

**Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem**

---

**Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem  
och tyngdkraftssystem i Sverige  
genom tiderna**

Martin Ekman

Gävle 1998

L A N T M Ä T E R I E T





**Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem  
och tyngdkraftssystem i Sverige  
genom tiderna**

**Martin Ekman**

Lantmäteriverket  
ISBN 91-7774-067-X  
Gävle 1998



## Innehåll

Förord .....	5
1. Grundprinciperna för geodetiska referenssystem .....	7
1.1 Horisontella och tredimensionella koordinatsystem	
1.2 Geoidhöjdssystem och höjdsystem	
1.3 Tyngdkraftssystem	
1.4 Numeriska skillnader mellan system	
2. Jordellipsoider .....	12
2.1 Maupertuis ellipsoid 1740 och Mallets ellipsoid 1772	
2.2 Svanbergs ellipsoider 1805 och 1817	
2.3 Bessels ellipsoid 1841	
2.4 Clarkes ellipsoid 1880	
2.5 Helmerts ellipsoid 1884	
2.6 Hayfords ellipsoid 1910	
2.7 GRS 1967 och GRS 1980	
2.8 WGS 66, WGS 72 och WGS 84	
3. Geoider: lodavvikelsesystem och geoidhöjdssystem .....	16
3.1 Roséns lodavvikelser 1889 och Helmerts lodavvikelser 1906	
3.2 Tannis geoid 1949 och Widelands geoid 1955	
3.3 Wolfs geoid 1949 och Bomfords geoid 1970	
3.4 RAK 70	
3.5 NN 86	
3.6 RN 92	
3.7 SWEN 95 och SWEN 98 ?	
3.8 NKG 89 och NKG 96	
3.9 EGG 96 och EGG 97	
4. Horisontella koordinatsystem .....	23
4.1 RT 1765	
4.2 RT 1817 och RT N	
4.3 RT P och RT 38 (RT 1938)	
4.4 RT R och RT 90 (RT 1990)	
4.5 BGK	
4.6 ED 50, ED 79 och ED 87	

5. Höjdsystem .....	35
5.1 RH 1860 och RH 1860 G	
5.2 RH 1900 och RH 1900 G	
5.3 RH 70 (RH 1970)	
5.4 RH 91 (RH 1991) ?	
5.5 NH 60	
5.6 UELN 55 och UELN 73	
6. Tredimensionella koordinatsystem .....	45
6.1 RR 92	
6.2 WGS 84 SCANDOC	
6.3 SWEREF 93	
6.4 EUREF 89	
6.5 ITRF 89 m.fl.	
6.6 WGS 84	
7. Tyngdkraftssystem .....	51
7.1 RG 1896	
7.2 RG 41 (RG 1941)	
7.3 RG 62 (RG 1962) = ECS 62	
7.4 RG 82 (RG 1982)	
7.5 IGSN 71	
7.6 IAGBN ?	
Appendix: Modeller för systemens tidsberoende .....	58
Referenser .....	61

## Förord

I detta arbete har jag försökt att ge en översikt över samtliga jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem som använts i Sverige. Vad som behandlas är i princip rikstäckande system samt nordiska, europeiska och globala system. Däremot behandlas inte lokala system (med visst undantag för Stockholmstraktens koordinatsystem som har speciella band till gamla rikssystem).

Min avsikt med arbetet är att klargöra vad som definierar de olika systemen och beskriva hur de är uppbyggda. Genom det vill jag visa varifrån allting kommer, vilka egenskaper systemen har, vad som förenar olika system och vad som skiljer dem åt. Detta är viktigt att förstå för att man skall kunna använda systemen på rätt sätt. Däremot får läsaren inte veta hur man kan (eller inte kan) göra transformationer.

Jag har valt att inte bara behandla de moderna systemen utan även de äldre. Anledningen är dels att det kan vara av historiskt intresse, dels att en fullständig förståelse av ett modernt system ofta kräver kännedom om äldre system. Gamla geodetiska uppgifter behöver inte vara inaktuella - dagens svenska originalkartor avbildar ju Bessels ellipsoid, som beräknades 1841 på grundval av geodetiska mätningar som påbörjades 1735!

En tidigare upplaga av detta arbete, med något annorlunda titel, utgavs 1991. Sedan dess har två stora förändringar slagit igenom: de förbättrade metoderna att bestämma geoiden och den satellitgeodetiska omvälvningen inom positionsbestämningen. Detta är bakgrunden till att jag nu omarbetat kapitlet om geoider och utvidgat det med flera nya geoidhöjdssystem samt att jag infört ett helt nytt kapitel om tredimensionella koordinatsystem. Vissa tillskott finns även inom höjdsystem och tyngdkraftssystem. I övrigt har jag gjort åtskilliga mindre tillägg och förtydliganden, och en och annan rättelse; detta gäller även horisontella koordinatsystem trots att inga nya sådana finns att presentera. Nytt är även ett kort appendix om modeller för systemens tidsberoende.

Den första upplagan var närmast avsedd för intresserade geodeter men fick snart en större spridning, främst på grund av det ökade behovet av kunskaper om geodetiska referenssystem i samband med satellitmetodernas genomslag. För att underlätta förståelsen av vad det hela handlar om, har jag här tillfogat ett inledande kapitel med en översikt av de grundprinciper efter vilka geodetiska referenssystem är uppbyggda.

Som läsaren snart upptäcker är detta inte någon lättläst roman utan en faktaspäckad men kortfattad uppslagsbok med rikliga källhänvisningar. (Den kan vara nog så spännande ändå!) Jag hoppas att detta arbete skall bidra till förståelsen av det

sammelsurium av jordellipsoidens geometri, tyngdkraftfältets oregelbundenheter, jordskorpans rörelser och gamla och nya geodeters egenheter, som tillsammans formar våra grundläggande geodetiska referenssystem.

Gävle vårvintern 1998

*Martin Ekman*

"Så wäl Geographien som Navigation gå förnämligast derpå ut, at man kan weta antingen alla Lands-orters ock Siö-kusters rätta belägenhet sins emellan, eller ock et skeps ställe på wilda hafwet. Här til fordras åter, at man har accurata Landt- ock siö-Chartor, hwilka föreställa orternas tilbörliga Situation så til Latituden i Norr ock Söder öfwer Linien, som deras Longitude i Öster eller Wäster. Men alt detta kan ingalunda ernås, utan at weta noga alla graders längd i mil eller famnar, uträknade efter jordens rätta storlek ock figur."

*Anders Celsius (1741)*



## 1. Grundprinciperna för geodetiska referenssystem

I den geodetiska beskrivningen av Jorden skiljer vi mellan tre fundamentala ytor. *Jordytan*, som innefattar havsytan där det finns hav, är den yta som vi normalt vistas på. *Geoiden* är den ekvipotentialyta (nivåyta) i Jordens tyngdkraftsfält som bäst ansluter till havsytan. *Jordellipsoiden* är den rotationsellipsoid som bäst ansluter till geoiden. För att ange positionen hos punkter på jordytan behöver vi geodetiska referenssystem, som bygger på de tre ytorna, deras inbördes relationer och deras ändringar med tiden.

### 1.1 Horisontella och tredimensionella koordinatsystem

I ett traditionellt horisontellt koordinatsystem (latitud och longitud) eller ett modernt tredimensionellt koordinatsystem (latitud, longitud och höjd över ellipsoiden) behöver följande storheter specificeras.

1. *Jordellipsoid*. Systemet måste beräknas på eller åtminstone knytas till en vald ellipsoid, vanligen definierad av halva storaxeln (ekvatorsradien) och avplattningen.

2. *Datumpunkt (geoid)*. För att systemet skall kunna fixeras på ellipsoiden måste denna placeras på något sätt i förhållande till geoiden. I de traditionella horisontella systemen görs detta genom att geoidens lodavvikelser i latitud- och longitud-led samt geoidens höjd fastställs (ofta till noll), tillsammans med latitud och longitud, i en given punkt (datumpunkt) på ellipsoiden. I de nya tredimensionella systemen försöker man istället placera ellipsoiden så att den har sitt centrum i Jordens tyngdpunkt (geocentrisk datumpunkt).

3. *Nollmeridian*. En nollmeridian måste väljas; numera förutsätts denna vara den internationella nollmeridianen om inget annat sägs.

4. *Poldrift*. Rotationsaxeln är inte fix i Jorden; polerna och därmed gradnätet genomgår (utöver en periodisk rörelse) en successiv förskjutning, varför systemets gradnät måste fixeras vid någon viss epok.

I de tredimensionella systemen behöver därutöver följande storheter specificeras.

5. *Permanent tidjord*. Månen och solen åstadkommer (utöver periodiska variationer) en permanent deformation av Jorden som kan hanteras på tre principiellt olika sätt. Detta gör att man måste välja mellan tre olika typer av tredimensionella system: tidjordsfri typ, medeltyp och nolltyp; i det tidjordsfria fallet behöver även en deformationsparameter specificeras.

6. *Plattektonik (kontinentaldrift)*. Kontinenterna förskjuts gradvis i förhållande till varandra, varför de globala tredimensionella systemens koordinater måste definieras för en viss epok.

7. *Landhöjning*. Hos oss medför även landhöjningen efter istiden att de tredimensionella koordinaterna ändras och därför måste definieras för en viss epok.

I ett tillhörande plant koordinatsystem på en karta behöver man dessutom specificera följande.

8. *Kartprojektion*. För att plana koordinater skall kunna beräknas måste en projektion av ellipsoiden väljas, i allmänhet någon konform (vinkelriktig) och cylindrisk projektion.

9. *Medelmeridian*. Vanligen måste en tangeringsmeridian (medelmeridian), längs vilken projektionsfelen är noll, väljas i kartprojektion, i andra fall skärningsparalleller eller liknande.

10. *Skalreduktionsfaktor*. Ibland införs en speciell förminskningsfaktor (skalreduktionsfaktor) för att fördela projektionsfelen annorlunda.

11. *Koordinattillägg*. Ofta tillämpas särskilda tillägg för att överallt få positiva koordinatvärden.

I verkligheten är många koordinatsystem tillkomna på ett mindre renodlat sätt än ovanstående idealfall. En realistisk bild av ett system kräver därför ofta en utförligare beskrivning av systemets uppkomst, med kopplingar till äldre system, lösningar på speciella problem etc.

## 1.2 Geoidhöjdssystem och höjdsystem

I ett geoidhöjdssystem (geoidens höjd över ellipsoiden) behöver följande storheter specificeras.

1. *Jordellipsoid*. Jämför punkt 1 i föregående avsnitt. Systemet måste bygga på en vald ellipsoid med vissa värden på halva storaxeln och avplattningen.

2. *Datumpunkt*. Jämför punkt 2 i föregående avsnitt. Ellipsoiden måste placeras antingen så att geoidhöjden är noll i en given punkt (datumpunkt) eller numera så att ellipsoidens centrum sammanfaller med Jordens tyngdpunkt (geocentrisk datumpunkt). Det senare kan förverkligas genom att man i vissa punkter bestämmer geoidhöjden som skillnaden mellan höjd över ellipsoiden (i ett geocentriskt tredimensionellt koordinatsystem) och höjd över geoiden (i ett höjdsystem).

3. *Tyngdkraftsfält*. Geoidhöjder kan beräknas ur tyngdkraftsfältet på två principiellt olika sätt, vilket gör att man måste välja mellan två olika slag av geoider: klassisk geoid och kvasigeoid.

4. *Permanent tidjord*. Jämför punkt 5 i föregående avsnitt. Man måste välja mellan tidjordsfri geoid, medelgeoid och nollgeoid; i det tidjordsfria fallet behöver även en deformationsparameter specificeras.

5. *Landhöjning*. Jämför punkt 7 i föregående avsnitt. Landhöjningen är förknippad med massförskjutningar i Jordens inre som påverkar tyngdkraftsfältet och därmed geoiden, om än långsamt. Geoidhöjderna måste därför definieras för en viss epok, vilket även kräver specifikation av en massflödesparameter.

I ett höjdsystem (jordytans höjd över geoiden) behöver följande storheter specificeras.

1. *Nollpunkt*. Systemet måste grundas på en geoid definierad utifrån medelvattennivån i havet vid en given punkt och en viss epok (nollpunkt).

2. *Tyngdkraftsfält*. Entydiga höjder kräver att man först beräknar tyngdkraftspotentialer och sedan förvandlar dessa till höjder. Denna förvandling kan göras på två principiellt olika sätt, vilket gör att man måste välja mellan två slag av höjd: ortometrisk höjd (över en klassisk geoid) eller normalhöjd (över en kvasigeoid); jämför punkt 3 ovan. I det förra fallet behöver man även specificera densitet (i jordskorpan), i det senare fallet ellipsoid (till normaltyngdkraften).

3. *Permanent tidjord*. Jämför motsvarande punkter i avsnitt 1.1 och ovan. Man måste välja mellan höjder över tidjordsfri geoid, medelgeoid och nollgeoid; i det tidjordsfria fallet behöver även en deformationsparameter specificeras.

4. *Landhöjning*. Jämför motsvarande punkter i avsnitt 1.1 och ovan. Landhöjningen gör att höjderna måste definieras för en viss epok.

5. *Havsnivåändring*. Havsnivåns klimatologiska ändring medför att även (medel)havsyntans höjder måste definieras för en viss epok.

Vad som sägs om verkligheten kontra idealfallet i slutet av avsnittet om horisontella och tredimensionella koordinatsystem gäller även höjdsystem och geoidhöjdssystem.

### 1.3 Tyngdkraftssystem

I ett tyngdkraftssystem behöver man specificera följande storheter.

1. *Absolutpunkt(er)*. Systemet måste vila på en eller flera punkter med absolutbestämda tyngdkraftsvärden.

2. *Permanent tidjord*. Jämför motsvarande punkter i avsnitten ovan. Man måste alltså välja mellan tidjordsfri tyngdkraft, medeltyngdkraft och nolltyngdkraft; i det tidjordsfria fallet behöver även en deformationsparameter specificeras.

3. *Poldrift*. Jämför motsvarande punkt i avsnitt 1.1. Poldriften medför att centrifugalkraften och därmed tyngdkraften sakta ändras så att den måste fixeras vid en viss epok. (Strängt taget behöver då även en deformationsparameter specificeras.)

4. *Landhöjning*. Jämför motsvarande punkter i avsnitten ovan. Landhöjningen (på vissa andra håll platttektoniken) medför att tyngdkraftsvärdena ändras och alltså måste definieras för en viss epok. För detta krävs att man också specificerar en massflödesparameter (för relationen mellan tyngdkraftsändring och landhöjning).

Till ett tyngdkraftssystem är ofta tyngdkraftsanomalier knutna, för vilka ytterligare storheter behöver specificeras, främst ellipsoid till normaltyngdkraften.

#### 1.4 Numeriska skillnader mellan system

De största skillnaderna i latitud och longitud mellan olika *horisontella eller tredimensionella koordinatsystem* uppkommer då systemen har olika geodetiska datum, det vill säga olika ellipsoider eller olika placering av ellipsoiden (olika datumpunkter) eller bådadera. Skillnaderna kan då uppgå till över 10" eller omkring 500 m (i Sverige i praktiken 300 m). Poldriften kan bidra med 10 m på 100 år.

När det gäller de traditionella horisontella systemen kan olika mätningar i de olika geodetiska nät som ligger till grund för systemen åstadkomma skillnader på omkring 5 m. I de nya tredimensionella systemen är mätningarna så noggranna att istället jordskorpans rörelser kommer att dominera. Platttektoniken kan här åstadkomma skillnader på omkring 5 m på 100 år mellan två kontinenter. Inom en kontinent kan hos oss landhöjningen bidra med omkring 10 cm i horisontalled på 100 år. Dessutom kan olika behandlingar av permanenta tidjorden göra ungefär 5 cm i horisontalled. (De båda sistnämnda deformationerna är naturligtvis mer betydande i vertikalled, se nedan.)

Tillhörande plana koordinatsystem på kartor kan på grund av olika kartprojektioner med olika projektionsfel uppvisa differenser av storleksordningen flera hundra m.

Den största skillnaden i geoidens höjd över ellipsoiden mellan olika *geoidhöjdssystem* uppkommer precis som ovan då systemen har olika geodetiska datum. Skillnaden kan då uppgå till 100 m (i Sverige i praktiken 30 m). För system grundade på äldre mätmetoder kan olika mätningar åstadkomma skillnader på omkring 1 m. I system grundade på nyare och noggrannare mätmetoder är det andra faktorer som dominerar i skillnaderna. Olika hantering av permanenta tidjorden kan göra 20 cm. Olika hantering av tyngdkraftsfältet kan i allmänhet göra 5 cm (i höga fjäll 10 gånger så mycket). Landhöjningen bidrar med 5 cm på 100 år.

Den största skillnaden i höjd över geoiden mellan olika *höjdsystem* uppkommer på de flesta håll som en följd av olika medelvattennivåer i havet (olika nollpunkter). Skillnaden kan uppgå till omkring 1 m (i Sverige i praktiken 10 cm). Hos oss tar dock landhöjningen överhanden och åstadkommer 1 m på 100 år. Olika hantering av permanenta tidjorden kan göra 10 cm. Olika hantering av tyngdkraftsfältet kan i allmänhet göra 5 cm (i höga fjäll 10 gånger så mycket). Beträffande havsytans höjder gör havsnivåns klimatologiska ändring för närvarande 10 cm på 100 år.

Den största skillnaden mellan olika *tyngdkraftssystem* beror på skillnader mellan äldre och nyare absolutbestämningar till grund för systemen. Skillnaden kan uppgå till 20 mgal. Bland moderna system med noggranna absolutbestämningar kommer landhöjningen hos oss att framkalla de mest betydelsefulla skillnaderna med 200  $\mu$ gal på 100 år. Olika principer för permanenta tidjorden kan göra 50  $\mu$ gal. Poldriften kan bidra med 5  $\mu$ gal på 100 år.

\* \* \*

## 2. Jordellipsoider

I Sverige har 12 olika jordellipsoider använts, av vilka de två äldsta idag är av enbart historiskt intresse. Samtliga ellipsoider är givna i tabell 1, där  $a$  = halva storaxeln och  $f$  = avplattningen. De referenssystem som ellipsoiderna använts till beskrivs närmare i de efterföljande kapitlen, särskilt 3, 4 och 6.

Tabell 1. Jordellipsoider i Sverige.

Ellipsoid	$a$ (m)	$1/f$
Maupertuis 1740	6 396 794	178
Mallet 1772	6 393 718	200
Svanberg 1805	6 376 162	323.065
Svanberg 1817	6 376 797	304.250 6
Bessel 1841	6 377 397.155	299.152 812 8
Clarke 1880	6 378 249.145	293.465
Helmert 1884	6 378 830	299.26
Hayford 1910	6 378 388	297.0
GRS 1967	6 378 160	298.247 167 427
GRS 1980	6 378 137	298.257 222 101
WGS 66	6 378 145	298.25
WGS 72	6 378 135	298.26
WGS 84 (GRS 1980)	6 378 137	298.257 223 563

### 2.1 Maupertuis ellipsoid 1740 och Mallets ellipsoid 1772

Den äldsta ellipsoiden i Sverige, tillika den äldsta i världen, är den som bestämdes av Maupertuis 1740. Den byggde på den av honom ledda gradmätningen i Sverige/Finland (Tornedalen 1736 - 1737) och på Picards gradmätning i Frankrike förbättrad med Maupertuis latitudbestämningar. Celsius, som hade deltagit i Maupertuis gradmätning, publicerade sedan hans värden med halva storaxeln omräknad från franska toises till svenska famnar och lät beräkna en tabell över ellipsoiden. Maupertuis ellipsoid 1740 användes vid beräkningen av den stora kusttrianguleringen (RT 1765). Omräkningen till meter i tabell 1 är gjord enligt  $1/6$  famn = 1 fot = 0.296901 m.

En ny ellipsoid publicerades av Mallet 1772, liksom Celsius verksam vid Uppsala observatorium. Den är märklig därigenom att avplattningen beräknades ur alla dittills gjorda tyngdkraftsmätningar i världen (Clairauts teorem). Mallet gjorde dock ett principiellt fel i sin beräkning; en korrekt beräkning ger faktiskt ett mycket bättre värde på avplattningen. Tyngdkraftspunkterna var 19 stycken och spridda mellan ekvatorn och norra polcirkeln; till de nordligaste hörde Uppsala, mätt av Celsius, och Pello (i Tornedalen), mätt av Maupertuis. Halva storaxeln beräknades, med den erhållna avplattningen given, ur de 5 gradmätningar som då genomförts i

världen (Sverige/Finland, Frankrike, Italien, Peru/Ecuador och Sydafrika). Mallets ellipsoid 1772 tycks närmast ha använts för kontroll av avplattningen i Maupertuis ellipsoid 1740 (och för beräkningar av månparallaxen). Omräkningen till meter i tabell 1 är gjord på samma sätt som i föregående fall.

*Referenser:* Maupertuis (1738, 1740), Celsius (1741), Mallet (1772), Melanderhielm (1795).

## 2.2 Svanbergs ellipsoider 1805 och 1817

Den förnyade gradmätningen i Sverige/Finland (Tornedalen 1801 - 1803) av Svanberg ledde till Svanbergs ellipsoid 1805. Den bygger på jämförelse av 4 gradmätningar: hans egen, den nya i Frankrike (metergradmätningen), en i Indien och den gamla i Peru/Ecuador. Denna ellipsoid användes för förberedande beräkningar av första rikstrianguleringen och av tillhörande kartor. Svanberg, som en tid tjänstgjorde vid Fältmätningsskåren, meddelade senare i ett brev dit nya (omräknade) värden på ellipsoidparametrarna. Dessa publicerades 1817 av Spens för användning till den första rikstrianguleringen (RT 1817) och till Generalstabens och senare även Rikets Ekonomiska Kartverks kartor. Emellertid begick Spens då ett mindre räknefel som ledde till att ett något annorlunda värde på avplattningen än det av honom publicerade användes. Det är det faktiskt använda värdet som ges i tabell 1 för Svanbergs ellipsoid 1817; felet motsvarar 1 m i halva lillaxeln.

*Referenser:* Svanberg (1805), Spens (1817), Rosén (1876), Rosén (1931).

