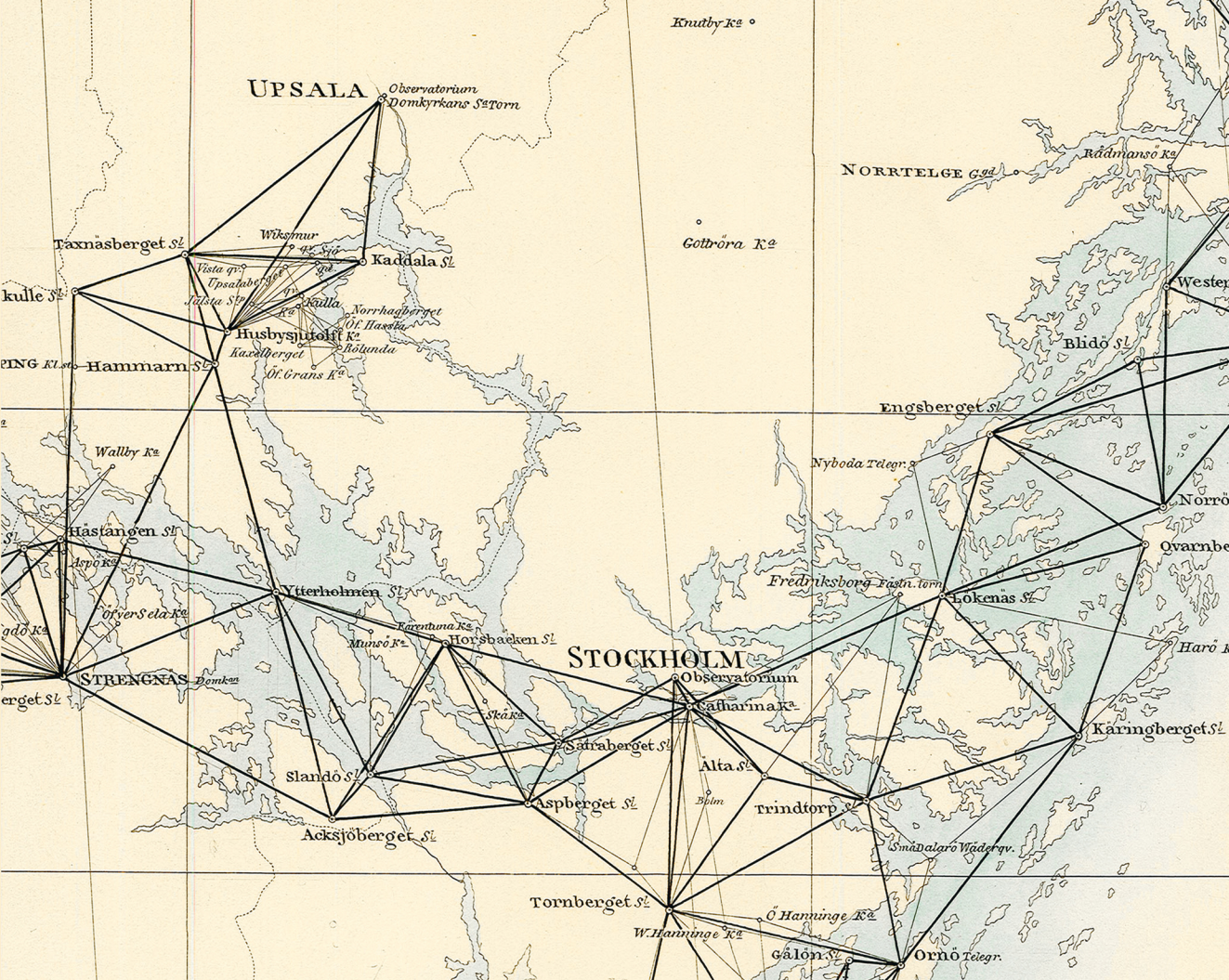
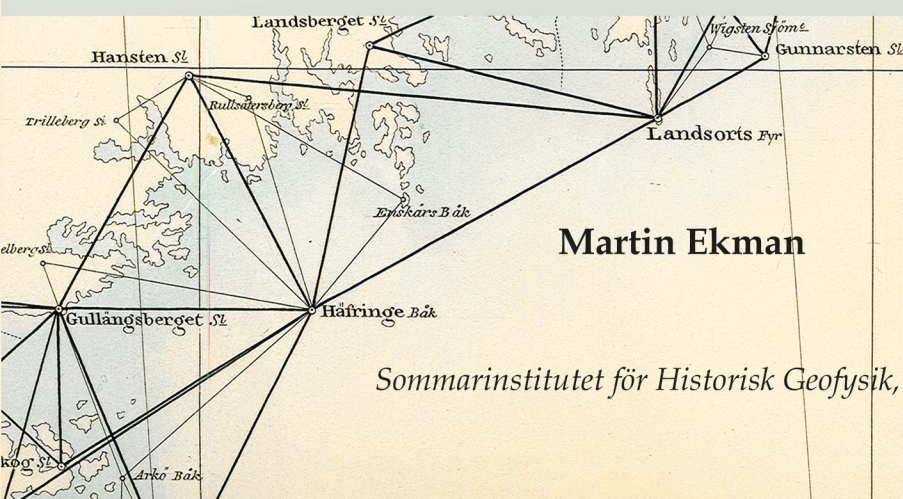




