrektio för jordkrökning
Tidjordskorrektio	Summa korrektio för den permanenta tidjorden
Tidjordsstatus	Visar om tidjordskorrektio är beräknad
Distans_fram	Summa syftlängd framåt
Distans_bak	Summa syftlängd bakåt
Uppställningar	Antal instrumentuppställningar
Refraktionsparam0	Ej använd
Refraktionsparam1	Ej använd
Refraktionsparam2	Ej använd
Refraktionsparam3	Ej använd
Refraktionsstatus	Ej använd
Lufttemperatur	Luftens medeltemperatur under mätningen av sträckan
Pendelvinkel	Medelvärde för kollimationsvinkeln under sträckan
Medelfel_pendelvinkel	Medelfel för ovanstående värde
Fel2	Summan av skillnaden

	mellan vänster och höger skala
Medelfel_fel2	Medelfel för ovanstående värde
Observator	Identitet för observatör (personnummer)
Instrumentnummer	Instrumentets identitet
Stang1	Stångnummer (stång på bilen)
Stang2	Stångnummer (stång på bilen)
Stang3	Stångnummer (fixstång)
Avvägningstyp	Se bilaga
Metod	Ej använd
Felgr1	Felgräns för grova avläsningsfel per uppställning
Felgr2	Felgräns för skillnaden mellan vänster och höger skala per uppställning
Felgr3	Felgräns för jämförelse av två mätserier där Felgr2 överskridits per uppställning
Felgr4	Felgräns för maximal avståndsskillnad bak - fram per uppställning
Vag1	Det mest förekommande vägunderlaget på sträckan
Vag2	Det näst mest förekommande vägunderlaget på sträckan
Procent_vag1	Det mest förekommande vägunderlaget på sträckan uttryckt i procent av antalet uppställningar
Procent_vag2	Det näst mest förekommande vägunderlaget på sträckan uttryckt i procent av antalet uppställningar
Vader1	Den mest förekommande vädertypen på sträckan
Vader2	Den näst mest förekommande vädertypen på sträckan
Procent_vader1	Den mest förekommande vädertypen på sträckan uttryckt i procent av sträckans längd
Procent_vader2	Den näst mest förekommande vädertypen på sträckan uttryckt i procent av sträckans längd
Storningar	Kod för olika typer av störningar under mätningen. En kod kan anges

T-fil	Namn på den resultatfil där mätningen finns, uppbyggt av mätlag och datum/tid
Refraktionskorrektion	Ej använd
Felflagga	Se bilaga
XF	X-koordinat för frånpunkt i RT 90
YF	Y-koordinat för frånpunkt i RT 90
XT	X-koordinat för tillpunkt i RT 90
YT	Y-koordinat för tillpunkt i RT 90
RefKorr Kukkamaki	Refraktionskorrektion beräknad utan observationer av temperaturgradienten (se kap.4.1)
MagnetKorrektion	Korrektion för jordmagnetismens inverkan på instrumenten (se kap. 4.2)
MAPINFO_ID	Räknare för koppling till MapInfo

Bilaga 2: Avvägningstyper och felflaggor

Avvägningstyper.

I riksavvägningen har alla mätningar kodats med en avvägningstyp som anger vilket ändamålet med mätningen har varit. Avvägningstypen anges i mätprotokollet för varje mätning. Man måste alltså innan mätningen påbörjas veta vilket syftet är med mätningen.

Den normala avvägningstypen är 1, vilket säger att mätningen är en ordinär riksnätsmätning enligt de krav som gäller för dessa mätningar. Denna typ av mätningar skall normalt ingå i beräkningen.

Avvägningstyp 50 innebär att mätningen har utförts på uppdrag av extern beställare, t ex kommuner, Vattenfall, SMHI, m fl, i samband med mätningar i riksnätet. Dessa mätningar kan utgöras av separata slingor eller pikétåg. Här kan mättoleranser m m variera beroende på kundens önskemål. Denna typ av mätningar skall inte ingå i beräkningen.

Avvägningstyp 0 innebär att mätningen är en instrumentkontroll, vilka behandlas enligt ett särskilt förfarande. Från och med 1982 har instrumentkontroller lagrats i instrumentkontrollregistret och inte i mätningsregistret. Instrumentkontroller utförs från 1982 enligt ett speciellt program som kräver att avvägningstyp 0 anges. Denna typ av mätningar skall inte heller ingå i beräkningen.