## 2.3 Bessels ellipsoid 1841

Äldst av de ellipsoider som fortfarande är i allmänt bruk i Sverige är Bessels ellipsoid 1841 (som är en korrigerad version av Bessels ellipsoid 1837). Den är beräknad ur 10 gradmätningar från hela världen, däribland de ovan nämnda i Sverige/Finland (Svanbergs), Frankrike (metergradmätningen) och Peru/Ecuador (påbörjad 1735). Bessels ellipsoid 1841 kom att användas av Internationella Jordmätningen, föregångaren till Internationella Associationen för Geodesi (IAG), och fick därigenom en internationell ställning. I Sverige användes den först för vissa kartor utgivna av Rikets Ekonomiska Kartverk ("Norrbottens läns kartverk", med halva storaxeln 2 m kortare) samt i vissa lodavvikelseberäkningar efter första rikstrianguleringen. Senare har Bessels ellipsoid 1841 använts i andra rikstrianguleringen (RT P, RT 38) och tredje rikstrianguleringen (RT R, RT 90) samt till Rikets Allmänna Kartverks och Lantmäteriverkets kartor. Vidare bygger tillhörande tredimensionella system och dess geoidhöjder på denna ellipsoid (RR 92; RN 92). Den halva storaxeln i tabell 1 är det internationellt brukliga värdet efter förvandling från toises till meter. Avplattningens många decimaler är en följd av att Bessel bestämde stor- och lillaxlarna, ur vilka avplattningen sedan har beräknats.

*Referenser:* Bessel (1837, 1841), Rosén (1876), Rosén (1931), Baeschlin (1948).

## 2.4 Clarkes ellipsoid 1880

Clarkes ellipsoid 1880 (ej att förväxla med Clarkes ellipsoid 1866) är beräknad främst ur tre långa gradmätningar, den fransk-brittiska, den rysk-skandinaviska (där delen Tornedalen mättes 1846 - 1851) och den indiska. Den användes till den första rikstrianguleringen för norra Sverige (RT N). Det i tabell 1 angivna värdet på halva storaxeln är det internationellt brukliga efter förvandling från engelska fot till meter.

*Referenser:* Struve (1857), Clarke (1880), Rosén (1931), Baeschlin (1948).

## 2.5 Helmerts ellipsoid 1884

I Helmerts ellipsoid 1884 (ej att förväxla med efterföljaren Helmerts ellipsoid 1906, som faktiskt kommer GRS-ellipsoiderna mycket nära) är avplattningen beräknad ur 122 tyngdkraftsmätningar från hela världen, varefter halva storaxeln, med denna avplattning given, är beräknad ur månparallaxen. Till denna ellipsoid hör Helmerts tyngdkraftsformel 1884, som utnyttjats vid beräkningarna av tyngdkraftsanomalier i RG 1896 (och av höjder i RH 1900).

*Referenser:* Helmert (1880 & 1884), Hayford (1909).

## 2.6 Hayfords ellipsoid 1910

Hayfords ellipsoid 1910 (en förbättring av Hayfords ellipsoid 1909, och ibland beteckningsmässigt förväxlad med denna) är grundad på minimering av lodavvikelser i Amerikas triangelnät. Den blev antagen som internationell av IAG ("Internationella ellipsoiden" 1924, "Internationella tyngdkraftsformeln" 1930). I Sverige användes den först av Baltiska Geodetiska Kommissionen (BGK) vid dess utjämning av triangelnäten runt Östersjön. De gemensamma beräkningarna av Västeuropas triangelnät (ED 50, ED 79, ED 87) är alla utförda på Hayfords ellipsoid 1910. Tillhörande geoider (Wolfs 1949, Bomfords 1970, NN 86 och i viss mån RAK 70) är naturligtvis också relaterade till Hayfords ellipsoid; så även de första gravimetriska geoiderna (Tannis 1949 och Widelands 1955).

Dessutom bör nämnas att Hayfords ellipsoid med tillhörande tyngdkraftsformel använts till beräkningarna av tyngdkraftsanomalier i RG 41 och RG 62 (ECS 62).

*Referenser:* Hayford (1909, 1910), Perrier & Hasse (1928), Cassinis (1930), Heiskanen & Moritz (1967).

## 2.7 GRS 1967 och GRS 1980

Med de första satelliterna öppnade sig plötsligt möjligheten att ur satellitbanornas ändringar bestämma ett mycket noggrannare värde på jordellipsoidens avplattning, så småningom även på halva storaxeln genom andra satellitmetoder. IAG har som internationella fastställt ellipsoiderna GRS 1967 och GRS 1980; GRS = Geodetic Reference System. Avplattningens värde är inte definierat utan beräknat ur den dynamiska formfaktorn  $J_2$ , därav de många decimalerna i



tabell 1. Dessutom ingår masskonstanten och rotationshastigheten, så att normaltyngdkraftsformler finns till ellipsoiderna. I Sverige har GRS 1967 utnyttjats endast obetydligt (för vissa tyngdkraftsanomalier). GRS 1980 däremot spelar en central roll som ellipsoid i de viktigaste tredimensionella koordinatsystemen (ITRF 89, EUREF 89, SWEREF 93). Den ingår även i de moderna geoidhöjdssystemen (EGG 96 och EGG 97, NKG 89 och NKG 96, SWEN 95 och SWEN 98).

Dessutom används normaltyngdkraftsformeln i GRS 1980 till tyngdkraftsanomalier i IGSN 71 och RG 82.

Bästa möjliga värden på ellipsoidparametrarna fastställs numera återkommande av IERS (International Earth Rotation Service).

*Referenser:* Moritz (1971, 1980), McCarthy (1992, 1996).

## **2.8 WGS 66, WGS 72 och WGS 84**

Satellitpositioneringssystemen Doppler och senare GPS bygger primärt på en serie av USA fastställda ellipsoider benämnda WGS = World Geodetic System, av vilka WGS 66, WGS 72 och WGS 84 förekommit i Sverige (så ej den första, WGS 60). WGS 66 och WGS 72 var tidigare kopplade till Doppler; från 1987 har WGS 84 varit kopplad till såväl Doppler som GPS.

Som WGS 84-ellipsoid antogs egentligen GRS 1980, men istället för den dynamiska formfaktorn  $J_2$  valdes av outgrundlig anledning klotfunktionskoefficienten  $C_{20}$  som definierad parameter.  $C_{20}$  beräknades ur  $J_2$  och avkortades, varför en i praktiken fullständigt betydelselös skillnad föreligger i avplattningen mellan GRS 1980 och WGS 84 (den motsvarar endast 0.1 mm i halva lillaxeln).

*Referens:* DMA (1987).

### 3. Geoider: lodavvikelsesystem och geoidhöjdssystem

I Sverige har 15 geoider använts, varav de två äldsta är rena lodavvikelsesystem. Geoiderna är svenska, nordiska och europeiska.

#### 3.1 Roséns lodavvikelser 1889 och Helmerts lodavvikelser 1906

En första undersökning av geoiden i Sverige utfördes av Rosén 1889, som bestämde lodavvikelser (endast nord-sydkomponenten  $\xi$ ) i astronomiska punkter i första rikstrianguleringen. Lodavvikelserna beräknades på tre olika ellipsoider: Svanbergs 1817 (RT 1817), Clarkes 1880 (RT N) och Bessels 1841, i samtliga fall med  $\xi = 0$  i datumpunkten Stockholms observatorium.

Roséns lodavvikelsesystem 1889 på Bessels ellipsoid transformerades senare till Helmerts lodavvikelsesystem 1906. Helmerts system byggde på minimiering av lodavvikelser i astronomiska punkter i Centraleuropas triangelnät, beräknat på en av honom modifierad Besselellipsoid där  $a$  förstörats med faktorn 1.0001; systemet kom dock att användas även ihop med Bessels ellipsoid 1841. Helmerts lodavvikelsesystem hade  $\xi = 5''0$  i datumpunkten i Berlin (Rauenberg). Med detta som utgångsvärde blev  $\xi = -0''37$  i Köpenhamn (Nikolai tårn) och, via Roséns lodavvikelser,  $\xi = 2''7$  i Stockholm (observatoriet). Detta system användes för att styra läget av RT P (och det därtill hörande Stockholmstraktens koordinatsystem) på Bessels ellipsoid, och är därmed indirekt styrande även för RT 38 och RT 90.

*Referenser:* Helmert (1886), Rosén (1889), Börsch (1906); G 2501.

#### 3.2 Tannis geoid 1949 och Widelands geoid 1955

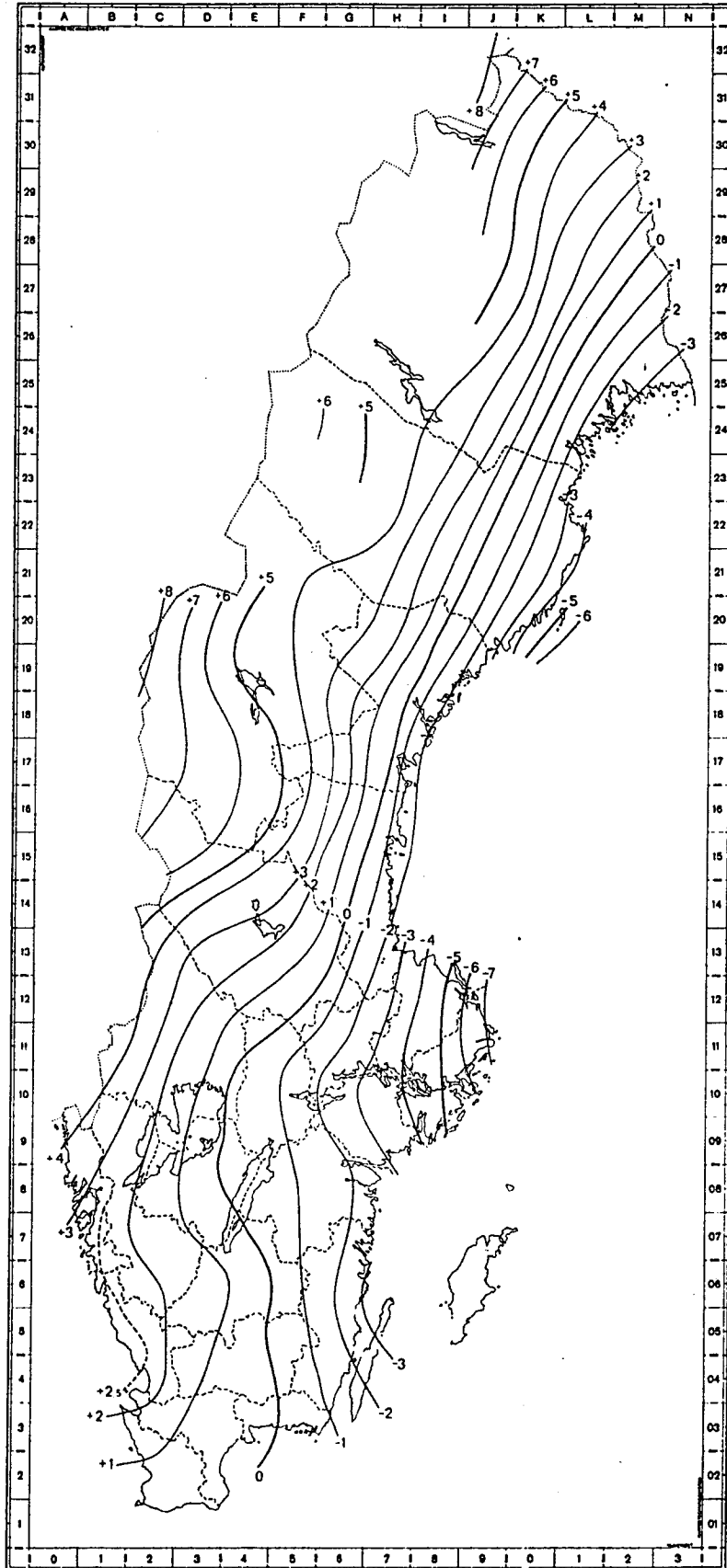
De första gravimetriskt bestämda geoiderna över Sverige är Tannis geoid 1949 (europeisk) och Widelands geoid 1955 (svensk). De gav geoidhöjder över Hayfords ellipsoid 1910, beräknade ur tyngdkraftsanomalier (Stokes formel) med tyngdkraftsvärden i RG 41 för svensk del. De utnyttjades främst till kontroll av lodavvikelser i Ölanders geoid 1950, beräknad ur astronomiska punkter i Baltiska Geodetiska Kommissionens triangulering runt Östersjön (BGK).

*Referenser:* Tanni (1949), Ölander (1949, 1950), Wideland (1955).

#### 3.3 Wolfs geoid 1949 och Bomfords geoid 1970

Wolfs geoid 1949 är beräknad med astronomiskt nivellement i Centraleuropas triangelnät på Hayfords ellipsoid 1910. I datumpunkten Potsdam (Geodätisches Institut) fastställdes lodavvikelserna  $\xi = 3''36$  och  $\eta = 1''78$  samt geoidhöjden  $N = 0$ . Dessa lodavvikelser bidrar till att styra läget av koordinatsystemet ED 50 och dess efterföljare ED 79 och ED 87 på Hayfords ellipsoid.

Bomfords geoid 1970 (en förbättring av Bomfords geoid 1963) är beräknad enligt samma metod och hänför sig till samma geodetiska datum som Wolfs geoid



Figur 3-1. Geoid på Hayfords ellipsoid 1910,  $N = 0$  i Potsdam (RAK 70; m).

1949 men täcker hela Europa. Dess geoidhöjder användes i skalbestämningen av ED 79. Geoidhöjderna i Sverige håller sig runt omkring utgångsvärdet  $N = 0$  från Potsdam.

*Referenser:* Wolf (1949), Bomford (1963); G 6000.

### 3.4 RAK 70

Den svenska geoiden RAK 70 (RAK = Rikets Allmänna Kartverk) refererar också till Hayfords ellipsoid 1910 med  $N = 0$  i Potsdam. Potsdam-villkoret har uppfyllts genom att Landskrona hållits fast med sin geoidhöjd i Bomfords geoid 1970. RAK 70 är liksom de ovanstående beräknad med astronomiskt nivellement med geodetiska koordinater i ED 50. Kurvan  $N = 0$  löper ungefär mitt igenom Sverige i nord-sydlig riktning, så att alla geoidhöjder blir tämligen små på samma sätt som i Bomfords geoid 1970,  $-7 \text{ m} < N < 8 \text{ m}$ ; se figur 3-1. Detta gör att RAK 70 kunnat användas med acceptabel approximation vid skalbestämning av RT R, som via RT 38 bygger på Bessels ellipsoid med  $N \approx 0$  i Sverige. (RAK 70 med vissa senare kompletteringar i fjälltrakterna benämns ibland "RAK 77".)

*Referenser:* Ussisoo (1975); G 6000.

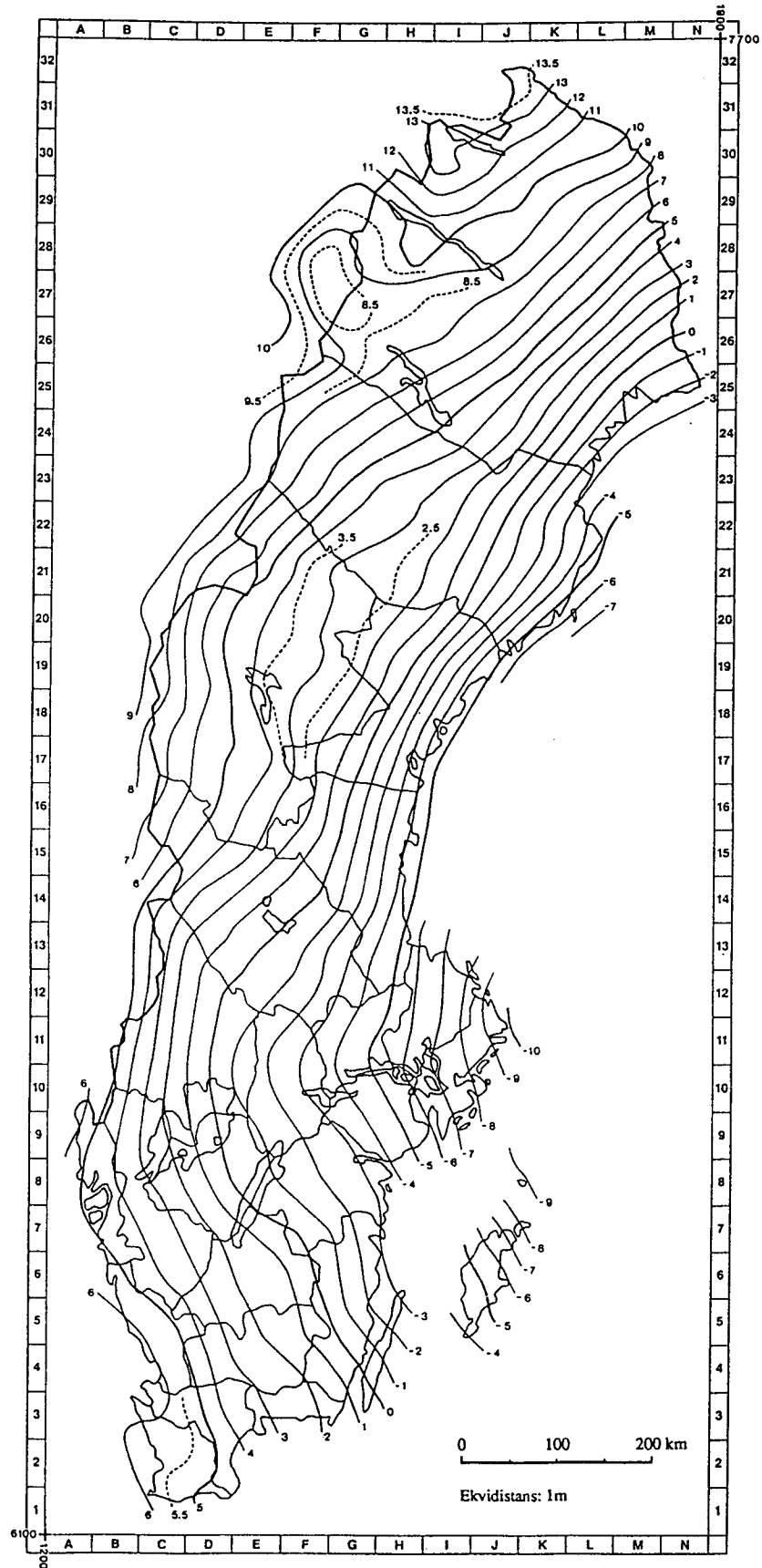
### 3.5 NN 86

Även det nordiska geoidhöjdssystemet NN 86 refererar till Hayfords ellipsoid med  $N = 0$  i Potsdam, där Potsdam-villkoret uppfyllts genom att geoidhöjden i Landskrona hållits fast med sitt värde i Bomfords geoid 1970. (Första N står för Norden, andra N för geoidhöjd; alternativt NN = nomen nescio, latin för "namnet känner jag ej"; systemet har hittills saknat benämning). NN 86 är alltså snarlikt RAK 70 i Sverige, men det har tillkommit på helt annorlunda sätt än sina ovanstående släktingar; det är i princip gravimetriskt bestämt. Geoiden har först beräknats på ellipsoiden GRS 1980 enligt samma trestegsметод som NKG-geoiderna nedan. Den globala delen bygger därvid på geopotentialmodellen GPM 2, en serieutveckling i klotfunktioner till grad och ordning 180. Den regionala delen kommer från nordiska tyngdkraftsanomalier med tyngdkraftsvärden i IGSN 71, och den lokala delen från en digital terrängmodell över främst skandinaviska fjällkedjan. Resultatet har sedan transformerats till Hayfords ellipsoid 1910 med Potsdam-villkoret uppfyllt. NN 86 har använts till skalbestämningarna av ED 87 och RT 90.

*Referenser:* Wenzel (1985), Tscherning & Forsberg (1986).

### 3.6 RN 92

Geoidhöjdssystemet RN 92 (RN = rikets geoidhöjdssystem, N står för geoidhöjd) är relaterat till Bessels ellipsoid 1841 med  $N \approx 0$  i Sverige och används till det inhemska "oäkta" tredimensionella koordinatsystemet RR 92. Som framgår av figur 3-2 är  $-10 \text{ m} < N < 13 \text{ m}$ . RN 92 är transformerat från NKG 89 (avsnitt 3.8) genom först ett byte från ellipsoiden GRS 1980 till Bessels ellipsoid 1841, därefter en



Figur 3-2. Geoid på Bessels ellipsoid 1841,  $N \approx 0$  mitt i Sverige (RN 92; m).

inpassning av de så erhållna geoidhöjderna på dem i RAK 70 (för att även passa till skalan i RT R och RT 90).

*Referens: Ekman (1993).*

### 3.7 SWEN 95 och SWEN 98 ?

Geoidhöjdssystemen SWEN 95 och SWEN 98, det senare under utarbetande, är relaterade till ellipsoiden GRS 1980, geocentriskt placerad, och används till det svenska tredimensionella koordinatsystemet SWEREF 93. (I SWEN står SWE för SWEREF och N för geoidhöjd.) SWEN-systemen liknar NKG-systemen (avsnitt 3.8) och bygger på dem, dock på något olika sätt.

SWEN 95 är i princip transformerat från RN 92 (som ju i sin tur är transformerat från NKG 89) genom tillägg av vertikal avståndet mellan Bessels ellipsoid i RN 92 och GRS 1980-ellipsoiden i SWEREF 93 (och liknar därför NKG 89).

Det troliga SWEN 98 kommer att transformeras från NKG 96 och är tänkt att konstrueras på följande sätt.