Vår plats på jorden

Hur man använt himmel och jord för att kartlägga Sverige under 500 år



Martin Ekman

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Åland

Vår plats på jorden

Hur man använt himmel och jord för att
kartlägga Sverige under 500 år

Martin Ekman

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Åland

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Åland

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik är författarens enmans-institut, som bedriver forskning, utger publikationer och ibland ger föreläsningar inom ämnesområdet historisk geofysik. För mer information, eller för publikationer i serien "Small Publications in Historical Geophysics" utgiven av institutet, se

www.historicalgeophysics.ax

Tidigare böcker av författaren publicerade av institutet:

"The changing level of the Baltic Sea during 300 years: A clue to understanding the Earth" (2009)

"Where on Earth are we? Using the sky for mapping the Nordic countries 1500 - 2000" (2011)

"The man behind 'degrees Celsius': A pioneer in investigating the Earth and its changes" (2016)

© Martin Ekman 2019

ISBN 978-952-94-2328-6

Typografi och layout av författaren

Omslag grundat på figur 6-1 och 6-3 av Anders Ekman och författaren

Tryckoriginal av Kjell Söderlund

Tryckt av Gävle Offset

Publicerad av Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Äppelträdgården E, Haraldsby, AX - 22 410 Godby, Åland. Se även ovan.

Innehåll

Förord	7
1. Inledning: Hur gör man en karta?	8
2. Sol, latituder, fartygsbesök och andras kartor	11
2.1 Hur högt står solen?	11
2.2 De första kartorna grundade på solobservationer	12
3. Stjärnor, latituder, gränser och egna kartor	15
3.1 Vad gjorde Kungen på julafton 1602?	15
3.2 De första kartorna grundade på stjärnobservationer	18
3.3 De första sjökorten över Östersjön	21
4. Månar, longituder, observatorier och bättre kartor	24
4.1 Problemet med tiden	24
4.2 Ett ödesdigert överfall	25
4.3 De första kartorna grundade även på månobservationer	28
5. Stjärnor, trianglar, öar och sjökort	32
5.1 Meridianbågen vid polcirkeln	32
5.2 Trianglar över Åland och det åtråvärda manuskriptet	34
5.3 Trianglar runt hela Östersjön	39
5.4 De första sjökorten grundade på triangulering	47
5.5 Sjökarteläggning och navigation – ett samspel	49
6. Stjärnor, trianglar, bergstoppar och terrängkartor	52
6.1 Meridianbågen vid polcirkeln än en gång	52
6.2 Rikstriangulering och decimalsystem	54
6.3 Trianglar i bygd och obygd, och värdet av säterjäntor	55
6.4 Trianglar över hela världen	65
6.5 Kartor 100 år före sin tid – och 100 år efter sin tid	74

6.6	Ny rikstriangulering och nya kartor	78
6.7	Trädklättrare, matematiker och konstnärer	85
6.8	Och så en lite annorlunda rikstriangulering	87
7.	Satelliter och positioner överallt	92
7.1	Det dolda problemet: Stjärnobservationerna och jordens inre	92
7.2	Den globala lösningen: Satelliter och avlägsna stjärnsystem	95
7.3	Nya gradnät på alla landkartor och sjökort	100
7.4	En återblick och en överblick	102
7.5	Men allt rör sig ...	103
	Appendix: Några historiskt intressanta geodetiska punkter	105
	Referenser	108
	Illustrationer	112
	Register	113

Förord

Det finns en hel del böcker om kartor över Sverige men färre om själva grunden för hur man gjort kartorna genom århundradena. Enkelt uttryckt: Hur har man kunnat avbilda jordytan sedd uppifrån, utan att man kunnat se den uppifrån? Hur har man listat ut var på jorden allt ligger? Och hur gör man det idag? Den här boken handlar om detta.

Det här är en bok om hur avancerad naturvetenskap har använts för samhällets behov, och en bok om hur människor engagerat sig i detta växelvis ute i vildmark och inne på kontor. Det är en bok som spänner över 500 år av utveckling, och en bok om hur det som gjorts i Sverige hänger ihop med världen i övrigt.