Avvägningstyp 11 innebar tidigare att mätningen hade gjorts som kontroll vid anslutning till tidigare gjorda mätningar i syfte att kontrollera att inte någon punkt hade rubbats mellan mätningarna. Tyvärr har man vid mätningen ibland glömt att ange avvägningstyp 11 i mätprotokollet vid dessa mätningar, och de har felaktigt blivit åsatta avvägningstyp 1.

Kontrollmätningar i den meningen har genom åren gjorts av många skäl, och ett stort arbete har här lagts ner för att hitta dessa. Dessa mätningar har nu fått en felflagga (7) i stället. Se vidare angående felflaggning.

I början av 90-talet påbörjades en systematisk ajourhållning av riksnätet, innebärande att förkomna punkter ersattes av nya och mättes in från omgivande punkter. Av olika skäl ville man kunna separera dessa mätningar från de äldre, och de skulle därför åsättas en egen avvägningstyp. Restriktioner i fältdatorprogrammet gjorde att vi inte fritt kunde välja typ när detta arbete påbörjades. Därför valdes typ 11 för dessa mätningar eftersom den tidigare betydelsen av avvägningstyp 11 inte hade använts så som ursprungligen var tänkt. Dessa ajourhållningsmätningar skall av olika skäl inte ingå i beräkningen utan beräknas i ett andra steg.

I samband med att nätet blev färdigmätt påbörjades under år 2000 en felsökning av nätet. Vissa slingor överskrider toleransen $2.4\sqrt{L}$, och i syfte att hitta felaktiga mätningar i dessa slingor innan slutberäkningen ska göras, utförs nu ommätning av dessa slingor. Denna felsökningsmätning är också klart definierad, och det finns flera skäl att åsätta den en egen typ. För dessa mätningar valdes avvägningstyp 20. Utfallet av analysen av dessa mätningar får utvisa om de ska ingå i beräkningen.

Ur landhöjningssynpunkt vore de äldre mätningarna att föredra, eftersom de epokmässigt harmonierar bättre med omgivande slingor, och de felaktigheter som eventuellt finns inte stör landhöjningsberäkningen. Däremot speglar ommätningarna på ett bättre sätt de aktuella förhållandena på marken, vilket torde vara fördelaktigt för användarna. Detta kan lösas genom att man vid landhöjningsberäkningen använder de äldre mätningarna, för att i en andra beräkning använda de nya. För att lätt kunna byta ut mätningarna måste de motsvarande gamla mätningarna märkas på något sätt.

Principen är således att endast mätningar med avvägningstyp 1 skall ingå i beräkningen, eventuellt med tillägg av avvägningstyp 20.

Felflaggor

I mättningsregistret sparas alla utförda mätningar, även de som av olika skäl uppenbart är felaktiga. För att skilja godkända mätningar från felaktiga eller sådana som av andra skäl inte ska användas i beräkningen, åsatts samtliga mätningar en flagga (felflagga). Arbetet i delprojektet har i stor omfattning gått ut på att kontrollera och bedöma befintliga felflaggor och vid behov ändra dessa, samt att genom att anbringa nya felflaggor eliminera de mätningar som vi har velat ta bort. Där det i dokumentet talas om att en mätning har tagits bort, innebär det således att den har åsatts en felflagga enligt de kriterier som finns för felflaggor. Här nedan redovisas de flaggor som förekommer och deras innebörd.

Felflagga 0. Godkänd mätning, dvs det finns en motsvarande returmätning och mätningarna stämmer inom angivna toleranser. Om tur- och returmätningen inte klarar toleransen finns det en tur- och returmätning till som inte heller klarar toleransen. Medeltalet av de båda tur- och returmätningarna är däremot godkänt. Målet är att ha endast en godkänd tur- och returmätning för varje sträcka. Övriga mätningar ges en lämplig flagga.

Felflagga 1. Mätningen är en instrumentkontroll och behandlas på särskilt sätt. Endast instrumentkontroller från 1981 har lagrats i mättningsregistret, och dessa har åsatts felflagga 1. Därefter har instrumentkontroller lagrats i instrumentkontrollregistret.

Anledningen till felflaggningen är att felaktig avvägningstyp ibland hade angivits vid mätningen och att felflaggning kan utföras utan att mätningen behöver rättas i D/R-filerna.