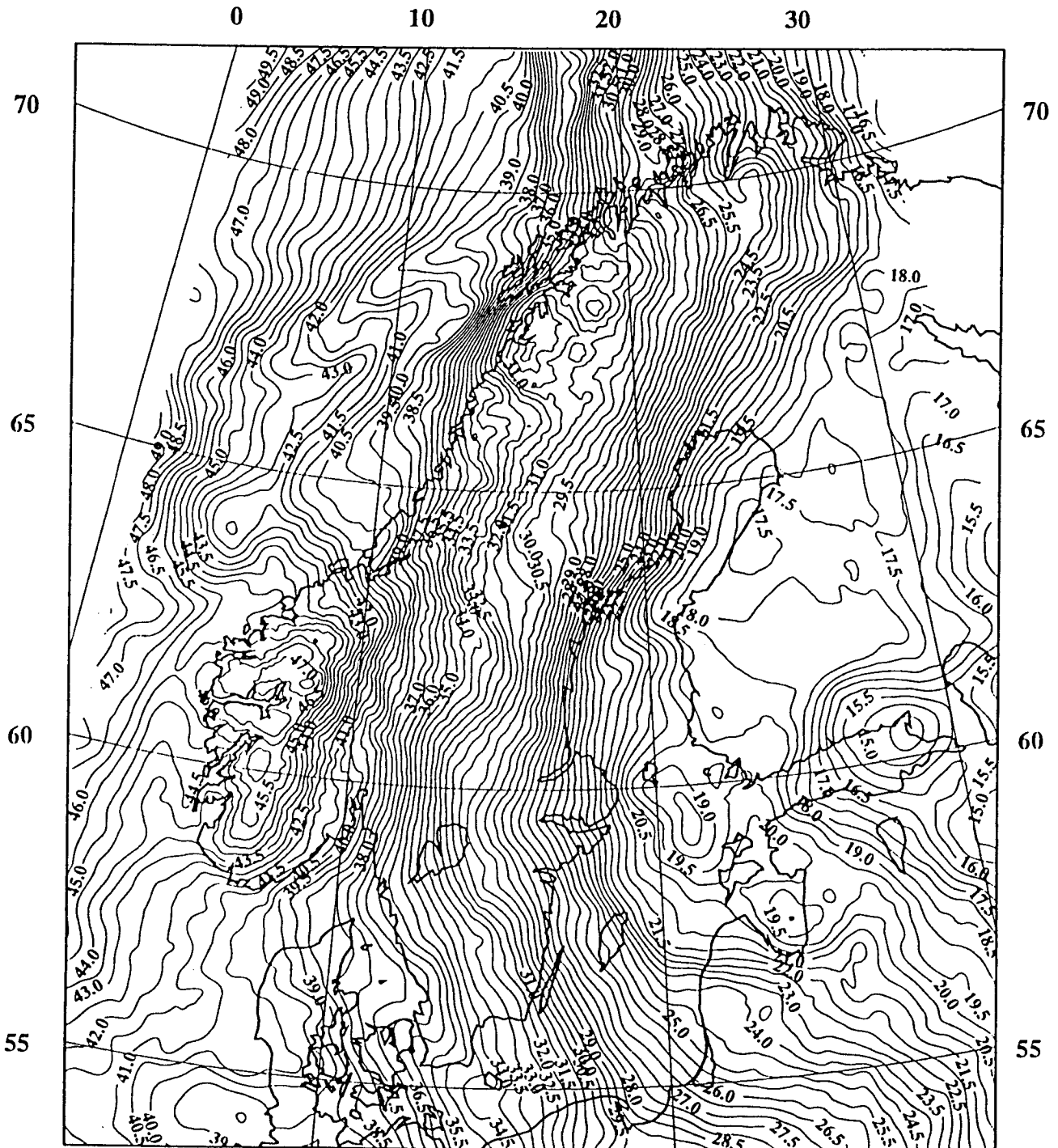
1. Systemet skall hänföra sig till ellipsoiden GRS 1980, geocentriskt placerad.
2. Systemet kommer att styras av geoidhöjderna i de 20 punkterna i SWEPOS-nätet (eventuellt även andra punkter), beräknade som skillnaden mellan höjden över ellipsoiden i SWEREF 93 reducerat till epok 1970 (avsnitt 6.3) och höjden över geoiden i RH 70 (avsnitt 5.3).
3. NKG 96 kommer genom någon form av tredimensionell Helmerttransformation att inpassas på geoidhöjderna enligt punkt 2 ovan.
4. Tyngdkraftsfältet hanteras så att geoiden blir en kvasigeoid.
5. Permanenta tidjorden behandlas så att geoiden blir en tidjordsfri geoid (med elastisk deformationsfaktor).
6. Epoken blir 1970.

Med denna konstruktion kan SWEN 98 fungera som approximativ höjdlänk mellan (det landhöjningsreducerade) SWEREF 93 och RH 70.

*Referens: Reit & Ekman (under utarbetande).*

### 3.8 NKG 89 och NKG 96

NKG 89 och NKG 96 (NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi) är nordiska geoidhöjdssystem i huvudsak baserade på satellitbanor och tyngdkraftsdata; de är relaterade till GRS 1980-ellipsoiden, geocentriskt placerad. Inom Sverige gäller  $20 \text{ m} < N < 37 \text{ m}$ ; se figur 3-3. Geoidhöjderna är beräknade som summan av tre komponenter: en global, en regional (nordisk) och en lokal (bidraget från topografin). De första geoider hos oss som kunde beräknas på en geocentrisk



Figur 3-3. Geoid på GRS 1980-ellipsoiden, geocentrisk (NKG 96; m).

ellipsoid (GRS 1980) var satellitaltimetriskt bestämda geoider över Östersjön; en sådan ingår numera i NKG 96.

I NKG 89 hämtas den globala komponenten från geopotentialmodellen OSU 89B, som är en serieutveckling i klotfunktioner till grad och ordning 360, bestämd ur satellitbanor, satellitaltimetri och tyngdkraftsdata. Den regionala komponenten fås ur nordiska tyngdkraftsanomalier, med tyngdkraftsvärden i IGSN 71. Den lokala komponenten fås ur en digital terrängmodell, tät i fjällkedjan. NKG 89-geoidens geocentriska läge är kontrollerat med hjälp av de avvägda VLBI-stationerna Onsala och Tromsø.

I NKG 96 har man tillfört stora mängder nya data av alla slag och utfört en omsorgsfullare beräkning. Systemet kan beskrivas så här.

1. Ellipsoiden är GRS 1980, geocentriskt placerad.
2. Den globala komponenten är hämtad från geopotentialmodellen EGM 96, som är en förbättrad serieutveckling i klotfunktioner till grad och ordning 360, bestämd ur satellitbanor, satellitaltimetri och tyngdkraftsdata. Den regionala komponenten är framräknad ur nordisk-baltiska tyngdkraftsanomalier, med tyngdkraftsvärden i IGSN 71 och höjder i UELN 73 (approximativt). Den lokala komponenten kommer ur en tät digital terrängmodell. Till havs har använts tyngdkraftsdata kombinerade med satellitaltimetri, reducerad för havsytans topografi enligt NH 60.
3. Resultatet har transformerats med en konstant baserad på ett stort antal avvägda GPS-punkter med höjder över ellipsoiden i ITRF 93 och höjder över geoiden i UELN 73.
4. Tyngdkraftsfältet är hanterat så att geoiden i princip är en kvasigeoid.
5. Permanenta tidjorden tycks vara behandlad så att geoiden närmast är en nollgeoid.
6. Epoken är inte närmare fixerad.

*Referenser:* Anderson & Scherneck (1981), Rapp (1990), Forsberg (1990, 1990a), Lemoine m.fl. (1996), Kenyon & Pavlis (1996), Forsberg m.fl. (1996).

### 3.9 EGG 96 och EGG 97

EGG 96 och EGG 97 (EGG = European Gravimetric Geoid) är europeiska geoidhöjdssystem som bägge innehåller i stort sett samma data från Norden som NKG 96; dock ingår inte satellitaltimetri över Östersjön. Systemen är i huvudsak beräknade på samma sätt som NKG 96. EGG 96 utgår dock från en global geopotentialmodell som utgörs av en kombination av OSU 91A och JGM 3, medan EGG 97 precis som NKG 96 utgår från EGM 96.

*Referenser:* Lemoine m.fl. (1996), Kenyon & Pavlis (1996), Denker m.fl. (1996).



## 4. Horisontella koordinatsystem

11 olika horisontella koordinatsystem har använts i Sverige. Rikets koordinatsystem betecknas RT (T för triangulering); dessutom finns ett nordisk-baltiskt system och flera europeiska system.

### 4.1 RT 1765

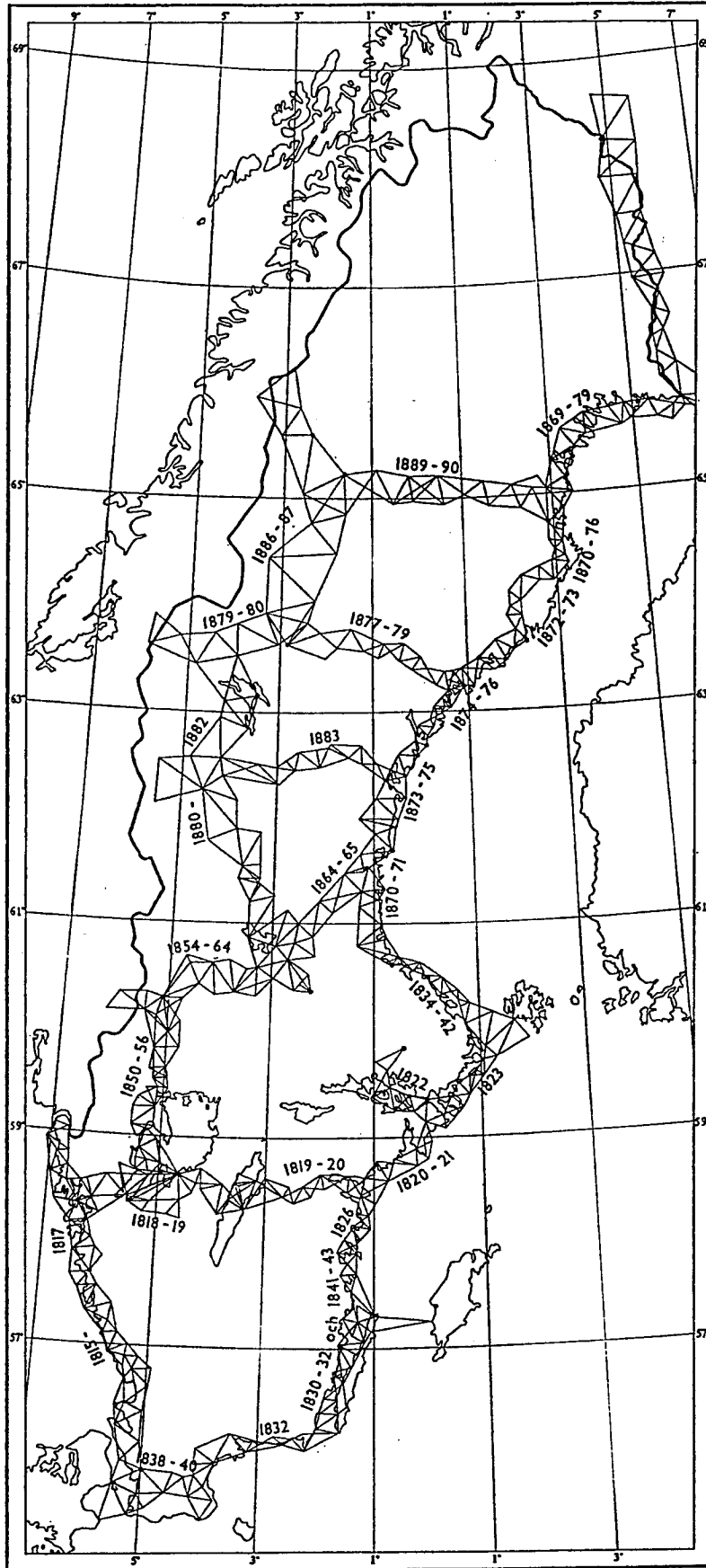
Den första stora trianguleringen i Sverige var kusttrianguleringen, som genomfördes 1758 - 1786. Den sträckte sig längs hela kusten i det dåvarande svenska riket och innefattade alltså både Sverige och Finland, inklusive en förbindelse över Åland, samt Pommern i nuvarande Tyskland. Kusttrianguleringens koordinater, vars system vi betecknar RT 1765, beräknades (åtminstone i början) på Maupertuis ellipsoid 1740. Som nollmeridian gällde såväl Uppsala som Stockholms observatorier; mellan dessa rådde den fastställda relationen Stockholm = 25'00" (1<sup>h</sup>40<sup>m</sup>) öster om Uppsala. För internationellt bruk räknade man sedan om longituderna enligt Stockholms observatorium = 15°43'45" öster om Paris' observatorium. Ofta användes därutöver ett longitud-tillägg på 20° för att få positiva longituder i hela Europa; motsvarande nollmeridian benämndes Ferro efter ön Hierro (bland Kanarieöarna) som den passerade över. Systemets läge och orientering tycks ha grundats på astronomiska Orts- och azimutbestämningar i Lund, Stockholm och Åbo samt Greifswald. Av dessa var Stockholm (observatoriet), med latituden 59°20'31"3, noggrannare än de övriga. Systemets skala tycks ha bestämts ur omkring 5 basmätningar.

*Referenser:* Gadolin (1753), Mayer (1756), Wargentín (1759), Schenmark (1765, 1774 & 1780), Lexell (1773), Schultén (1802); G 1010.

### 4.2 RT 1817 och RT N

Den första rikstrianguleringen (omfattande även inlandet) genomfördes 1815 - 1890 (figur 4-1). Dess koordinatsystem, RT 1817, beräknades på Svanbergs ellipsoid 1817. Som nollmeridian fungerade Stockholms observatorium, vars internationella läge fastställdes till 15°43'19"5 öster om Paris' observatorium = denna longitud + 20° öster om Ferro, eller 18°03'22"5 öster om Greenwichs observatorium. Omkring 1880 ändrades det hela till 18°03'29"8 öster om Greenwich. Systemets läge och orientering grundades på astronomisk Orts- och azimutbestämning i Stockholms observatorium, med latituden  $\varphi = 59^{\circ}20'34''8$ , ett värde som delvis byggde på det från RT 1765. Omkring 1880 justerades latituden till det nybestämda värdet  $\varphi = 59^{\circ}20'33''0$ , och andra azimuter togs med som kontroll. Lodavvikelserna i Stockholm sattes till 0. Systemets skala bestämdes av ett tiotal basmätningar.

Utöver de geodetiska koordinaterna  $\varphi$  och  $\lambda$  (latitud och longitud) beräknades även plana koordinater  $x$  och  $y$  (kartkoordinater) enligt Spens konforma koniska projektion, med medelmeridian 5° väster om Stockholms observatorium och med gränspareller 55°21'19"4 och 65°50'20"4. Gränsparellerna, inom vilka



Figur 4-1. Nätet i RT 1817 (första rikstrianguleringen).

projektionsfelen minimieras, definierades ursprungligen som  $55^{\circ}21'30''$  och  $65^{\circ}50'50''$  på Svanbergs ellipsoid 1805 men omräknades till Svanbergs ellipsoid 1817. y-axeln var riktad söderut längs medelmeridianen, och x-axeln drogs vinkelrätt mot denna på latituden  $72^{\circ}$ . RT 1817 användes vid konstruktionen av Topografiska Kårens / Generalstabens kartor och Rikets Ekonomiska Kartverks kartor (som delvis fortfarande säljs av Lantmäteriverket). Den svenska avsikten var att hela unionen Sverige-Norge skulle anta detta system, men norrmännen föredrog bland annat en egen noll- och medelmeridian (Kongsvinger).

Det kan noteras att RT 1817 i viss mån kvarlever i Stockholms-traktens koordinatsystem, vars orientering ytterst bygger på utgångsazimuten i Stockholms observatorium i första rikstrianguleringen. Se vidare nästa avsnitt.

Mot slutet av första rikstrianguleringen beslöt man att i norra Sverige frånga det ursprungliga systemet och där införa ett annat, RT N, grundat på Clarkes ellipsoid 1880. Inga särskilda kartkoordinater knöts till detta, eftersom man samtidigt bytte till en polykonisk projektion i gradblad.

*Referenser:* Cronstrand (1811), Spens (1817), Topografiska Corpsen (1866), Rosén (1876, 1879, 1889), Rosén (1931); G 1014, T 1110.

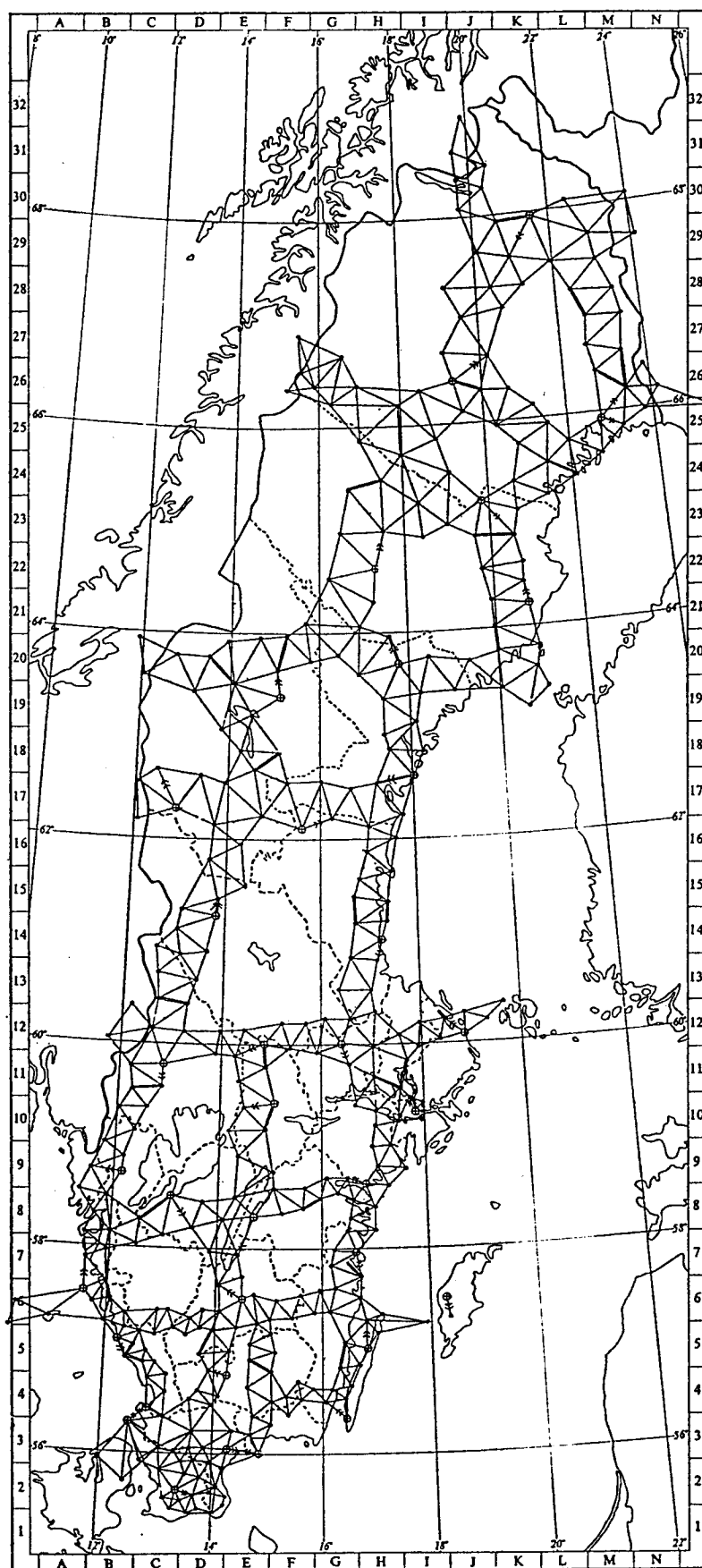
#### 4.3 RT P och RT 38 (RT 1938)

Den andra rikstrianguleringen genomfördes 1903 - 1950 (figur 4-2). Här beräknade man först koordinater i ett preliminärt system över södra Sverige, RT P, på Bessels ellipsoid 1841. Systemets läge i latitudled grundades på en astronomisk Ortsbestämning från 1820 i Köpenhamn (Nikolai tårn) med  $\varphi = 55^{\circ}40'43''26$  och lodavvikelsen  $\xi = -0''37$  i Helmerts lodavvikelsesystem 1906, dess läge i longitudled på villkoret för nollmeridianen att  $\lambda = 0$  och lodavvikelsen  $\eta = 0$  i Stockholm (observatoriet). Den tidigare nämnda relationen Stockholm =  $18^{\circ}03'29''8$  öster om Greenwich bibehölls. Systemets orientering grundades på två azimutbestämningar i första rikstrianguleringen nära Öresund, och dess skala på en äldre dansk basmätning.

Utöver de geodetiska koordinaterna ( $\varphi$  och  $\lambda$ ) beräknades plana koordinater ( $x$  och  $y$ ) enligt Gauss-Krügers konforma cylindriska projektion (transversal Mercator-projektion). Medelmeridianer lades i intervaller om  $2^{\circ}15'$  ( $2.5$  gon) utgående från nollmeridianen i Stockholm.

Utifrån ett tiotal nya astronomiska Orts- och azimutbestämningar och fem nya basmätningar i södra Sverige transformerade man sedan RT P genom vridning och skaländring, men utan translationer, till ett definitivt system, RT 1938 eller kort RT 38. Detta system kan därför beskrivas så här.

1. Systemet är beräknat på Bessels ellipsoid 1841.
2. Ursprungliga datumpunkter är Köpenhamn (Nikolai tårn) med 1820 års astronomiska latitudbestämning och lodavvikelse enligt RT P (värden angivna ovan)



Figur 4-2. Nätet i RT 38 (andra rikstrianguleringen).

samt Stockholm (observatoriet) med nollmeridianvillkoret enligt RT P.

3. Resulterande  $\varphi$  och  $\lambda$  i nätet är via Gauss-Krügers projektion med medelmeridian  $4^{\circ}30'$  (5 gon) väster om Stockholm omräknade till  $x$  och  $y$ .

4. Detta plana system är sedan dels vridet  $0.00005$  rad ( $\approx 10''31$ ) medurs kring en punkt i sydligaste Sverige,  $6\,300$  km norr om ekvatorn på medelmeridianen ( $x = 6\,300\,000$  m,  $y = 0$  m), dels skaländrat med faktorn  $1.00002$ .

5. Till de så transformerade  $x$  och  $y$  knyts  $\varphi$  och  $\lambda$  på Bessels ellipsoid via Gauss-Krügers projektion med nämnda medelmeridian.

6. Genom tillägg av longitudkonstanten  $18^{\circ}03'29''8$  har man övergått till den internationella nollmeridianen i Greenwich.

7. Från dessa slutliga  $\varphi$  och  $\lambda$  beräknas slutliga  $x$  och  $y$  genom Gauss-Krügers projektion med medelmeridian  $2^{\circ}15'$  (2.5 gon) väster om Stockholm =  $15^{\circ}48'29''8$  öster om Greenwich. Dessutom tillämpas ett  $y$ -tillägg på  $1\,500\,000$  m.

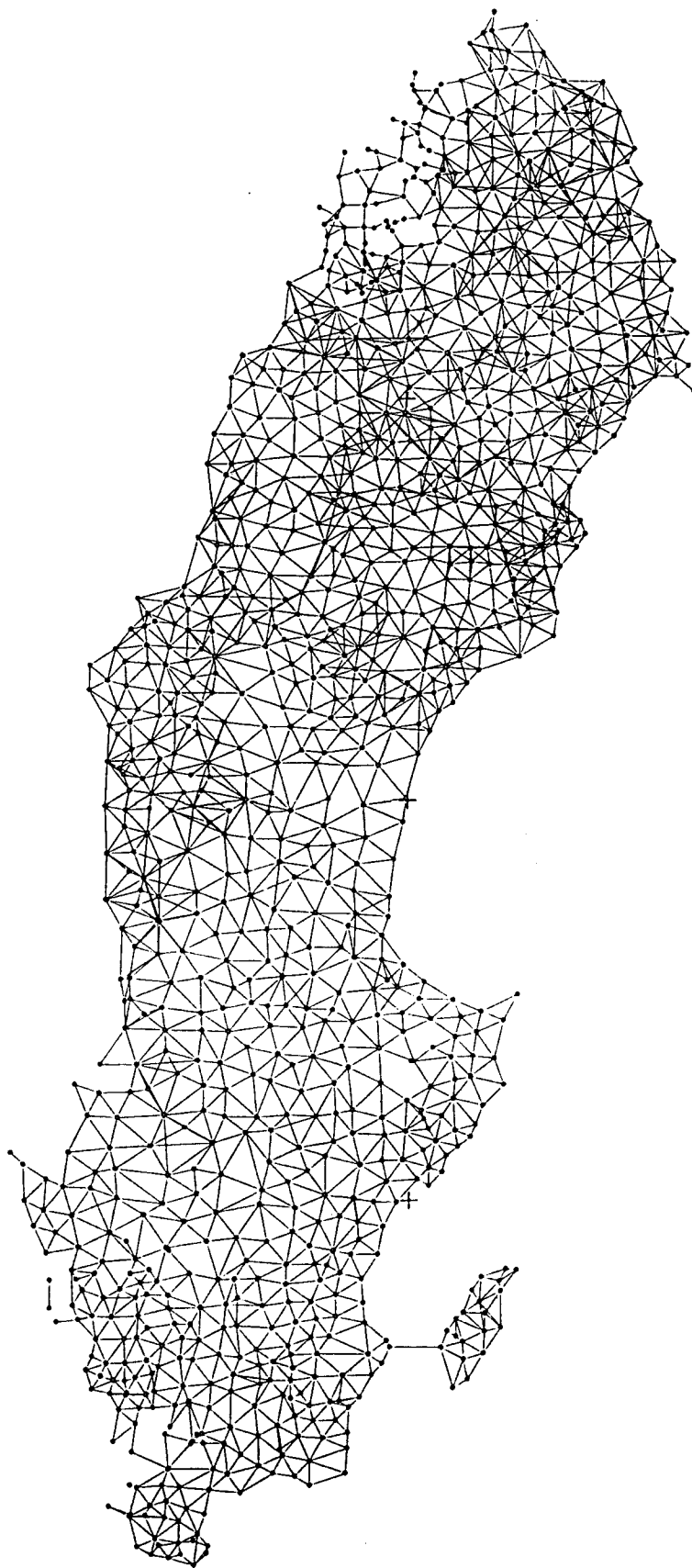
RT 38 har alltså i princip samma utgångsläge på Bessels ellipsoid som RT P, åtminstone i latitudled, men något annorlunda orientering och skala. Orientering och skala i RT 38 i riket som helhet kom till synes att bygga på ett tjugotal astronomiska punkter (Laplacepunkter) och ett tiotal baser. Det till RT 38 hörande plana koordinatsystemet betecknas ofta RT 38 2.5 gon V. (För lokalt bruk nyttjades dock även andra medelmeridianer i intervaller om 2.5 gon.) RT 38 användes för Rikets Allmänna Kartverks / Lantmäteriverkets kartor, numera ersatt av det snarlika RT 90.

RT P och datumpunkten Stockholms observatorium lever idag kvar i Stockholms-traktens koordinatsystem (ST 90 och dess föregångare). Stockholms-systemets läge definieras ytterst, på Bessels ellipsoid 1841, av Stockholms observatoriums koordinater  $\varphi = 59^{\circ}20'30''3$  och  $\lambda = 0$  med lodavvikelserna  $\xi = 2''7$  och  $\eta = 0$ . Latituden här är omräknad från det astronomiskt bestämda andra utgångsvärdet i RT 1817 till RT P genom subtraktion av lodavvikelsen, beräknad ur Roséns lodavvikelser kopplade till Helmerts lodavvikelsesystem 1906. Stockholms-systemets orientering styrs av utgångsazimuten i RT 1817 i Stockholms observatorium, överflyttad till Bessels ellipsoid. I praktiken är systemet uppbyggt kring att tre Stockholmspunkter i ett basnät i första rikstrianguleringen hållits fasta med ovanstående villkor. Man kan säga att Stockholms-traktens koordinatsystem sammanfaller med RT P (0 gon) vad gäller läget och är styrt av RT 1817 vad gäller orienteringen. (Skalan är bestämd ur en egen basmätning.)

*Referenser:* Andrae & Peters (1884), Börsch (1906), Krüger (1912), Rosén (1916, 1931), RAK (1967), Ussisoo (1977); G 1386, G 2501, G 3799.

#### 4.4 RT R och RT 90 (RT 1990)

Den tredje rikstrianguleringen, i vilken vinkelmätningar till största delen ersatts av längdmätningar, genomfördes 1967 - 1982 (figur 4-3). Nu beräknade man



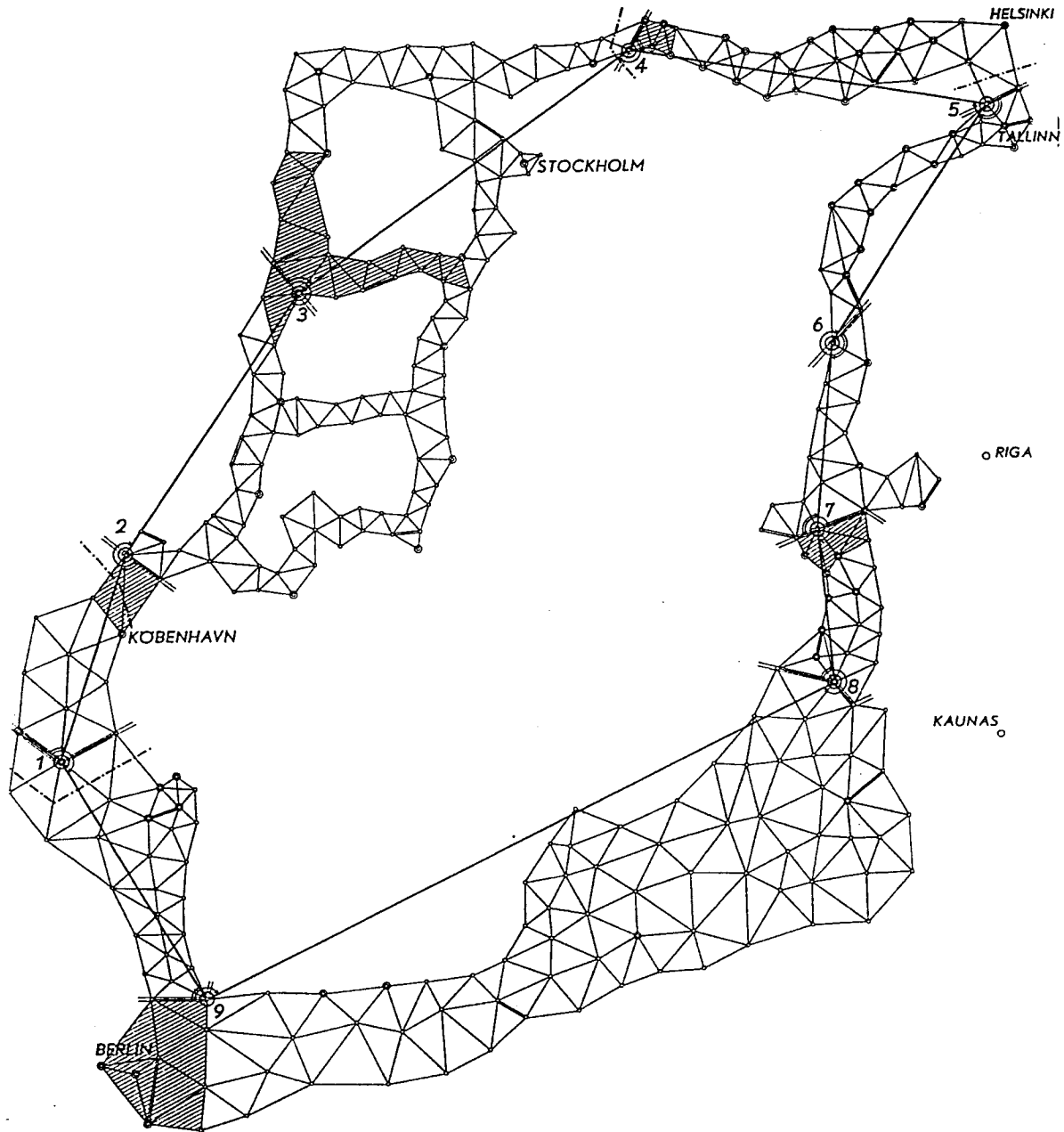
Figur 4-3. Nätet i RT 90 (tredje rikstrianguleringen).

först koordinater i 12 regionssystem, RT R 01 - RT R 12, över hela landet. Varje sådant system tilldelades en fast punkt med koordinater i RT 38 (eller i något av grannregionssystemen). Beräkningarna har gjorts på Bessels ellipsoid 1841 med geoidhöjder i RAK 70. Plana koordinater finns enligt Gauss-Krügers projektion med lokala medelmeridianer som i RT 38.

Sedan tredje rikstrianguleringen avslutats utfördes en beräkning av nätet i dess helhet i ett definitivt system, RT 1990 eller kort RT 90. I denna beräkning ingår även data från andra rikstrianguleringen. RT 90 är uppbyggt utgående från de europeiska systemen ED 79 och ED 87 (avsnitt 4.6) på följande sätt.

1. Systemet är först beräknat som en del av det preliminära nordiska blocket ("ND 87") inom ED 87, på Hayfords ellipsoid 1910 med datumpunkten Potsdam och geoidhöjder i NN 86.
2. Systemets läge, orientering och skala är därvid bestämda av att ett antal punkter vid dansk-tyska gränsen och den astronomiska punkten Lovö (geodetiska observatoriet) hållits fasta med koordinater i ED 79. Orienteringen är dessutom styrd av Laplacepunkterna från såväl andra som tredje rikstrianguleringen.
3. Poldriften har hanterats så att gradnätet hänför sig till (medel)polens läge omkring år 1900 ("CIO" = Conventional International Origin).
4. Resulterande  $\varphi$  och  $\lambda$  är via Gauss-Krügers konforma cylindriska projektion med medelmeridian  $15^{\circ}48'23''$  (på Hayfords ellipsoid) omräknade till  $x$  och  $y$ , med  $y$ -tillägget 1 500 000 m.
5. Detta system är sedan inpassat på RT 38 med en plan Helmertransformations med fast skala (translationer söderut med cirka 830 m och österut med nära 0 m samt vridning medurs med  $0.21$  mgon ( $0''84$ )).
6. Till de så erhållna  $x$  och  $y$  knyts, via Gauss-Krügers projektion med medelmeridian  $15^{\circ}48'29''8$  och nämnda  $y$ -tillägg,  $\varphi$  och  $\lambda$  på Bessels ellipsoid 1841.
7. Till följd av inpassningen på RT 38 är Bessels ellipsoid placerad så att  $N \approx 0$  m i Sverige.
8. Alla koordinater i Skåne är efter nymätning beräknade separat genom att punkter längs skånska gränsen hållits fasta med koordinater i RT 90.
9. Slutligen har Gotland placerats i systemet genom att vissa punkter där erhållit fasta koordinater i RT 90 genom transformation från det GPS-baserade systemet SWEREF 93 till RR 92 (avsnitten 6.1 och 6.3).

RT 90 kan således beskrivas som beräknat i det europeiska geodetiska datumet ED 50, till vilket ED 79 och ED 87 hör, men genom transformation överfört till det svenska geodetiska datumet RT 38. (Läget av RT 90 i latitudled på Bessels ellipsoid styrs alltså fortfarande ytterst av 1820 års astronomiska Ortsbestämning i



Figur 4-4. BKG:s nät.



Köpenhamn med Helmerts lodavvikelse där.) Det till RT 90 hörande plana koordinatsystemet betecknas ofta RT 90 2.5 gon V. (För lokalt bruk används dock även andra medelmeridianer, i intervaller om 2.5 gon.)

*Referenser:* Ussisoo (1977, 1978), Eliasson & Reit (1988), Vennström (1992), Reit (1995).

#### 4.5 BGK

En gemensam beräkning av triangelnäten runt Östersjön (figur 4-4), i vilken en del av andra rikstrianguleringen ingick, utfördes av Baltiska Geodetiska Kommissionen (BGK). Den relaterades till Hayfords ellipsoid 1910. Datumpunkt var den astronomiska punkten Nargö (Naisaar) utanför Tallinn, med lodavvikelser härledda (via triangelnätet) ur gravimetriskt bestämda lodavvikelser i södra Finland.

*Referens:* Ölander (1949).

#### 4.6 ED 50, ED 79 och ED 87

ED 50 (European Datum 1950) är det koordinatsystem som blev resultatet av den första gemensamma beräkningen av Europas triangelnät (figur 4-5). Här ingår den andra rikstrianguleringen från Sverige. ED 50 hänför sig till Hayfords ellipsoid 1910 med Potsdam som datumpunkt; mer därom nedan.

ED 79 är resultatet av den andra beräkningen av Västeuropas triangelnät, med stora mängder nya mätningar men i samma geodetiska datum som ED 50 (figur 4-6). Eftersom Potsdam av politiska skäl hade blivit oåtkomligt, överfördes utgångsvärdena där till München (Frauenkirche) som fast punkt. Från Sverige ingår en mindre mängd nya mätningar, från tredje rikstrianguleringen i södra delen av landet. (Det existerar även ett "ED 77", som är en preliminär version av ED 79.)

ED 87 är resultatet av den tredje beräkningen av Västeuropas triangelnät i samma geodetiska datum som ED 50 (jämför figur 4-6), också med München som fast punkt. Från Sverige ingår hela tredje rikstrianguleringen samt en del data från den andra. Därutöver ingår vissa satellitobservationer m.m. i ED 87, från Sverige Dopplermätningar och VLBI.

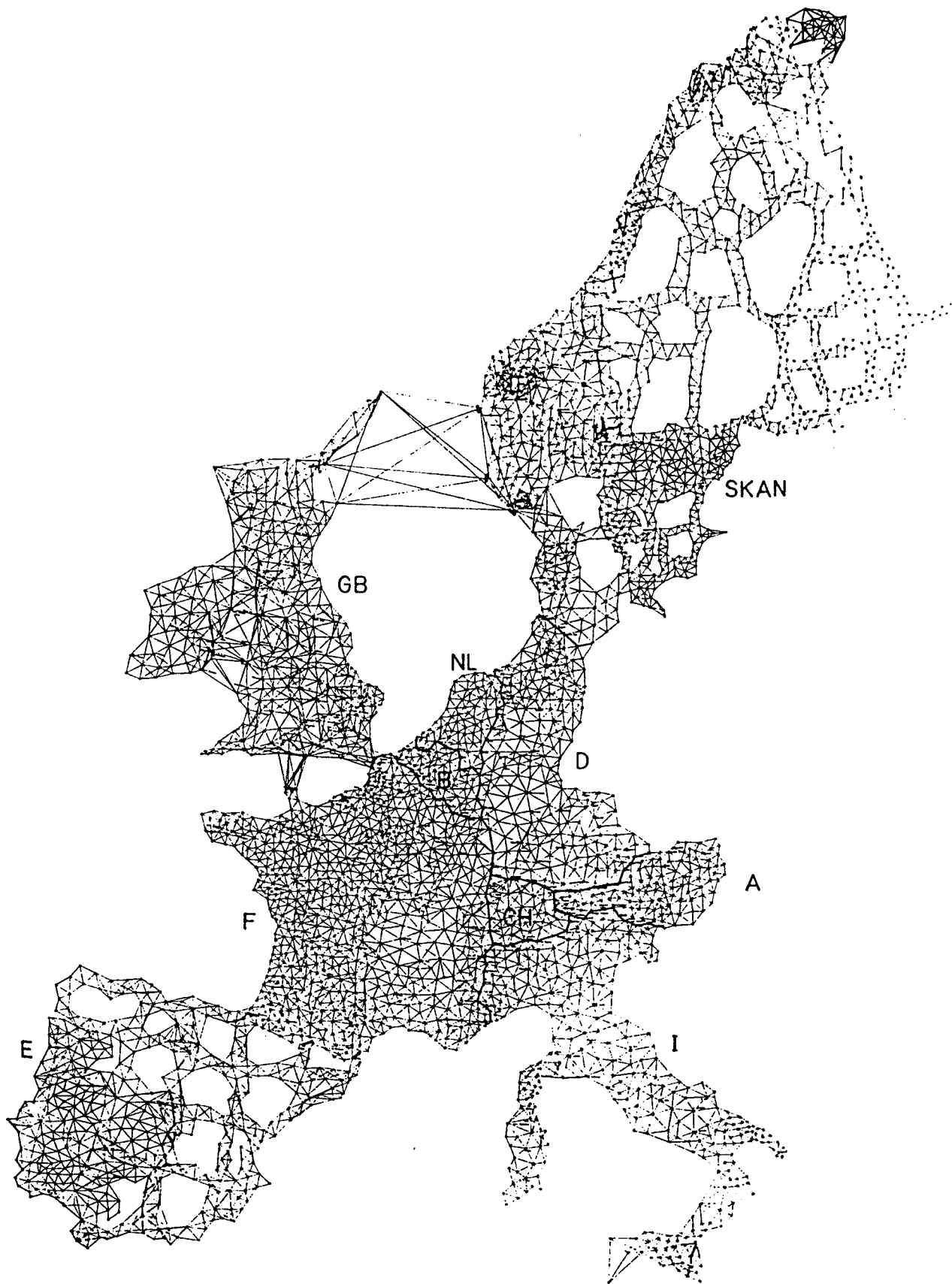
De tre ED-systemen är uppbyggda enligt gemensamma principer, som kan beskrivas på följande sätt.

1. Systemen är beräknade på Hayfords ellipsoid 1910.

2. Datumpunkt är Potsdam (Geodätisches Institut, "Helmertturm") med  $\varphi = 52^{\circ}22'51''4456$  och  $\lambda = 13^{\circ}03'58''9283$  samt  $\xi = 3''36$  och  $\eta = 1''78$ , fastställda ur astronomisk Ortsbestämning (kring sekelskiftet) och utjämning av lodavvikelser i Centraleuropas triangelnät. Som geoider, med  $N = 0$  i datumpunkten, har använts Wolfs geoid 1949 i ED 50, Bomfords geoid 1970 i ED 79 och NN 86 med flera i ED 87.



Figur 4-5. Nätet i ED 50, nordiska blocket.



Figur 4-6. Nätet i ED 79, med vissa kompletteringar detsamma som i ED 87.

3. Poldriften har hanterats så att gradnätet hänförs till (medel)polens läge omkring 1900 (CIO).

Till ED 50 finns dessutom ett plant koordinatsystem knutet, ED 50 UTM, enligt följande projektionsmetod.

4. Kartprojektion är Gauss-Krügers konforma cylindriska projektion (transversal Mercatorprojektion).

5. Medelmeridianer ligger i intervaller om  $6^\circ$ ; Sverige täcks i stort sett av medelmeridianerna  $15^\circ$  ("zon 33") och  $21^\circ$  ("zon 34").

6. En skalreduktionsfaktor 0.9996 används, så att medelmeridianen inte längre avbildas längdriktigt men projektionsfelen blir bättre fördelade.

7. Slutligen tillämpas ett y-tillägg på 500 000 m.

*Referenser:* Hecker & Schnauder (1905), Schnauder (1910), AMS (1948), Wolf (1949), Whitten (1952), Ussisoo (1977), Hornik & Reinhart (1980), Ehrnsperger (1988); G 4626.

## 5. Höjdsystem

9 olika höjdsystem har använts i Sverige. Rikets höjdsystem betecknas RH (H för höjd över geoiden); dessutom finns ett nordiskt system och några europeiska system.

### 5.1 RH 1860 och RH 1860 G

Den första systematiska höjdmätningen i Sverige var kontrollavvägningen 1857 - 1885, vars roll som fundamentalt höjdnät omedelbart därefter övertogs av första precisionsavvägningen. Kontrollavvägningen omfattade främst södra Sverige men även en del kustområden längre norrut. Nollnivån bestämdes ur vattenståndsobservationer vid de peglar som upprättats längs kusten, särskilt ur observationerna vid Vinga 1852 - 1866 och vid Ölands norra udde 1852 - 1871, som gav medelvattenytan där omkring år 1860. Vi betecknar detta höjdsystem RH 1860.

På Gotland utfördes en särskild avvägning 1872 - 1877, som fungerade som fundamentalt höjdnät där i 60 år. Dess system, RH 1860 G, hade en nollnivå definierad av skalstrecket 10.0 fot på pegeln i Visby (vilket ansågs vara i närheten av medelvattenytan).