Felflagga 2. Mätningen skall utgå på grund av att ett punktnummer är fel angivet. Vissa mätningar har också av andra skäl åsatts felflagga 2 i städningsarbetet.

Felflagga 3. Mätningen skall utgå på grund av att det är en mätning som inte klarar angivna toleranser, grovt fel etc.

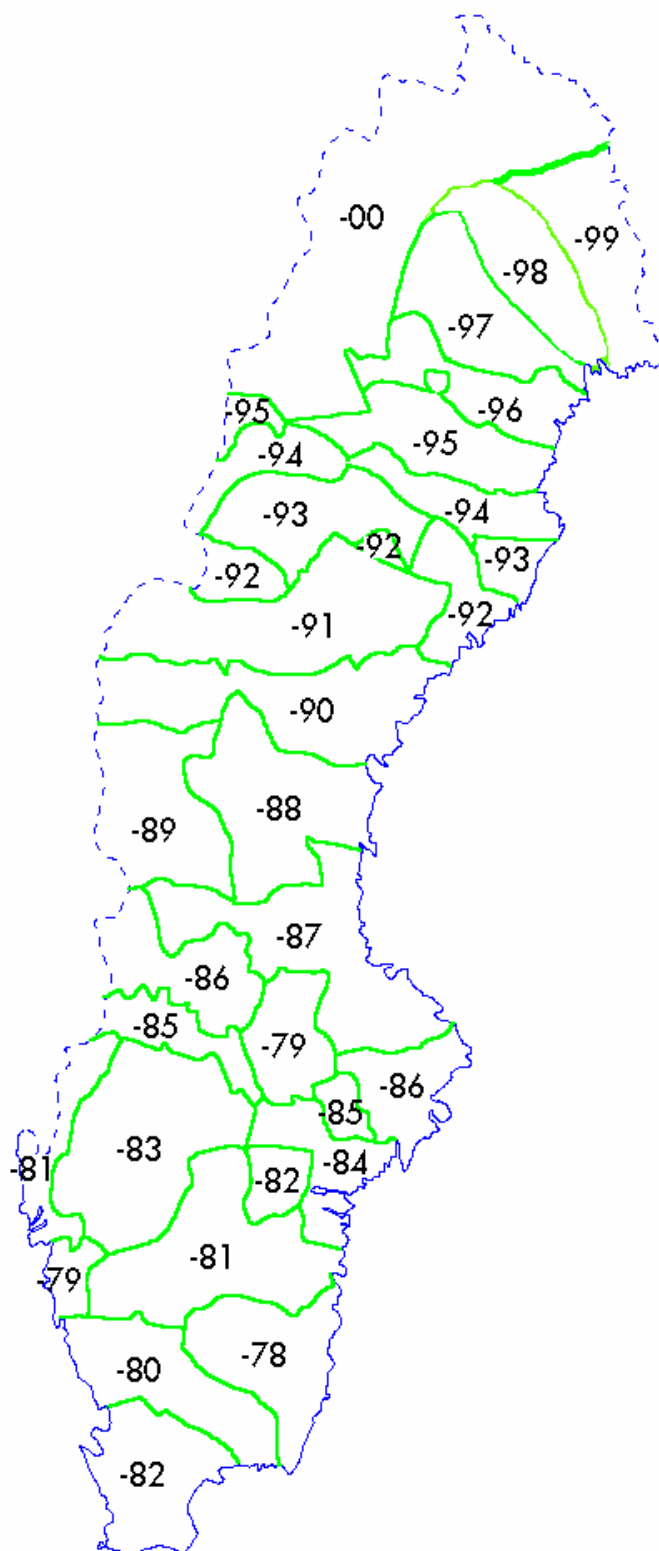
Felflagga 6. Denna flagga har tidigare åsatts äldre mätningar där senare ajourhållningsmätningar har utförts. Tanken var då att de nya mätningarna skulle ersätta de äldre i beräkningen. Denna flagga har nu ersatts med 0 (= godkänd mätning), och i stället väljs ajourhållningsmätningarna med avvägningstyp 11 bort i den första beräkningen.