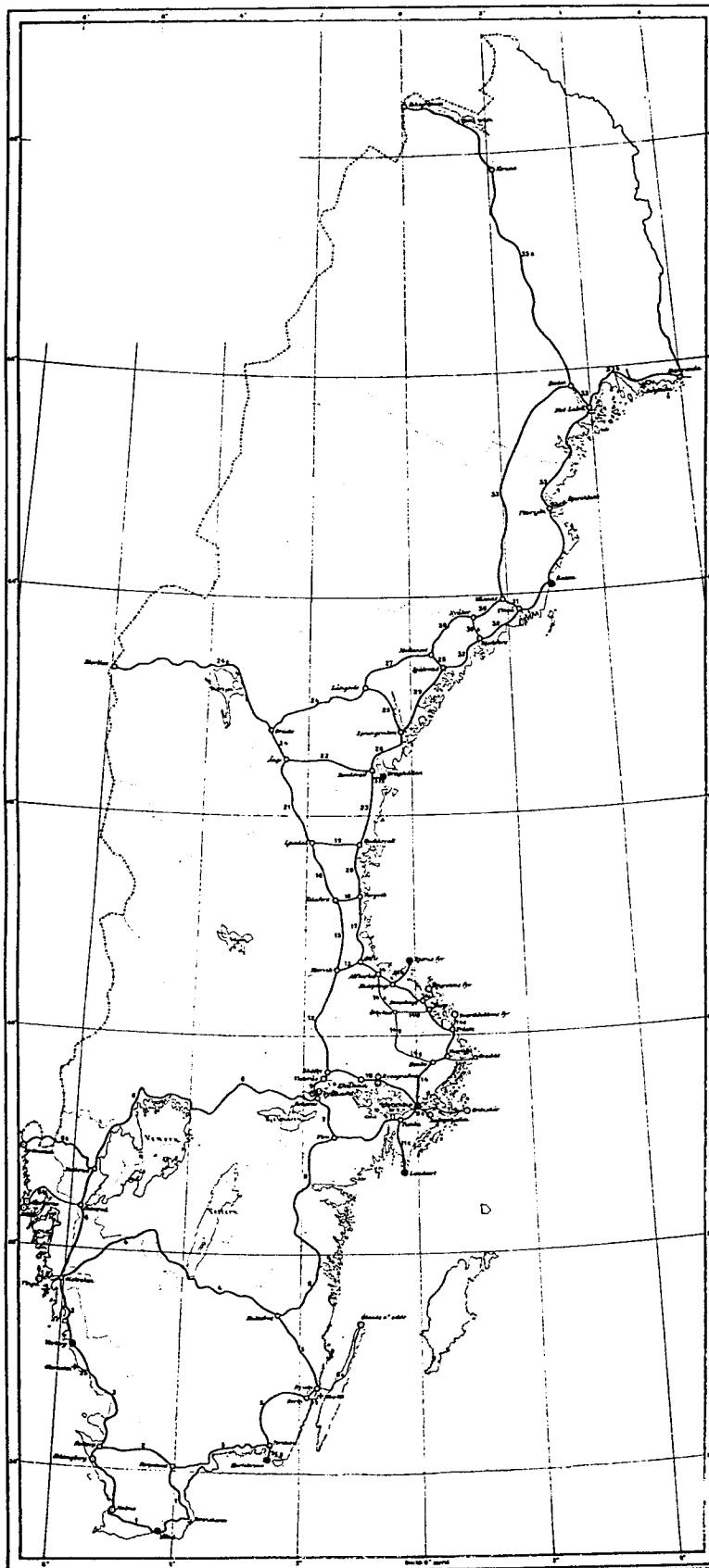
*Referenser:* Steinmetz (1877), Fagerholm (1879), Fagerholm & Tufvesson (1925); T 1087, T 1175.

### 5.2 RH 1900 och RH 1900 G

RH 1900 (eller kort RH 00) är systemet för den första precisionsavvägningen i Sverige, genomförd 1886 - 1905 (figur 5-1). Som  $H = 0$  valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900, beräknad ur vattenståndsdata från främst Stockholms sluss 1825 - 1898 och framräknad till 1900 med landhöjningsvärdet 5 mm/år (erhållet ur vattenståndsserien 1774 - 1852). Tyngdkraftfältet beaktades genom ortometrisk korrektion med användning av normalpotentialen på Helmerts ellipsoid, i princip resulterande i ortometriska höjder. Ingen korrektion utfördes för månens och solens inverkan, varför höjderna i princip hänförs till medelgeoiden. I brist på tillräcklig kännedom om landhöjningen inne i landet reducerades höjderna ej till någon gemensam epok, men bortsett från den allra nordligaste delen (som mättes efter sekelskiftet) kan 1892 betraktas som en approximativ epok.

Havshöjder (medelhavsytans höjd över geoiden) beräknades dels i RH 1900, dels i RH 1900 approximativt reducerat för landhöjningen till epoken 1905. Vattenstånden för epoken 1905 bestämdes därvid för 9 mareografer ur vattenståndsdata från 1898 - 1912.

På Gotland användes RH 1860 G tills en ny avvägning gjordes 1937, då ett nytt system, RH 1900 G (eller kort RH 00 G), etablerades. Nollnivån var medelvattenytan i Visby, sannolikt bestämd ur pegelobservationer 1916 - 1934.



Figur 5-1. Nätet i RH 1900 (första precisionsavvägningen).

Det bör noteras att RH 1900 fortfarande används som till exempel Stockholms höjdsystem.

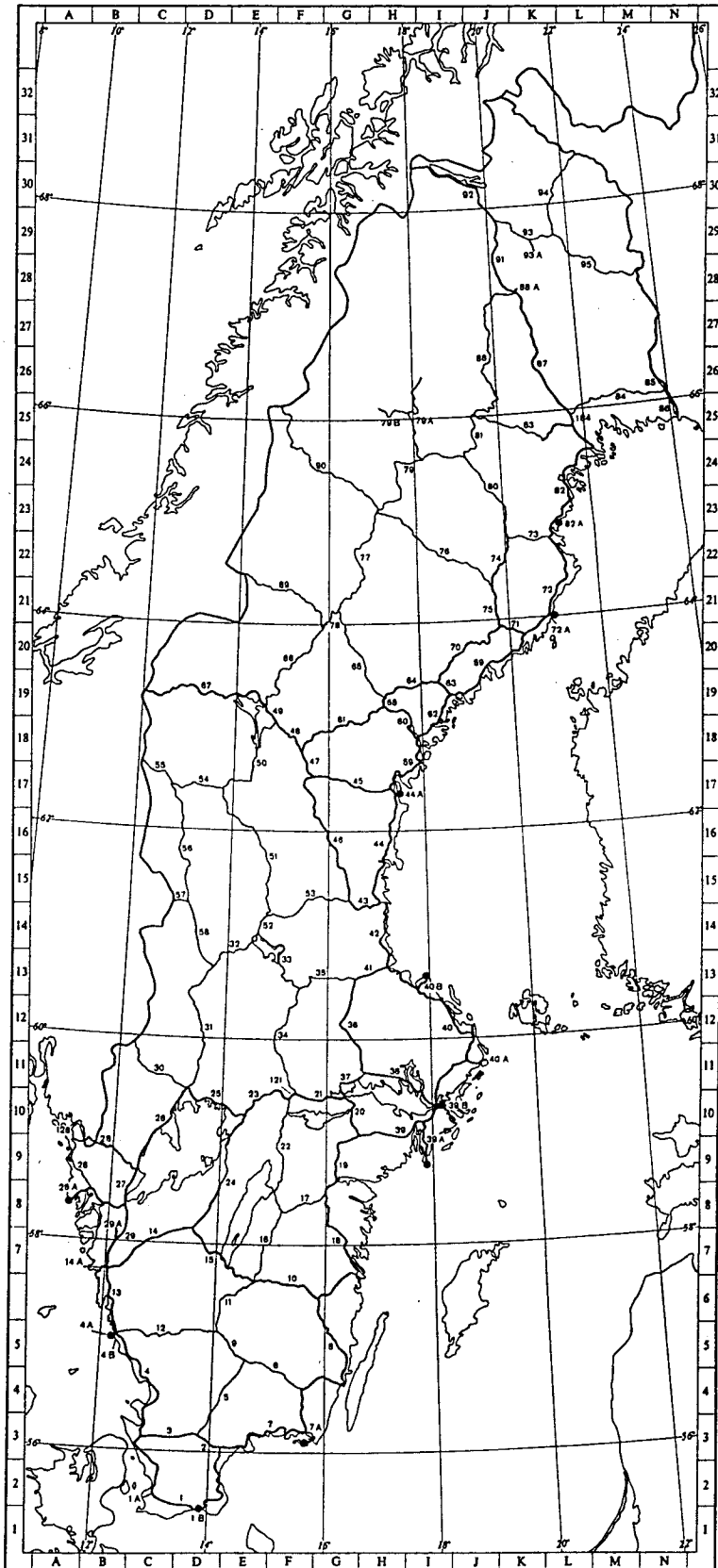
*Referenser:* Nordenskiöld (1858), Rosén (1899, 1906), Witting (1918), Fagerholm & Tufvesson (1925); G 2577, G 10030.

### 5.3 RH 70 (RH 1970)

RH 1970 eller kort RH 70 är systemet för den andra precisionsavvägningen i Sverige, genomförd 1951 - 1967 (figur 5-2). RH 70 är kopplat till det europeiska systemet UELN 55 (avsnitt 5.6) och är uppbyggt på följande sätt.

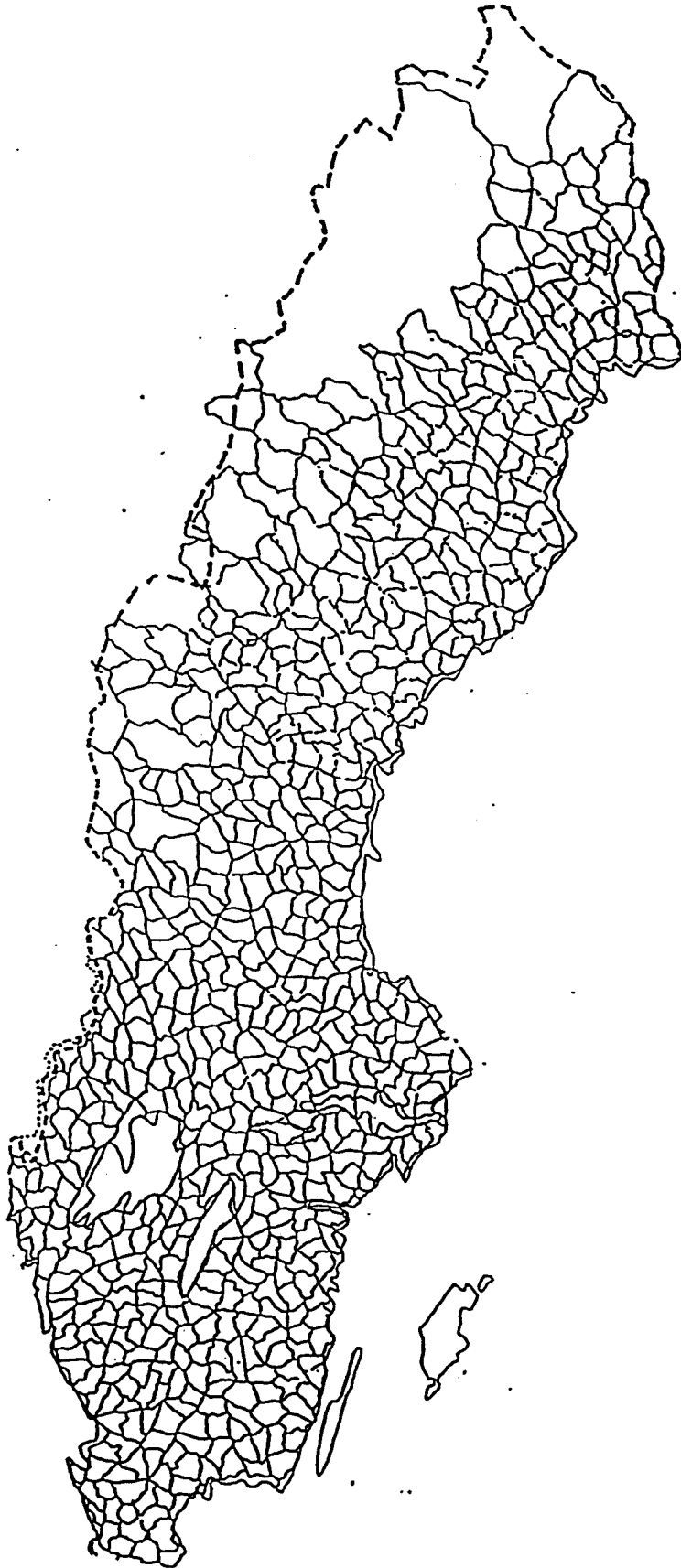
1. Som  $H = 0$  har antagits nollpunkten inom UELN 55, Normaal Amsterdams Peil (NAP), ursprungligen havets medelnivå i Amsterdam vid flod, beräknad ur vattenståndsdata från Amsterdams slussar 1683 - 1684. (Jämför även NH 60, avsnitt 5.5). Utgångshöjden i Sverige är geopotentialtalet i UELN 55 i Helsingborg, med den approximativa epoken 1950.
2. Geopotentialtal har beräknats med tyngdkraftsvärden i RG 62 (ECS 62). Därefter har normalhöjder beräknats genom att geopotentialtalen dividerats med höjdkorrigerade normaltyngdkraftsvärden från Hayfords ellipsoid.
3. Reduktion för månen och solen (permanenta tidjorden) är utförd så att höjderna hänförs till en tidjordsfri geoid, med elasticitetsfaktorn 0.8.
4. Reduktion för landhöjningen är gjord till epoken 1970.0 enligt följande metod. I en iterativ process har landhöjningen beräknats ur första och andra precisionsavvägningarna, och precisionsavvägningarna med landhöjningen reducerats till epokerna 1892.0 och 1960.0. Den färdigitererade landhöjningen har sedan anpassats till landhöjningen beräknad ur vattenståndsdata från cirka 1890 - 1967 för 11 mareografer längs kusten (som inte hållits fasta men givits mycket hög vikt). Landhöjningen är ej reducerad för den klimatologiska ändringen av havsnivån och därför apparent. Denna landhöjning har använts till den definitiva reduktionen av andra precisionsavvägningen till epoken 1960.0 (varvid den svenska utgångshöjden i UELN 55 reducerats från 1944.0). Slutligen har alla höjder med hjälp av samma landhöjning extrapolerats till epoken 1970.0.
5. Gotland har placerats i RH 70 genom jämförelse av vattenståndsdata från mareografen i Visby för 1970 - 1973 med motsvarande data från mareograferna Kungsholmsfort, Ölands norra udde och Landsort på fastlandet.
6. Havshöjder har beräknats i RH 70, varvid vattenstånden för epoken 1970 bestämdes för 12 mareografer ur samma vattenståndsserier som till landhöjningen, nämligen cirka 1890 - 1967.

Den tredje precisionsavvägningen (se nästa avsnitt) beräknas tills vidare i systemet RH 70 genom att andra precisionsavvägningens höjder hålls fasta. De punkter, som inte ingick i andra precisionsavvägningen (men vars höjder sedan dess



Figur 5-2. Nätet i RH 70 (andra precisionsavvägningen).





Figur 5-3. Nätet i RH 91 ? (tredje precisionsavvägningen).

i vissa fall beräknats i RH 70), får genom tredje precisionsavvägningen höjder, vilka betecknas "RH B 70".

*Referenser:* Pettersson (1968), Asplund (1968), RAK (1974), Ussisoo (1977a), Ekman (1989), Ekman & Mäkinen (1991); G 12032, P 611.

#### 5.4 RH 91 (RH 1991) ?

Den tredje precisionsavvägningen, som påbörjades 1979 och beräknas vara avslutad 2003 (figur 5-3), kommer att leda till ett nytt höjdsystem, sannolikt beräknat i ett nordiskt sammanhang. Följande kan förutses om detta system.

1. Nollpunkten bör liksom tidigare vara NAP i Amsterdam.
2. Geopotentialtal beräknas med tyngdkraft i RG 82. Höjderna bör gärna vara ortometriska höjder, i så fall beräknade som Helmerthöjder (med densitet  $2.67 \text{ g/cm}^3$ ), men ett fasthållande vid normalhöjder (dock med ellipsoid GRS 1980) är också tänkbart.
3. Höjderna bör referera till nollgeoiden eller möjligen till medelgeoiden; den tidjordsfria geoiden överges.
4. Landhöjningsepoken bör vara den medelepoken som används i beräkningarna, rimligast 1991.
5. Ålandsförbindelsen introducerad i NH 60 (avsnitt 5.5) bör ingå.

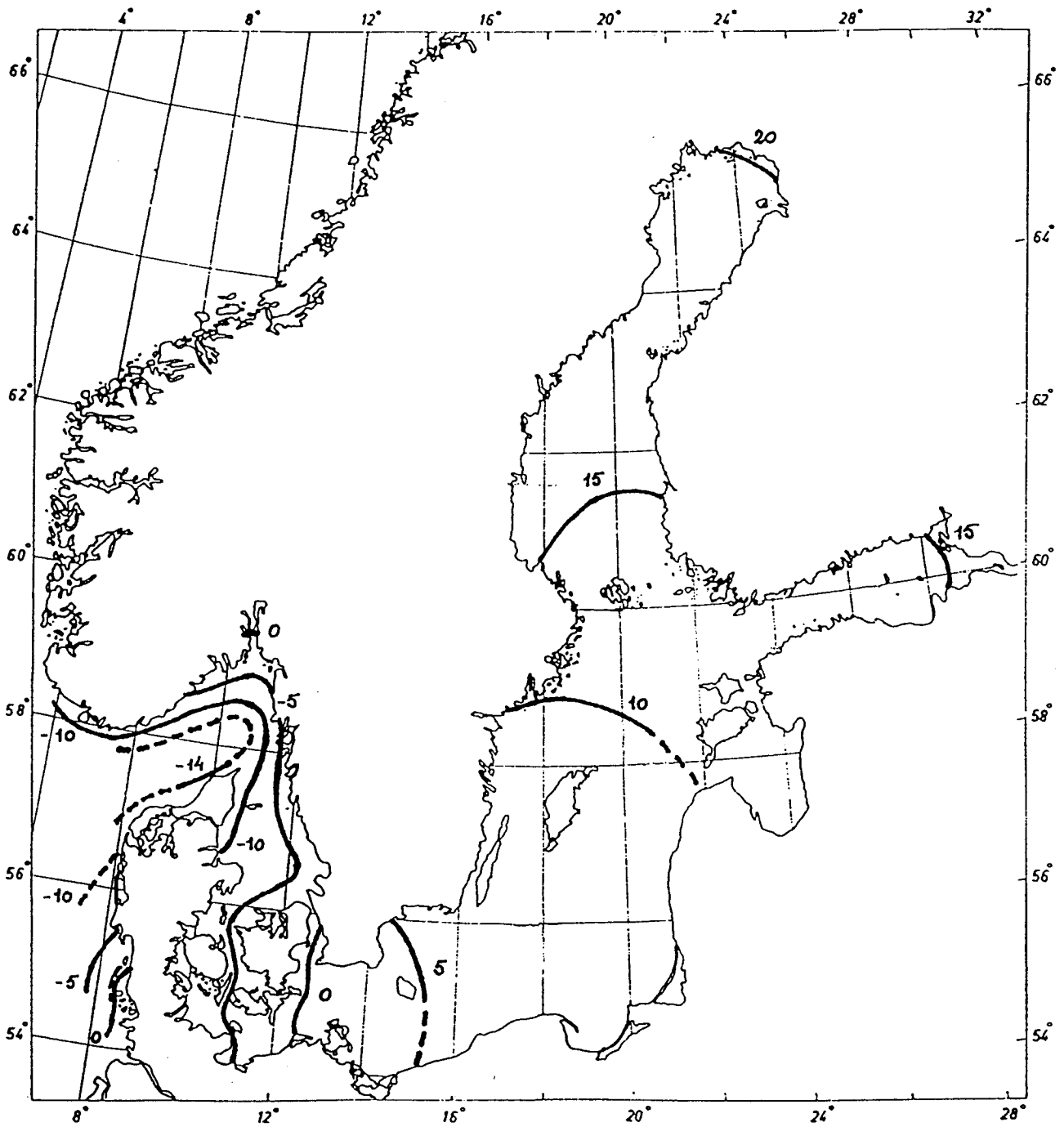
Ett höjdsystem enligt ovan kan lämpligen benämnas RH 1991 eller kort RH 91.

*Referens:* Ekman (1995).

#### 5.5 NH 60

NH 60 (Nordiska höjdsystemet 1960) är ett enhetligt nordiskt höjdsystem byggt på de andra precisionsavvägningarna (jämför figur 5-6) och särskilt avsett för havshöjder. Längs svenska kusten ligger havet på  $-10 \text{ cm} < H < 20 \text{ cm}$ ; se figur 5-4. Systemet är konstruerat på följande sätt.

1. Nollpunkten är NAP i Amsterdam, som även råkar ge  $H = 0$  i sydvästligaste Östersjön (nära inloppen).
2. Höjderna grundar sig på geopotentialtal, men eftersom alla havshöjder är små spelar valet av höjdslag efter tyngdkraftsfält ingen roll. Geopotentialtalen har dividerats med det approximativa tyngdkraftsvärdet  $0.982 \text{ kgal}$ .
3. Den permanenta tidjorden är behandlad så att höjderna refererar till medelgeoiden.
4. Höjderna på land är reducerade för landhöjningen till epoken 1960.0, med användning av landhöjningsvärden relativt geoiden väsentligen enligt Ekmans



Figur 5-4. Havsytan i NH 60 (cm).

landhöjningsmodell 1998 (se appendix; apparent landhöjning 1892 - 1991 + havsnivåns klimatologiska höjning 1.0 mm/år).

5. Vattenståndsdata är reducerade för sekulär ändring till samma epok som ovan, alltså 1960.0, med landhöjningsvärden relativt havsytan (apparenta landhöjningen) enligt samma modell.

6. En förbindelse mellan svenska och finska avväggningsnäten över Ålands hav har åstadkommit genom en beräkning av långtidsmedelvärdet av vattenståndsskillnaden tvärs över, som helt domineras av den geostrofiska effekten av havsströmmen där. På detta sätt har en slinga runt hela Bottniska viken kunnat slutas och påtagligt förstärka systemet.

*Referens:* Ekman & Mäkinen (1996).

## 5.6 UELN 55 och UELN 73

UELN 55 (United European Levelling Network 1955) är det höjdsystem som blev resultatet av den första gemensamma utjämnningen av Västeuropas höjdnät (figur 5-5). Här ingår en mindre del av den andra precisionsavvägningen från Sverige, kompletterad med en del av den första precisionsavvägningen. Nollpunkten i systemet är Normaal Amsterdams Peil (NAP), ursprungligen havets medelnivå i Amsterdam vid flod, beräknad ur vattenståndsdata från Amsterdams slussar 1683 - 1684 (17 cm över dåvarande medelvattenyta där). Geopotentialtal har beräknats med tyngdkraftsvärden i RG 41 för svensk del. Geopotentialtalen i det nordiska blocket är reducerade för landhöjningen till epoken 1944.0 och sedan framräknade till epoken 1950.0, i Sverige med provisoriska landhöjningsvärden huvudsakligen interpolerade från mareografdata.

Havshöjder har beräknats i UELN 55, varvid vattenstånden för epoken 1950 bestämdes för 5 mareografer ur vattenståndsdata från cirka 1900 - 1957.

UELN 73 är resultatet av den andra gemensamma utjämnningen av Västeuropas höjdnät (figur 5-6). Från Sverige ingår hela den andra precisionsavvägningen. Nollpunkten är densamma som i UELN 55, alltså NAP i Amsterdam. Geopotentialtal har beräknats med tyngdkraftsvärden i IGSN 71. Geopotentialtalen i det nordiska blocket är reducerade till epoken 1960.0, i Sverige med samma landhöjningsvärden som i RH 70. UELN 73 omfattar inga havshöjder.

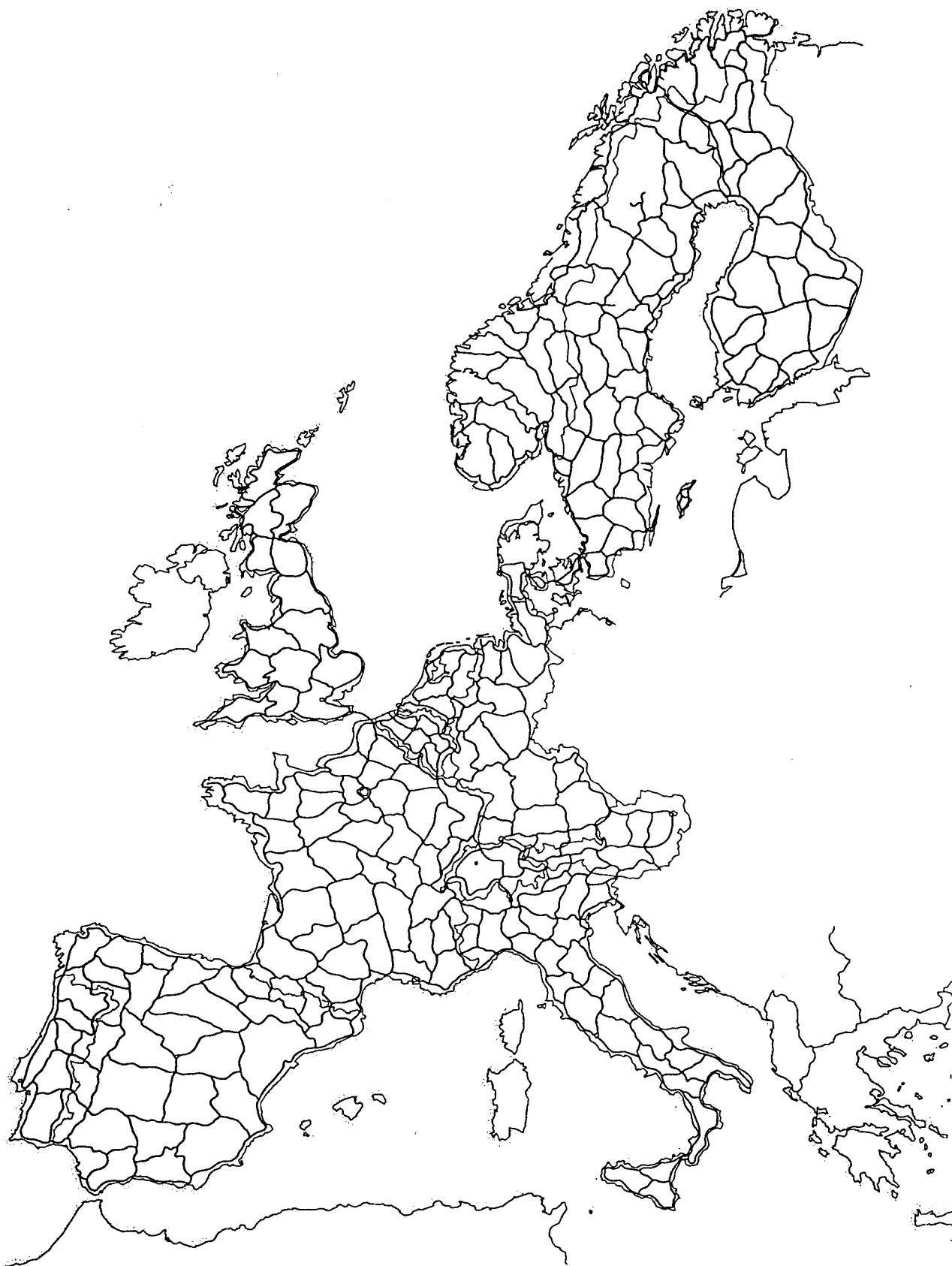
För bägge UELN-systemen gäller att inga höjder (till lands) är definierade ur geopotentialerna. Dessutom är permanenta tidjorden inbakad så som den råkar vara behandlad i respektive land.

För att approximativt knyta de "frigivna" länderna i Östeuropa till UELN är ett provisoriskt system för hela Europa ("UELN 95") på gång.

*Referenser:* van Veen (1954), Kääriäinen (1959), Simonsen (1960), Ehrnsperger & Kok (1986), Waalewijn (1987).



Figur 5-5. Nätet i UELN 55.



Figur 5-6. Nätet i UELN 73.

## 6. Tredimensionella koordinatsystem

I Sverige har 6 olika tredimensionella koordinatsystem använts, varav ett dock är en sammanfogning av andra system. Systemen är svenska, europeiska och globala. Koordinaterna är normalt ursprungligen cartesiska koordinater  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , som med ellipsoiden specificerad förvandlats till geodetiska koordinater  $\varphi$ ,  $\lambda$  och  $h$ .

### 6.1 RR 92

RR 92 (RR = Rikets referenssystem) är ett "oäkta" tredimensionellt system baserat på Bessels ellipsoid 1841 med  $N \approx 0$  i Sverige. Det är en ren sammanfogning av det horisontella systemet RT 90, geoidhöjdssystemet RN 92 och höjdssystemet RH 70.

*Referens:* Reit (1994).

### 6.2 WGS 84 SCANDOC

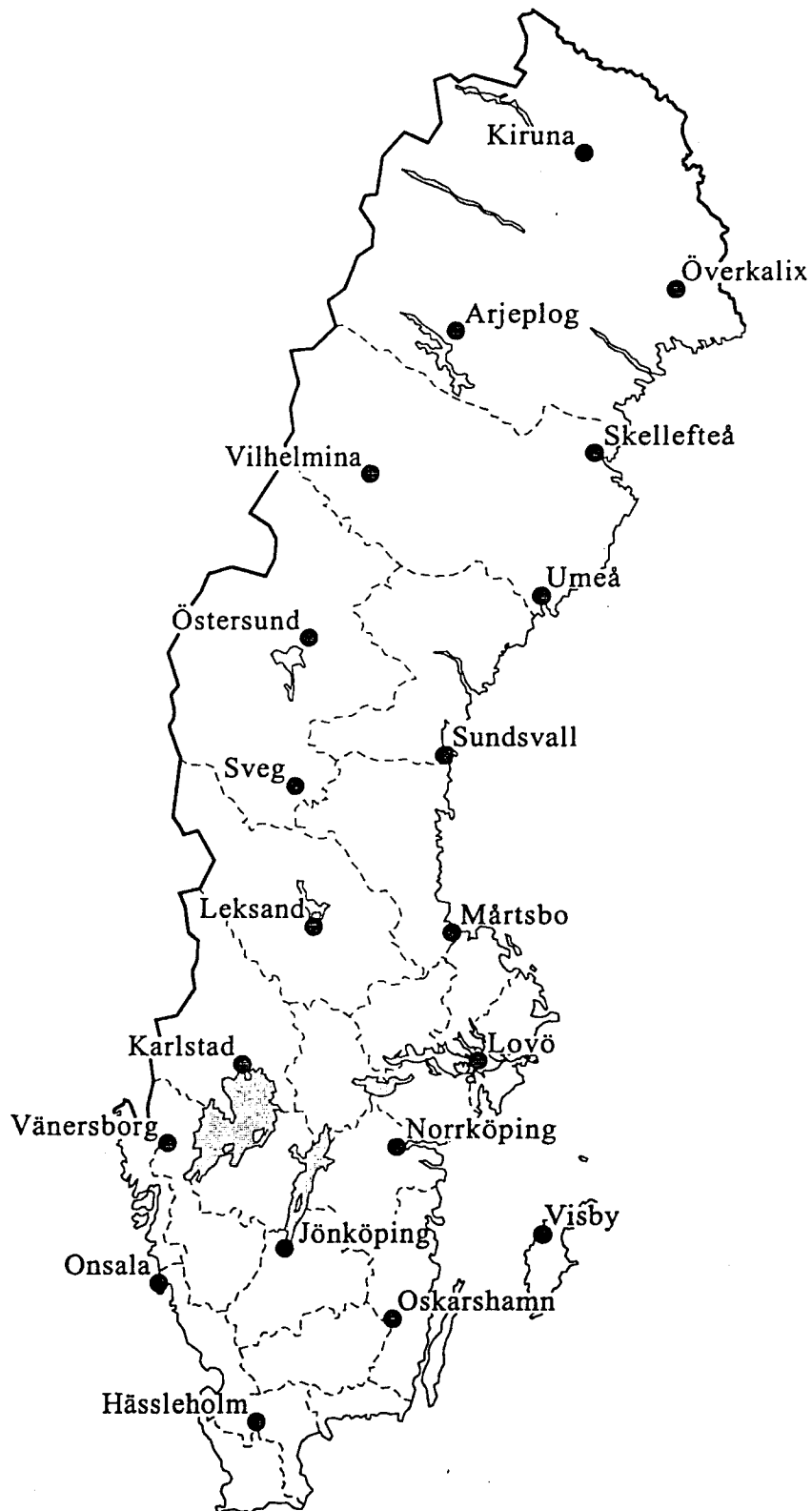
WGS 84 SCANDOC (efter Scandinavian Doppler campaign) är ett preliminärt tredimensionellt system på ellipsoiden WGS 84 (GRS 1980), som man försökt placera geocentriskt genom dopplermätningar. Systemet bygger i Sverige på 7 stationer.

*Referenser:* DMA (1987), Hedling & Reit (1989), Sundsby (1989), Jivall & Persson (1993).

### 6.3 SWEREF 93

Ett nät av fasta referensstationer för satellitgeodetisk positionsbestämning med GPS i Sverige (SWEPOS) upprättades 1993 (figur 6-1). Tillhörande tredimensionella system benämns SWEREF 93 (SWEREF = Swedish Reference Frame) och är uppbyggt på följande sätt.

1. Systemet är knutet till ellipsoiden GRS 1980, geocentriskt placerad.
2. Polen är CTP (Conventional Terrestrial Pole, medelpolen omkring 1900).
3. Koordinater är först beräknade i det globala systemet ITRF 91, epok 1993.6 (jämför avsnitt 6.5), med den till Onsala knutna VLBI-stationen Wettzell som fast punkt (det provisoriska systemet "DOSE 93A").
4. Detta system är sedan med en tredimensionell Helmerttransformation med fast skala inpassat på det europeiska systemet EUREF 89 (avsnitt 6.4), i 11 punkter varav 5 svenska.
5. Systemet hänför sig av allt att döma till en tidjordsfri jord (med elastisk deformationsfaktor).
6. Den platttektoniska epoken är 1989.



Figur 6-1. Fasta referensstationer i SWEREF 93 (SWEPOS-nätet).



7. Landhöjningsepoken är närmast 1993, eftersom endast få av stationerna i inpassningen har någon betydande landhöjning. För reduktion till epoken 1970 i samband med beräkningen av geoidhöjdssystemet SWEN 98 har använts absoluta landhöjningsvärden enligt Ekmans landhöjningsmodell 1998 (se appendix).

Till den horisontella delen av SWEREF 93 finns i vissa fall även ett plant system knutet, SWEREF 93 UTM, enligt samma projektionsmetod som i ED 50 UTM; se avsnitt 4.6.

*Referenser:* Reit (1994, 1995a), Jivall & Persson (1996).

#### 6.4 EUREF 89

EUREF 89 (EUREF = European Reference Frame) är ett europeiskt system, som utgör en GPS-förtätning (figur 6-2) av det globala systemet ITRF 89 (avsnitt 6.5) i Europa. Det kan beskrivas med följande egenskaper.

1. Systemet är knutet till ellipsoiden GRS 1980, geocentriskt placerad.
2. Polen är CTP (medelpolen omkring 1900).
3. Stationerna med koordinater i ITRF 89 (22 stycken) har hållits fasta i beräkningen, i Norden VLBI-stationerna Onsala, Tromsø och Metsähovi.
4. Permanenta tidjorden tycks vara behandlad så att koordinaterna hänför sig till en tidjordsfri jord (med elastisk deformationsfaktor).
5. Reduktion för kontinentens plattetektoniska rörelse är gjord till epoken 1989.0.
6. Beträffande landhöjningen är epoken närmast 1989.4 (då mätningarna är gjorda), eftersom de fasta stationerna endast har obetydlig landhöjning.
7. De "frigivna" länderna i Östeuropa har i efterhand hakats på systemet.

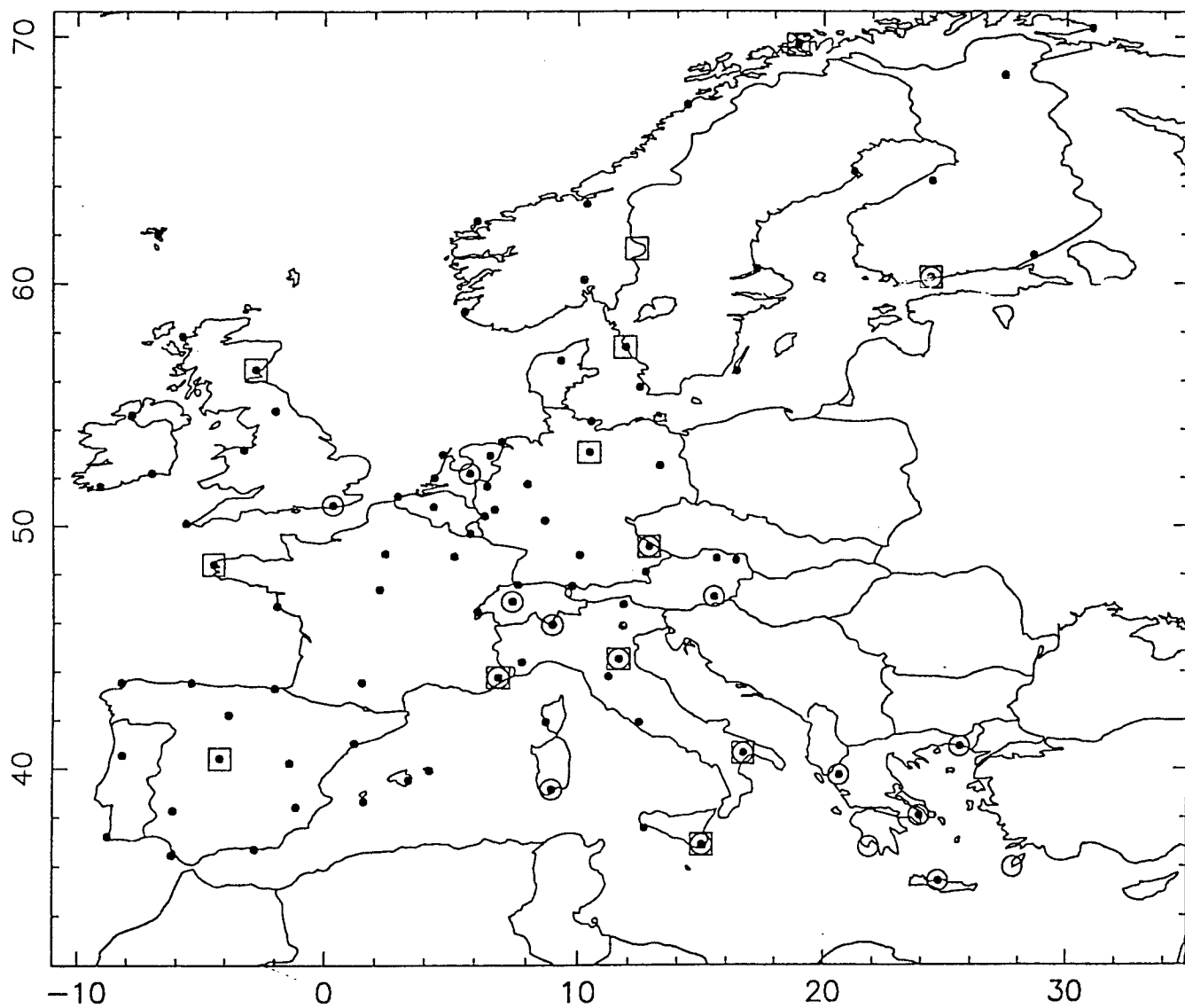
Senare har nya förtätningar gjorts utgående från nyare ITRF-system som på visst sätt transformerats till ITRF 89, epok 1989.0; dessa resultat kallas ofta "ETRF xx".

Till EUREF 89 knyts liksom till SWEREF 93 ibland ett plant system, EUREF 89 UTM, enligt samma projektionsmetod som i ED 50 UTM; se avsnitt 4.6.

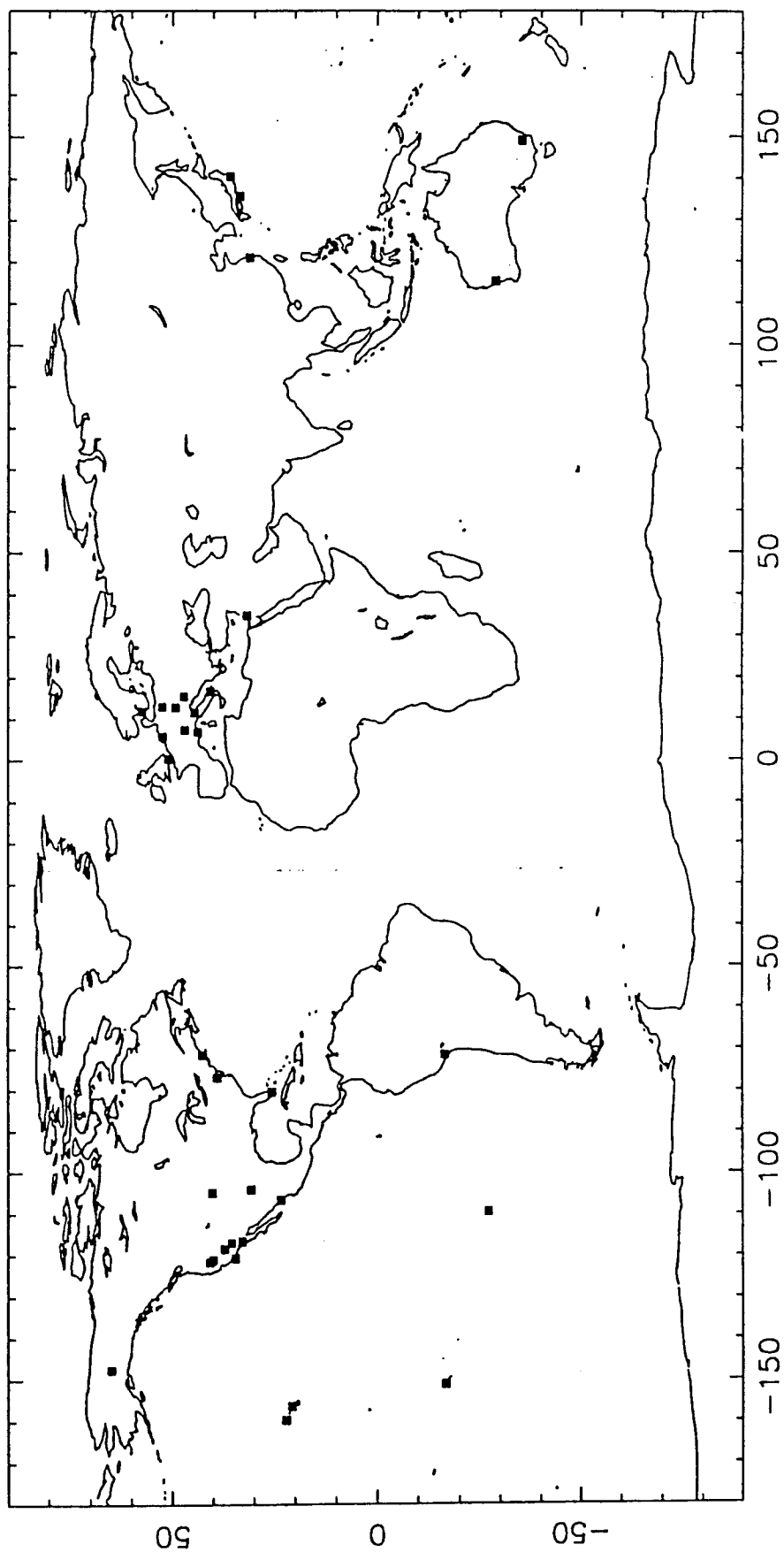
*Referenser:* Boucher & Altamimi (1992), Gurtner m.fl. (1992).

#### 6.5 ITRF 89 m.fl.

ITRF (International Terrestrial Reference Frame) är en samling internationellt utarbetade globala system. Dessa system beräknas återkommande, till en början varje år (med start 1988). De är uppbyggda med hjälp av rymd- och satellitmetoder, från början VLBI och SLR, numera även GPS. I botten ligger dock äldre astronomiska Ortsbestämningar, vars lodavvikelser och därigenom geodetiska latituder och longituder genom rymdmetoderna kunnat fastställas i ett gemensamt och



Figur 6-2. Ursprungliga stationer i EUREF 89.



Figur 6-3. Primära stationer i ITRF 0.

geocentriskt system. (Genom detta förfarande motsvarar den internationella nollmeridianen närmast Greenwich-observatoriets platttektoniska läge omkring 1900.) Ett utgångssystem, ITRF 0, beräknades först för en uppsättning primära stationer (figur 6-3). Därefter beräknas, från och med ITRF 89, återkommande nya system med allt flera (viktade) stationer. ITRF karakteriseras av följande egenskaper.

1. Systemen är knutna till ellipsoiden GRS 1980, geocentriskt placerad.
2. Polen är CTP (medelpolen omkring 1900).
3. Systemen är uppbyggda från de 34 primära stationerna i ITRF 0, i Norden Onsala.
4. Permanenta tidjorden skall enligt de ursprungliga föreskrifterna behandlas så att en nolljord (= medeljord) erhålls, men i praktiken tycks beräkningarna vara gjorda så att resultatet blivit en tidjordsfri jord (med elastisk deformationsfaktor, ej närmare specificerad).
5. De första systemen redovisas i epoken 1988.0 (ITRF 0 samt ITRF 89, 90, 91 och 92), de senare i epoken 1993.0 (ITRF 93, 94 och 96, ITRF 93 även i 1988.0). För reduktionerna till dessa epoker har använts hastigheter grundade på olika plattrörelsemodeller (se appendix): Minster & Jordans plattrörelsemodell 1978 (ITRF 89 och 90), NUVEL 1 (ITRF 91 och 92) samt NUVEL 1A (ITRF 93, 94 och 96, ITRF 93 även med annan reduktion).
6. Till landhöjningen i Norden (och Canada) tas än så länge ingen hänsyn.