Felflagga 7. Kontrollmätning av anslutningspunkter som har gjorts i syfte att kontrollera att punkter inte har rört sig, då mätningar har gjorts med långt tidsmellanrum. I dessa fall har "samma" höjdskillnad uppmätts och mätningen behöver inte användas vidare. Här är principen att endast mätningar med felflagga 0 skall ingå i beräkningen.

Bilaga 3: Årlig produktionsstatistik

År	Km totalt	Km Omavvägt	% Omavvägt	Km Netto	Totalt km/dag	Netto km/dag	Eff. Tid totalt	Eff. Tid/dag	Antal mätlag
1977	1971	134	6,8	1829	10,2	9,5			2
1978	2179	87	4	2092	10,6	10,2			2
1979	3034	393	13	2641	8,6	7,5			3
1980	4377	225	5,2	4152	9	8,5			4
1981	5491	240	4,4	5251	10	9,5			5
1982	6073	234	3,9	5839	12,3	11,8	2726	5,5	5
1983	6895	296	4,3	6599	12,4	11,8	3096	5,8	6
1984	4638	208	4,5	4429	11,7	11,2	2172	5,5	5
1985	5370	348	6,5	5022	10,7	10,0	2725	5,7	5
1986	5994	410	6,9	5584	11,7	10,9	2719	5,3	5
1987	5326	300	5,6	5026	11,3	10,6	2459	5,2	5
1988	6082	529	8,7	5553	12,6	11,5	2903	6,0	4
1989	5063	451	8,9	4612	12,1	11,0	2395	5,7	4
1990	5505	585	10,7	4919	11,9	10,6	2667	5,8	4
1991	4249	278	6,5	3971	12,4	11,5	1961	5,7	3
1992	3989	257	6,4	3732	12,9	12,1	1817	5,9	3
1993	4180	258	6,2	3938	12,6	11,9	1921	5,8	3
1994	4077	447	11,0	3630	13,4	11,9	1825	6,0	3
1995	3964	425	10,7	3539	13,8	12,3	1648	5,7	3
1996	3815	445	11,7	3369	12,3	11,0	1702	5,5	3
1997	3470	291	8,4	3178	13,5	12,4	1472	5,7	3
1998	3376	285	8,4	3091	13,4	12,2	1395	5,5	3
1999	3174	288	9,1	2886	14,0	12,7	1258	5,5	3
2000	3653	240	6,6	3413	11,9	11,3	1802	5,3	3
2001	363	27	7,4	336	15,1	14	144	6	2
2002	272	9	3	263	12,9	12,5	126	6	1
2003	67	12	19	52	16,8	13,0	28	7,0	1
Totalt:	106647	7702	7,7	98946	12,2	11,2	40961	5,7	

Bilaga 4: Avvägda områden i Sverige i kronologisk ordning



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2005:3 Ahrenberg Magnus & Olofsson Andreas: En noggrannhetsjämförelse mellan nätverks-RTK och nätverks-DGPS.
- 2005:4 Jämtnäs Lars & Ahlm Linda: Fältstudie av Internet-distribuerad nätverks-RTK.
- 2005:5 Engfeldt Andreas (ed.): Network RTK in northern and central Europe.
- 2005:7 Jivall Lotti, Lidberg Martin, Nørbech Torbjørn, Weber Mette: Processing of the NKG 2003 GPS campaign.
- 2005:8 Eriksson Merja & Hedlund Gunilla: Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS.
- 2006:2 Norin Dan, Engfeldt Andreas, Johansson Daniel, Lilje Christina: Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.
- 2006:3 Klang Dan & Burman Helén: En ny svensk höjdmmodell laserskanning, Testprojekt Falun.
- 2006:4 Klang Dan: KRIS-GIS® projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdmodeller.
- 2006:5 von Malmberg Helena: Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS.
- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.
- 2007:1 Johansson Fredrik & Wallerström Mattias: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS.
- 2007:4 Ågren Jonas & Svensson Runar: Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH 2000.
- 2007:8 Halvardsson Daniel & Johansson Joakim: Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK.
- 2007:10 Lidberg Martin & Lilje Mikael: Evaluation of monument stability in the SWEPOS GNSS network using terrestrial geodetic methods - up to 2003.
- 2007:11 Lilje Christina, Engfeldt Andreas & Jivall Lotti: Introduktion till GNSS
- 2007:12 Ivarsson Jesper: Test and evaluation of SWEPOS Automated Processing Service