*Referenser:* McCarthy (1989, 1992, 1996), Boucher & Altamimi (1989, 1991, 1991a), Boucher m.fl. (1992, 1993, 1994, 1996).

## 6.6 WGS 84

WGS 84 är ett av amerikanska myndigheter konstruerat globalt system - egentligen en grupp av system - för realtidsbestämning av koordinater med GPS (med Doppler-föregångare i "WGS 66" och "WGS 72"). Det är numera knutet till ITRF-systemen och offentliggörs då och då i nya versioner allteftersom ITRF förbättras. WGS 84 G 730 (efter "GPS-vecka 730") sammanfaller i princip med ITRF 91, epok 1994.0; WGS 84 G 873 sammanfaller på motsvarande sätt med ITRF 94, epok 1997.0.

*Referenser:* DMA (1987), Malys & Slater (1994), Malys m.fl. (1997).

## 7. Tyngdkraftssystem

6 olika tyngdkraftssystem har använts i Sverige. Rikets tyngdkraftssystem betecknas RG (G för tyngdkraft), av vilka ett sammanfaller med ett europeiskt system. Dessutom finns ett par globala system.

### 7.1 RG 1896

En nord-sydlig fundamental tyngdkraftslinje genom Sverige, bestående av 5 punkter, upprättades 1889 - 1896. Hithörande tyngdkraftssystem, RG 1896, grundades på referensvärdet för tyngdkraft i Wien (Militär-geographisches Institut),  $g = 980\,876$  mgal (bestämt från absolutmätningar i Wien och München). Förbindelsen från Wien gjordes via Potsdam ( $g = 981\,292$  mgal) till Lund. Tyngdkraftsanomalier i RG 1896 beräknades med normaltyngdkraften på Helmerts ellipsoid 1884.

*Referenser:* von Sterneck (1891), Borrass (1896), Rosén (1898).

### 7.2 RG 41 (RG 1941)

RG 1941 eller kort RG 41 är systemet för det första fundamentala tyngdkraftsnätet i Sverige, uppmätt 1941 - 1948 (figur 7-1). Det byggde på det allmänt brukade absolutbestämda tyngdkraftsvärdet i Potsdam (Geodätisches Institut) från sekelskiftet,  $g = 981\,274$  mgal. Förbindelsen från Potsdam gjordes via Helsingfors till Stockholm. Tyngdkraftsanomalier i RG 41 beräknades med normaltyngdkraften på Hayfords ellipsoid 1910 ("Internationella tyngdkraftsformeln" 1930).

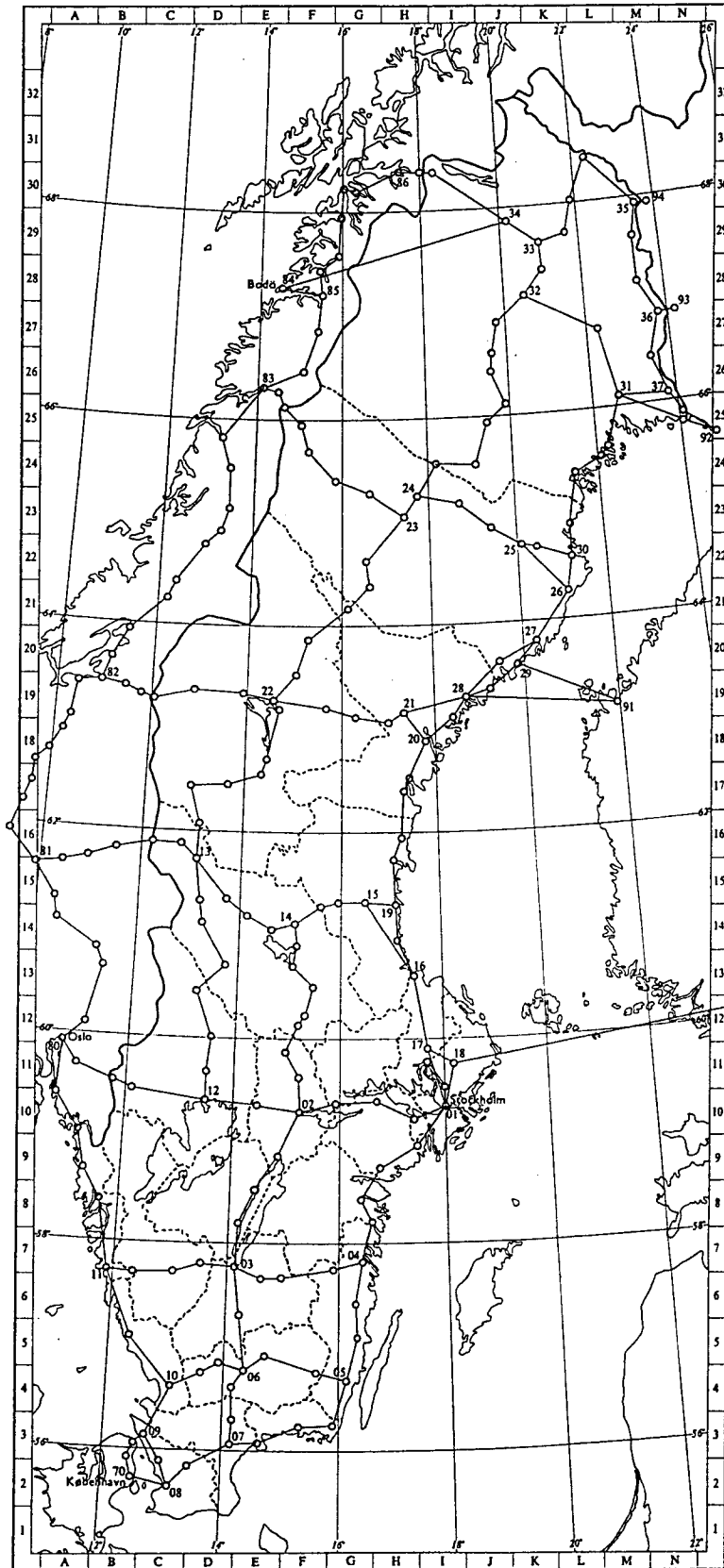
*Referenser:* Kühnen & Furtwängler (1906), Wideland (1946, 1951).

### 7.3 RG 62 (RG 1962) = ECS 62

RG 1962 eller kort RG 62 är systemet för det andra fundamentala tyngdkraftsnätet i Sverige, uppmätt 1960 - 1966 (figur 7-2). Det är anslutet till det europeiska systemet ECS 62 (European Calibration System 1962), vars nivå bygger på samma absolutvärde i Potsdam som i RG 41 ovan. Eftersom Potsdam av politiska skäl blivit oåtkomligt, överfördes dock värdet där till Bad Harzburg som fast punkt i ECS 62. Vid beräkningen av RG 62 har Köpenhamn, Oslo och Bodø hållits fasta med sina värden i ECS 62, vilka alltså i praktiken styr det svenska systemet. Detta betraktas därför ofta som en del av ECS 62. Tyngdkraftsanomalier i detta system är beräknade med normaltyngdkraften på Hayfords ellipsoid 1910 ("Internationella tyngdkraftsformeln" 1930).

*Referenser:* Kneissl & Marzahn (1963), Pettersson (1967).





Figur 7-2. Nätet i RG 62 (andra fundamentalnätet för tyngdkraft).

## 7.4 RG 82 (RG 1982)

RG 1982 eller kort RG 82 är systemet för det tredje fundamentala tyngdkraftsnätet i Sverige, uppmätt 1981 - 1982 (figur 7-3). RG 82 är definierat på följande sätt.

1. Systemet vilar på italienska absolutmätningar i Sodankylä, Mårtsbo, Göteborg och Köpenhamn. De italienska resultaten är före utjämningen omräknade av flera olika skäl, främst permanenta tidjorden. Absolutstationerna har ej hållits fasta men viktats tämligen högt. Högsta vikt har Mårtsbo (geodetiska observatoriet), nordisk huvudstation i de italienska absolutmätningarna i Europa, med  $g = 981\,923\,484 \mu\text{gal}$  (såväl före som efter utjämningen).
2. Permanenta tidjorden är hanterad på så sätt att tyngdkraftsbegreppet är noll-tyngdkraften.
3. Reduktion för poldriften (med elasticitetsfaktorn 1.16) är gjord till CTP (Conventional Terrestrial Pole, medelpolen omkring 1900), vilket i Sverige innebär praktiskt taget samma sak som reduktion till epoken 1982 nedan.
4. Reduktion för landhöjningen är gjord till epoken 1982. Absolutbestämningarna är reducerade till detta år (från 1976) med faktorn  $-0.2 \mu\text{gal}/\text{mm}$  absolut landhöjning, enligt en preliminär version av Ekmans landhöjningsmodell 1998 (se appendix; den absoluta landhöjningen har erhållits ur den apparenta med tillägg av  $1.0 \text{ mm}/\text{år}$  för havsytans höjning och  $0.5 \text{ mm}/\text{år}$  för geoidens höjning i mellersta och norra Sverige).

*Referenser:* Cannizzo m.fl. (1978), Ekman & Haller (1988), Haller & Ekman (1988), Ekman (1989).

## 7.5 IGSN 71

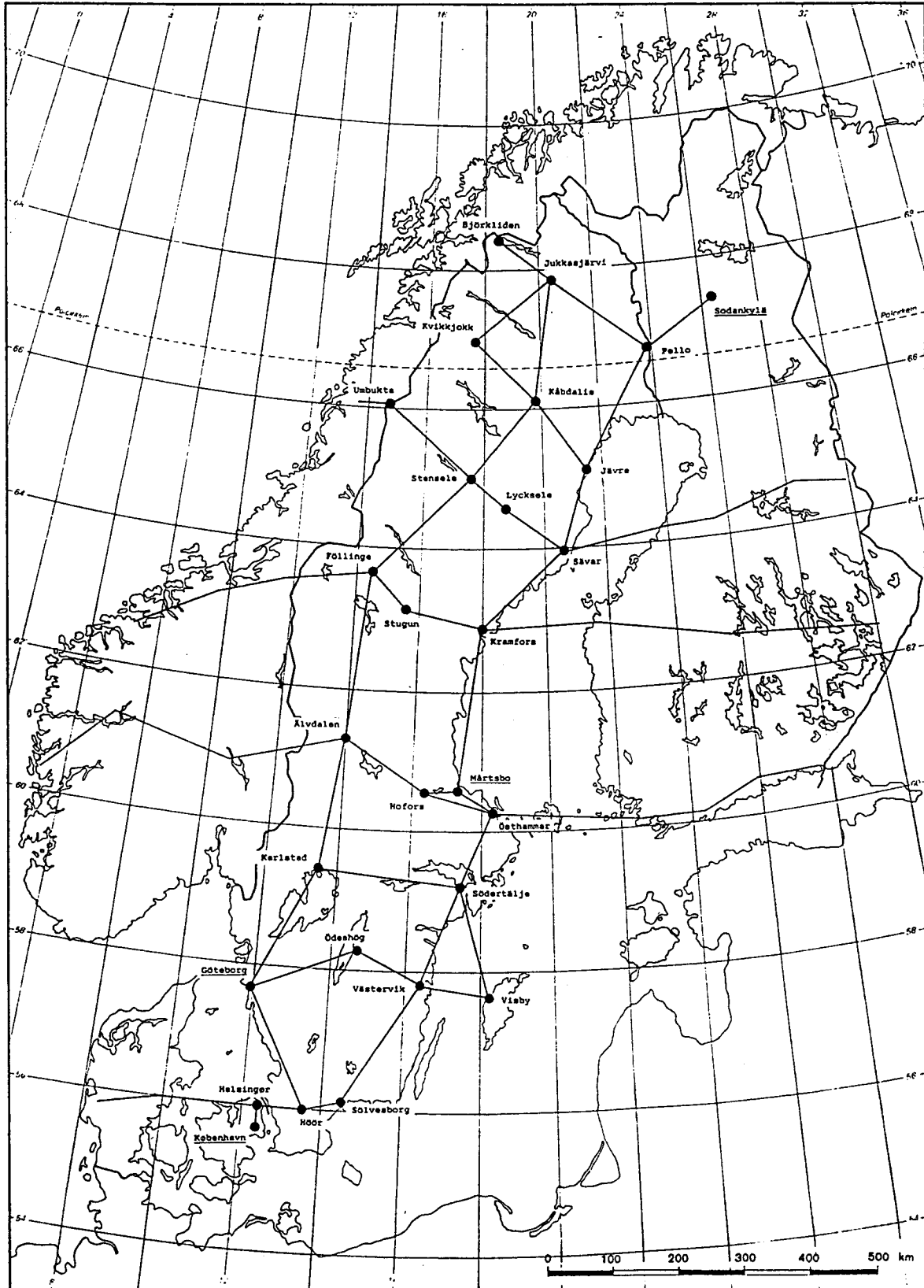
IGSN 71 (International Gravity Standardization Net 1971) är ett globalt system byggt på 8 absolutpunkter i Amerika och Europa (figur 7-4); de europeiska absolutpunkterna är Teddington och Sevres. Absolutvärdena har ej hållits fasta utan ingår i nätutjämningen. Permanenta tidjorden har behandlats så att medeltyngdkraften erhållits. Epoken inom Norden kan anses vara ungefär 1965 (då de viktigaste förbindelserna hit är mätta). Det andra fundamentalnätet i Sverige är provisoriskt anslutet till IGSN 71. Nordiska tyngdkraftsanomalier finns beräknade i IGSN 71 med normaltyngdkraften i GRS 1980.

*Referenser:* Hammond & Faller (1971), Morelli (1974), Haller & Ekman (1988).

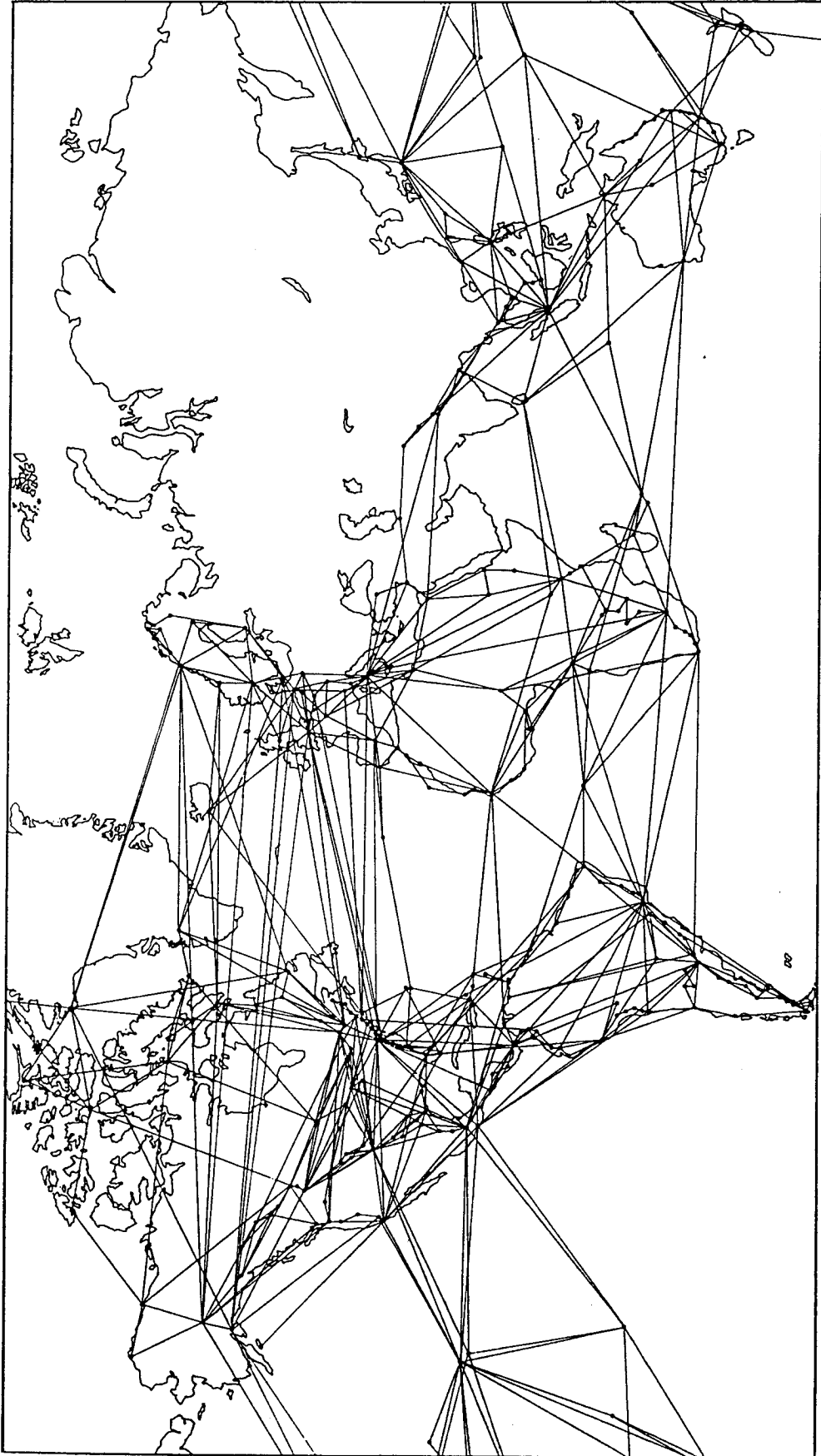
## 7.6 IAGBN ?

Ett nytt globalt tyngdkraftssystem, preliminärt benämnt IAGBN (International Absolute Gravity Base-station Network), bestående av enbart absolutpunkter, är under uppbyggnad. Systemet är tänkt att definieras enligt följande.





Figur 7-3. Nätet i RG 82 (tredje fundamentalnätet för tyngdkraft).



Figur 7-4. Nätet i IGSN 71.

1. Systemet kommer att vila på minst ett 20-tal absolutpunkter, varav tre i Europa, i Norden Sodankylä.
2. Permanenta tidjorden skall behandlas så att nolltyngdkraften erhålls.
3. Reduktion för poldriften skall göras till CTP (med elasticitetsfaktorn 1.16).
4. Värdena skall i övrigt ges i den epok de är mätta (upprepade mätningar); eventuell reduktion för landhöjningen hos oss till enhetlig epok får man ombesörja själv (se exempelvis appendix).

Som synes skulle IAGBN i epok 1982 komma att bygga på samma principer som RG 82 ovan.

· *Referens: Boedecker (1988).*

## Appendix: Modeller för systemens tidsberoende

De moderna referenssystemens epokberoende gör att man behöver modeller för systemens tidsderivator, det vill säga för koordinaternas (höjdernas, tyngdkraftsvärdenas) årliga ändringar med tiden till följd av främst plattrörelserna och landhöjningen.

### *Plattrörelserna*

En serie globala plattrörelsemodeller finns till de horisontella komponenterna i de tredimensionella koordinatsystemen. Dessa modeller är Minster & Jordans plattrörelsemodell 1978 ("AMO-2") samt de nyare NUVEL 1 (NNR) och NUVEL 1A (NNR), som alla har använts till de olika ITRF-systemen. Modellerna bygger på geomagnetiska data som återspeglar de senaste årmiljonernas rörelser, mot vilka dagens hastigheter anses vara proportionella. Detta ger först plattornas hastigheter relativt varandra. Härur definieras deras absoluta hastigheter genom villkoret att jordskorpan sedd som helhet inte skall undergå någon rörelse alls ("ingen nettorörelse"). De 12 plattor som ingår i NUVEL-modellerna visas i figur A-1. Hastigheten för den eurasiska plattan i Norden (Onsala) är enligt dessa modeller 22 mm/år i ostnordostlig riktning.

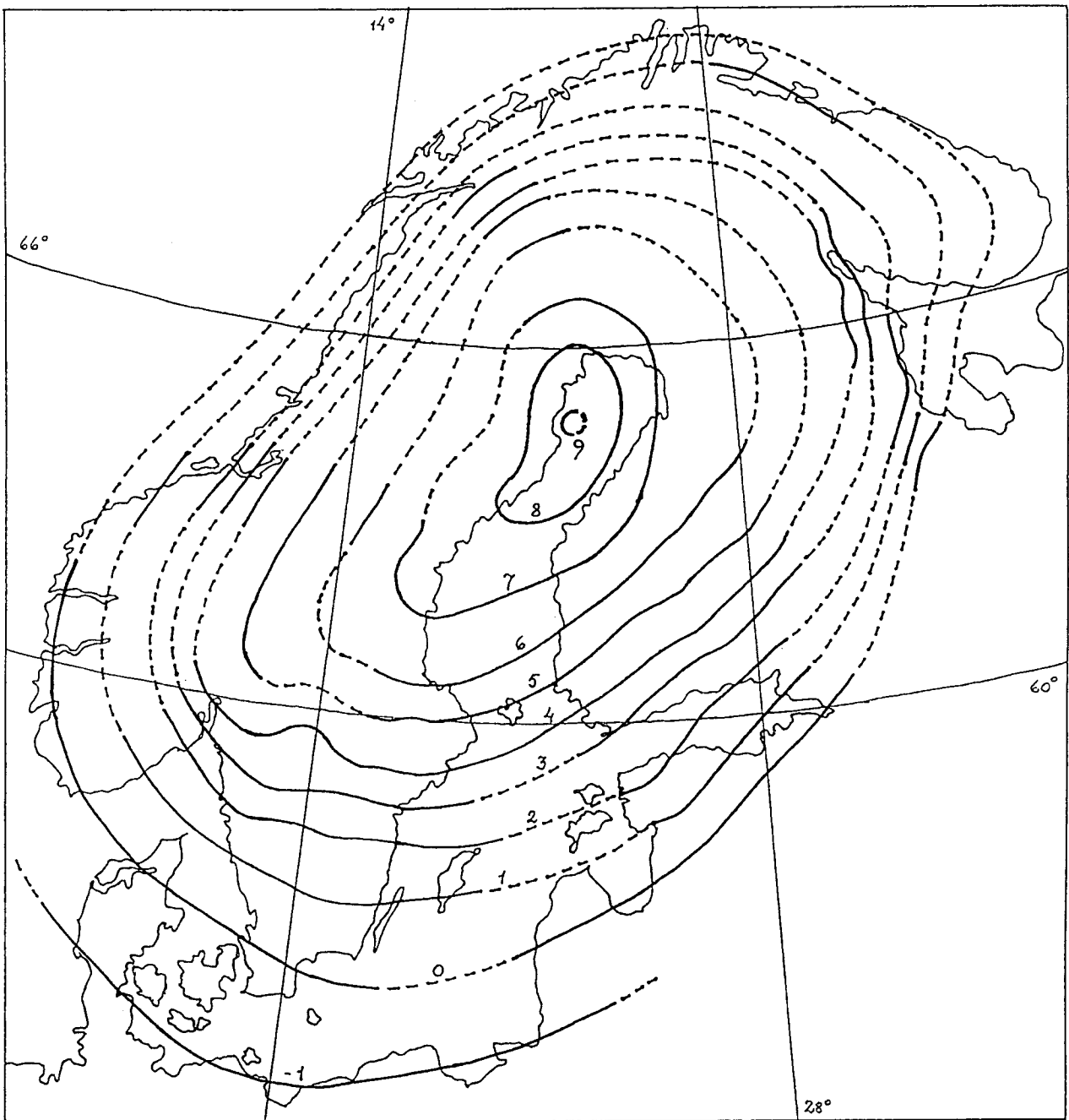
*Referenser:* Minster & Jordan (1978), DeMets m.fl. (1990, 1994), Argus & Gordon (1991).

### *Landhöjningen*

En nordisk landhöjningsmodell till såväl de tredimensionella systemens vertikala komponenter som höjdsystem, geoidhöjdssystem och tyngdkraftssystem är Ekmans landhöjningsmodell 1998. Den har använts till SWEREF 93 och (i preliminära versioner) till NH 60 och RG 82. Den bygger främst på vattenståndsdata från de senaste 100 - 200 åren (i inlandet delvis kompletterade med avvägningar) samt upprepade tyngdkraftsmätningar. Modellen innehåller, i en sammanhängande helhet, följande: Landhöjningen relativt havsytan 1892 - 1991 (apparent landhöjning, maximalt 9.0 mm/år); havsytans klimatologiska höjning (1.2 mm/år); landhöjningen relativt geoiden (maximalt 10.2 mm/år); geoidens höjning, med massflödesparametern 0.8 (maximalt 0.6 mm/år); landhöjningen relativt ellipsoiden (absolut landhöjning, maximalt 10.8 mm/år) samt tyngdkraftens ändring (- 0.20  $\mu$ gal/mm absolut landhöjning). Den apparenta landhöjningen illustreras i figur A-2.

*Referenser:* Ekman (1988, 1996, 1998), Ekman & Mäkinen (1996a).





Figur A-2. Apparent landhöjning i Ekmans landhöjningsmodell 1998 (mm/år).

## Referenser

- AMS (1948): Universal Transverse Mercator grid tables for latitudes 0 - 80 degrees: International spheroid. Army Map Service, Technical Manual, 6.
- Anderson, A J & Scherneck, H-G (1981): The geoid of the Baltic and Gulf of Bothnia obtained from Seasat altimeter data. University of Uppsala, Reports of the Department of Geodesy, 10.
- Andrae, C G & Peters, C A F (1884): Bredebestemmelser med den Ramsden'ske Zenithsector. I Andrae: De astronomiske Iakttagelser og Bestemmelsen af Sphaeroiden. Den Danske Gradmaaling, 4.
- Argus, D F & Gordon, R G (1991): No-net-rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1. Geophysical Research Letters, 18/11.
- Asplund, L (1968): Land uplift in Sweden - a preliminary study based on repeated levellings and mareograph data. Rikets Allmänna Kartverks Meddelanden, D 2.
- Baeschlin, C F (1948): Lehrbuch der Geodäsie. Zürich.
- Bessel, F W (1837): Bestimmung der Axen des elliptischen Rotationssphäroids, welches den vorhandenen Messungen von Meridianbögen der Erde am meisten entspricht. Astronomische Nachrichten, 14.
- Bessel, F W (1841): Ueber einen Fehler in der Berechnung der französischen Gradmessung und seinen Einfluss auf die Bestimmung der Figur der Erde. Astronomische Nachrichten, 19.
- Boedecker, G (1988): International Absolute Gravity Basestation Network (IAGBN) - Absolute gravity observations, data processing standards & station documentation. Bureau Gravimétrique International, Bulletin d'Information, 63.
- Bomford, G (1963): The geoid in Europe and connected countries. Travaux de l'Association Internationale de Géodésie, 22.
- Borrass, E (1896): Die Intensität der Schwerkraft auf den Stationen der Süd-Abteilung. In: Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft auf zwei und zwanzig Stationen von der Ostsee bei Kolberg bis zur Schneekoppe. Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Institutes.
- Boucher, C & Altamimi, Z (1989): The initial IERS Terrestrial Reference Frame. IERS Technical Note, 1.

- Boucher, C & Altamimi, Z (1991): ITRF 89 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1989. IERS Technical Note, 6.
- Boucher, C & Altamimi, Z (1991a): ITRF 90 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1990. IERS Technical Note, 9.
- Boucher, C & Altamimi, Z (1992): The EUREF terrestrial reference system and its first realizations. International Association of Geodesy, Subcommittee for EUREF, 1.
- Boucher, C, Altamimi, Z, Duhem, L (1992): ITRF 91 and its associated velocity field. IERS Technical Note, 12.
- Boucher, C, Altamimi, Z, Duhem, L (1993): ITRF 92 and its associated velocity field. IERS Technical Note, 15.
- Boucher, C, Altamimi, Z, Duhem, L (1994): Results and analysis of the ITRF 93. IERS Technical Note, 18.
- Boucher, C, Altamimi, Z, Feissel, M, Sillard, P (1996): Results and analysis of the ITRF 94. IERS Technical Note, 20.
- Börsch, A (1906): Lotabweichungen - Heft III: Astronomisch-geodätisches Netz I. Ordnung nördlich der Europäischen Längengradmessung in 52 Grad Breite. Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Institutes, 28.
- Cannizzo, L, Cerutti, G, Marson, I (1978): Absolute-gravity measurements in Europe. *Il Nuovo Cimento*, 1C/1.
- Cassinis, G (1930): Sur l'adoption d'une formule internationale pour la pesanteur normale. *Bulletin Géodésique*, 25.
- Celsius, A (1741): Anmärkning om nyttan at weta Jordens rätta storlek och figur. *Kongl. Wetenskaps Academiens Handlingar*, 2.
- Clarke, A R (1880): *Geodesy*. Oxford.
- Cronstrand, S A (1811): Stockholms Observatorii polhögd beräknad. *Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar*.
- DeMets, C, Gordon, R G, Argus, D F, Stein, S (1990): Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 101.
- DeMets, C, Gordon, R G, Argus, D F, Stein, S (1994): Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21.
- Denker, H, Behrend, D, Torge, W (1996): The European Gravimetric Quasigeoid EGG 96. International Association of Geodesy Symposia, 117.



- DMA (1987): Methods, techniques, and data used in WGS 84 development. Defense Mapping Agency Technical Report.
- Ehrnsperger, W (1988): The ED 87 coordinates. International Association of Geodesy, Subcommittee RETrig, 18.
- Ehrnsperger, W & Kok, J J (1986): Status and results of the 1986 adjustment of the United European Levelling Network - UELN-73. In Pelzer & Niemeier (eds.): Determination of heights and height changes. Ferdinand Dümmlers Verlag, Bonn.
- Ekman, M (1988): The world's longest continued series of sea level observations. *Pure and Applied Geophysics*, 127/1.
- Ekman, M (1989): Impacts of geodynamic phenomena on systems for height and gravity. *Bulletin Géodésique*, 63/3.
- Ekman, M (1993): Geoiden i Sverige och geoidhöjdssystemet RN 92. Lantmäteriverkets Tekniska skrifter, 1993:1.
- Ekman, M (1995): Slutberäkningen av Sveriges tredje precisionsavvägning - försök till problembeskrivning i nordiskt perspektiv. Lantmäteriverkets Tekniska skrifter, 1995:20.
- Ekman, M (1996): A consistent map of the postglacial uplift of Fennoscandia. *Terra Nova*, 8.
- Ekman, M (1998): Recent postglacial rebound of Fennoscandia - A short review and some numerical results. In Wu (ed): *Dynamics of the Ice Age Earth: A modern perspective*. Trans Tech Publications, Zürich.
- Ekman, M & Haller, L Å (1988): Nytt tyngdkraftsnät och tyngdkraftssystem i Sverige. *Svensk Lantmäteritidskrift*, 1988:4.
- Ekman, M & Mäkinen, J (1991): The deviation of mean sea level from the mean geoid in the Baltic Sea. *Bulletin Géodésique*, 65/2.
- Ekman, M & Mäkinen, J (1996): Mean sea surface topography in the Baltic Sea and its transition area to the North Sea: A geodetic solution and comparisons with oceanographic models. *Journal of Geophysical Research*, 101 C/5.
- Ekman, M & Mäkinen, J (1996a): Recent postglacial rebound, gravity change and mantle flow in Fennoscandia. *Geophysical Journal International*, 126.
- Eliasson, L & Reit, B-G (1988): RT 90 - förbättrade koordinater på rikets triangelpunkter. *Svensk Lantmäteritidskrift*, 1988:4.
- Fagerholm, E & Tufvesson, O (1925): *Sveriges höjdmätning*. Stockholm.

- Fagerholm, J A (1879): Nivelleringar och undersökningar af vattenhöjdsstationerna vid en del av Sveriges fyrar, utförda sommaren 1878. Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, 36/7.
- Forsberg, R (1990): NKG Nordic standard geoid 1989. Nordic Geodetic Commission, 11th general meeting.
- Forsberg, R (1990a): A new high-resolution geoid of the Nordic area. International Association of Geodesy Symposia, 106.
- Forsberg, R, Kaminskis, J, Solheim D (1996): Geoid of the Nordic and Baltic region from gravimetry and satellite altimetry. International Association of Geodesy Symposia, 117.
- Gadolin, J (1753): Åbo stads belägenhet bestämd genom observationer. Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar, 14.
- Gurtner, W, Fankhauser, S, Ehrnsperger, W, Wende, W, Friedhoff, H, Habrich, H, Botton, S (1992): EUREF-89 GPS campaign - Results of the processing by the "Berne Group". International Association of Geodesy, Subcommssion for EUREF, 1.
- Haller, L Å & Ekman, M (1988): The fundamental gravity network of Sweden. National Land Survey of Sweden, Professional Papers, 1988:16.
- Hammond, J A & Faller, J E (1971): Results of absolute gravity determinations at a number of different sites. Journal of Geophysical Research, 76/32.
- Hayford, J F (1909): The figure of the Earth and isostasy from measurements in the United States. Washington.
- Hayford, J F (1910): Supplementary investigation in 1909 of the figure of the Earth and isostasy. Washington.
- Hecker, O & Schnauder, M (1905): Die Polhöhe von Potsdam - Heft III. Veröffentlichung des Königl. Preuszischen Geodätischen Institutes, 20.
- Hedling, G & Reit, B-G (1989): Transformationssamband mellan WGS 84 och RT 90. GPS-Nytt, 1989:2.
- Heiskanen, W A & Moritz, H (1967): Physical Geodesy. San Francisco & London.
- Helmert, F R (1880 & 1884): Die mathematischen und physikalischen Theorieen der höheren Geodäsie. Leipzig.
- Helmert, F R (1886): Lothabweichungen - Heft I: Formeln und Tafeln sowie einige numerische Ergebnisse für Norddeutschland. Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Instituts.

- Hornik, H & Reinhart E (1980): Report on the readjustment of the European triangulation network, RETrig - Phase II 1979. International Association of Geodesy, Subcommittee for RETrig, 13.
- Jivall, L & Persson, C-G (1993): Handbok till mätningsskuggörelsen - Geodesi, GPS. Lantmäteriverket.
- Jivall, L & Persson, C-G (1996): Handbok till mätningsskuggörelsen - Geodesi, GPS. Andra utgåvan. Lantmäteriverket.
- Kenyon, S C & Pavlis, N K (1996): The development of a gravity anomaly database used in the NIMA/GSFC geopotential model. International Association of Geodesy Symposia, 117.
- Kneissl, M & Marzahn, K (1963): The adjustment 1962 of the European Calibration System. Bulletin Géodésique, 69.
- Kühnen, F & Furtwängler, P (1906): Bestimmung der absoluten Größe der Schwerkraft zu Potsdam mit Reversionspendeln. Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Institutes, 27.
- Krüger, L (1912): Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene. Veröffentlichung des Königlich Preussischen Geodätischen Institutes, 52.
- Kääriäinen, E (1959): En kort rapport om utjämningen av den nordiska delen av UELN. Nordiska Kommissionen för Geodesi, 3:e mötet.
- Lemoine, F G, och 17 andra författare (1996): The development of the NASA GSFC and NIMA joint geopotential model. International Association of Geodesy Symposia, 117.
- Lexell, A J (1773): Några svenska orters geographiska longituder, uträknade af observationer öfver sol-förmörkelserne åren 1764 och 1769. Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar, 34.
- Mallet, F (1772): Allmänn eller matematisk beskrifning om Jordklotet. Uppsala.
- Malys, S & Slater, J (1994): Maintenance and enhancement of the World Geodetic System 1984. Institute of Navigation, ION GPS-94.
- Malys, S, Slater, J A, Smith, R W, Kunz, L E, Kenyon, S C (1997): Status of the World Geodetic System 1984. International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation. University of Calgary.
- Maupertuis, P L M (1738): Jordens figur, upfunnen igenom de, på Konungens i Frankrike befaling, vid norra pol-cirkelen, gjorda observationer. Översättning från franskan av A Hellant. Stockholm.
- Maupertuis, P L M (1740): Degré du meridiien entre Paris et Amiens. Paris.

- Mayer, A (1756): Greifswalds stads geographiska belägenhet. Kongl. Vetenskaps-  
academiens Handlingar, 17.
- McCarthy, D D, ed (1989): IERS standards (1989). IERS Technical Note, 3.
- McCarthy, D D, ed (1992): IERS standards (1992). IERS Technical Note, 13.
- McCarthy, D D, ed (1996): IERS conventions (1996). IERS Technical Note, 21.
- Melanderhielm, D (1795): Astronomie. Stockholm.
- Minster, J B & Jordan, T H (1978): Present-day plate motions. Journal of Geophysical  
Research, 83 B/11.
- Morelli, C, ed (1974): The International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN 71).  
International Association of Geodesy, Special Publication, 4.
- Moritz, H (1971): Geodetic Reference System 1967. International Association of  
Geodesy, Special Publication, 3.
- Moritz, H (1980): Geodetic Reference System 1980. Bulletin Géodésique, 54/3.
- Nordenskiöld, A E (1858): Beräkning af fasta landets höjning vid Stockholm.  
Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, 15.
- Perrier, G & Hasse, E (1928): Tables de l'ellipsoïde de référence international.  
Association Internationale de Géodésie, Publication speciale, 2.
- Pettersson, L (1967): The Swedish first order gravity network. Geographical Survey  
Office of Sweden, A 35.
- Pettersson, L (1968): Landets precisionsavvägning - höjdsystem 1970. Rikets  
Allmänna Kartverks Meddelanden, B 12.
- RAK (1967): De geodetiska riksnäten i Sverige. Rikets Allmänna Kartverks  
Meddelanden, A 33.
- RAK (1974): Sveriges andra precisionsavvägning 1951 - 1967. Rikets Allmänna  
Kartverks Meddelanden, A 40.
- Rapp, R H (1990): The OSU 89 geopotential models. International Association of  
Geodesy Symposia, 106.
- Reit, B-G (1994): SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem. Lantmäteriverkets  
Tekniska skrifter, 1994:28.
- Reit, B-G (1995): Swedish coordinate systems. In Vermeer (ed): Coordinate systems,  
GPS, and the geoid. Reports of the Finnish Geodetic Institute, 95:4.

- Reit, B-G (1995a): SWEREF 93 - a Swedish reference system for GPS. In Vermeer (ed): Coordinate systems, GPS, and the geoid. Reports of the Finnish Geodetic Institute, 95:4.
- Reit, B-G & Ekman, M (under utarbetande): Geoidhöjdssystemet SWEN 98.
- Rosén, K D P (1916): Skrivelse till Stockholms stads triangelmättningsnämnd, publicerad i Enberg: Stockholms triangel- och polygonmätning. Stockholm.
- Rosén, K D P (1931): Tabeller för Gauss' hannoverska projektion. Stockholm.
- Rosén, P G (1876): Om den vid svenska topografiska kartverket använda projectionsmetoden. Stockholm.
- Rosén, P G (1879): Om de geodetiska och astronomiska ortbestämmelserna i Sverige. Svenska sällskapet för antropologi och geografi, Geografiska sektionens tidskrift, 1/9.
- Rosén, P G (1889): Om lodafvikelser i Sverige. Bihang till Kungl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 15/1:7.
- Rosén, P G (1898): Bestimmung der Intensität der Schwerkraft auf den Stationen Haparanda, Härnösand, Upsala, Stockholm und Lund. Bihang till Kungl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 24/1:1.
- Rosén, P G (1899): Om precisionsafvägningen med vattenhöjdsiakttagelserna vid Sveriges kuster och inuti landet befintliga vattenhöjdsstationer. Kungl. Krigsvetenskapsakademiens Handlingar.
- Rosén, P G (1906): Sveriges precisionsafvägning 1886 - 1905. Stockholm.
- Schenmark, N (1765): Några orters geographiska belägenhet omkring Uraniburg. Kongl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 26.
- Schenmark, N (1774 & 1780): De märkvärdigaste orters geographiska belägenhet, vid sjökusten i Skåne, Halland och BohusLän. Kongl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 35 & 41.
- Schnauder, M (1910): Polhöhenbestimmungen in den Jahren 1902, 1903, 1908 und 1909. Veröffentlichung des Königl. Preuszischen Geodätischen Institutes, 48.
- Schultén, N G (1802): Logarithmiska taflor, och åtskillga andra tabeller, som äro nyttiga uti astronomien, navigation och geographien. Stockholm.
- Simonsen, O (1960): Short report on the history and establishment of United European Levelling Net and on the results obtained up to December 1960. Travaux de l'Association Internationale de Géodésie, 21.

- Spens, C-G (1817): Försök att bestämma tjenligaste projectionsmetoden för land-chartor öfver mindre delar af jordytan; jemte beskrifning på ett efter denna method uppgjort projections-nät öfver Scandinavien. Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar.
- Steinmetz, H (1877): Höjdbestämmingar på Gotland verkstälde åren 1872 - 77. Berättelse om Gotlands läns hushållningssällskaps verksamhet.
- von Sterneck, R (1891): Die Schwerkraft in den Alpen, und Bestimmung ihres Wertes für Wien. Mittheilungen des Kaiserl. und Königl. Militär-geographischen Institutes, 11.
- Struve, F G W (1857): Arc du méridien de 25°20' entre le Danube et la Mer Glaciale, tome 2. St. Petersburg.
- Sundsby, J (1989): SCANDOC-87/88: The Scandinavian Doppler observation campaigns 1987 and 1988 - observations and results. 5th International geodetic symposium on Satellite Positioning.
- Svanberg, J (1805): Exposition des opérations faites en Lapponie, pour la détermination d'un arc du méridien, en 1801, 1802 et 1803. Stockholm.
- Tanni, L (1949): The regional rise of the geoid in central Europe. Publications of the Isostatic Institute of the International Association of Geodesy, 22.
- Topografiska Corpsen (1866): Ortbestämmelser i Sverige verkstälde af Topografiska Corpsen åren 1814 - 1849. Stockholm.
- Tscherning, C C & Forsberg, R (1986): Geoid determination in the Nordic countries - A status report. Nordic Geodetic Commission, 10th general meeting.
- Ussisoo, I (1975): Geoid RAK 1970. Rikets Allmänna Kartverks Meddelanden, D 28.
- Ussisoo, I (1977): Kartprojektioner. Lantmäteriverkets Tekniska skrifter, 1977/6.
- Ussisoo, I (1977a): Computation of land uplift and mean sea level in Sweden. Geologiska Föreningens Förhandlingar, 99.
- Ussisoo, I (1978): Vidareutveckling av ED 77. Nordiska Kommissionen för Geodesi, 8:e mötet.
- van Veen, J (1954): Tide-gauges, subsidence-gauges and flood-stones in the Netherlands. Geologie en Mijnbouw, 16.
- Vennström, S (1992): ABC för RT 90. Sinus, 1992:2.
- Waalewijn, A (1987): The Amsterdam Ordnance Datum (NAP). Survey Review, 29.
- Wargentín, P W (1759): Stockholms Observatorii pol-högd bestämd. Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar, 20.

- Wenzel, H-G (1985): Hochauflösende Kugelfunktionsmodelle für das Gravitationspotential der Erde. Universität Hannover, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen, 137.
- Whitten, C A (1952): Adjustment of European Triangulation. Bulletin Géodésique, 24.
- Wideland, B (1946): Relative Schweremessungen in Süd- und Mittel-Schweden in den Jahren 1943 - 1944. Rikets Allmänna Kartverks Meddelanden, 6.
- Wideland, B (1951): Relative gravity measurements in middle and north Sweden 1945 - 1948. Rikets Allmänna Kartverks Meddelanden, 14.
- Wideland, B (1955): An investigation on the geoid in Sweden. Rikets Allmänna Kartverks Meddelanden, 24.
- Witting, R (1918): Hafsytan, geoidytan och landhöjningen utmed Baltiska hafvet och vid Nordsjön. Fennia, 39/5.
- Wolf, H (1949): Beiträge zur Lotabweichungsausgleichung und Geoidbestimmung - Allgemeine Betrachtungen und Durchführung im Bereich des Zentral-europäischen Netzes. Veröffentlichungen des Instituts für Erdmessung, 6.
- Ölander, V R (1949): Adjustment of the Baltic Ring. Baltic Geodetic Commission, Special Publication, 10.
- Ölander, V R (1950): On the geoid in the Baltic area and the orientation of the Baltic Ring. Publications of the Finnish Geodetic Institute, 38.

Handskrifter i Lantmäteriverkets geodetiska arkiv:

G 1010  
G 1014  
G 1386  
G 2501  
G 2577  
G 3799  
G 4626  
G 6000  
G 10030  
G 12032

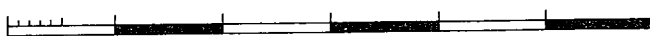
T 1087  
T 1110  
T 1175

P 611





LANTMÄTERIET



Vaktmästeriet, 801 82 Gävle. Tel 026-63 30 00, fax 026-65 29 15.