Boken riktar sig till en vidare krets än de närmast berörda. Den är tänkt att göra det delvis okända känt och det svårbegripliga begripligt för omvärlden. Geodesi och angränsande delar av astronomi och geofysik, som det här är fråga om, kan verka mystiskt, men med detta blir det förhoppningsvis lättare att förstå vilken roll ämnesområdet spelat och spelar i kartläggningen av Sverige.

Boken bygger i viss mån på min tidigare bok "Where on Earth are we? Using the sky for mapping the Nordic countries 1500 – 2000". Den som skulle vilja ha ett mera nordiskt perspektiv och mer av tabeller och formler kan titta där. Inspiration till boken kommer även från min roll under senare år som sakkunnig i samband med ordnandet av Geodetiska arkivet och Geodetiska historiska biblioteket vid Lantmäteriet i Sverige.

Två personer har betytt mycket genom att läsa hela manuskriptet och ge konstruktiva kommentarer: Jonas Ågren vid Lantmäteriet och Lars Jakobsson vid Sjöfartsverket. Stort tack till er båda! Dessutom vill jag tacka personalen vid de olika arkiv jag fått möjlighet att använda: Geodetiska arkivet vid Lantmäteriet, Sjöfartsverkets arkiv, Krigsarkivet, Kungl. Vetenskapsakademiens arkiv (Centrum för vetenskapshistoria) och Uppsala universitetsbibliotek.

Martin Ekman

1. Inledning: Hur gör man en karta?

När Gustaf Vasa blev kung över Sverige 1523 visste han inte så noga hur riket, som han skulle styra över, såg ut. Han hade aldrig sett en karta, av det enkla skälet att det inte fanns någon. Idag har vi noggranna kartor och vi vet var allt ligger. Vi vet positioner för platser och objekt på jordytan, och även höjder över havet. Var och en kan till och med, åtminstone med hyfsad noggrannhet, själv ta reda på var man är med hjälp av en apparat man håller i handen. Hur har denna utveckling varit möjlig? Hur har man genom tiderna kunnat göra allt bättre kartor över Sverige? Ja, hur har man alls kunnat avbilda jordytan sedd uppifrån, utan att man förut kunnat se den uppifrån?

För att kunna förstå denna 500-åriga utveckling behöver vi först kort fundera över följande fråga: Hur gör man egentligen en karta från grunden? Om vi förenklar starkt kan vi säga att detta görs och alltid har gjorts i fyra steg.

1. Fastställ jordens storlek och form. För mindre noggranna kartor kan jorden betraktas som ett klot med en viss radie. För mera noggranna kartor måste man ta hänsyn till att jorden på grund av rotationen kring sin axel är en något oval kropp med en viss avplattning vid polerna.
2. Bestäm genom observationer positionerna för ett antal punkter på jordytan så noggrant som möjligt. Positionen ges av två koordinater, latitud och longitud, som anger läget i nord-syd och öst-väst på den krökta jorden. Andra punkter och objekt på jordytan bestäms sedan i relation till dessa fundamentala punkter. Denna process utgör huvuddelen av arbetet med att göra en karta.
3. Gör en avbildning av den krökta jordytan på ett plan, en kartprojektion. Denna görs matematiskt, och på ett sådant sätt att de oundvikliga förvrängningar som orsakas av projektionen i någon mening minimeras.
4. Nu är kartan färdig att ritas, och därefter att tryckas på ett papper eller visas i en dator. Den slutliga produkten är förhoppningsvis en kombination av vetenskap och konst.

Det mest omfattande arbetet med att göra en karta är, som sades ovan, att bestämma var allting ligger på jorden. Det har genom århundradena krävt att människor fått ge sig ut i naturen, både till bebodda trakter och till vildmarken, för att med sofistikerade instrument försöka göra omsorgsfulla mätningar mot sol, stjärnor, månar, bergstoppar, kyrktorn och satelliter. Det har också krävt att dessa människor fått ge sig hem igen, till sina rum med skrivbord, för att med papper, penna, tabeller, räknemaskiner och datorer försöka göra korrekta beräkningar av allt de mätt, och därigenom så noggrant som möjligt komma fram till var de varit. Den här boken handlar om detta arbete med himmel och jord, som utförts ute i naturen och inne i kontorsrum, ända från 1500-talet fram till idag. Det är det här arbetet, och de människor som utfört det, som i slutändan gett oss kartor över Sverige, förr i tiden inklusive Finland. För att lyckas med detta har det, som vi skall se, krävts en kombination av vetenskaplig noggrannhet och praktisk förmåga, av internationellt samarbete och personligt engagemang, av avancerade observatorier och enkla riskojor.

Bakom en kartas tillkomst ligger också arbetet med att få in alla detaljer i kartbilden, men för det behövs just en omfattande uppsättning noggrant positionsbestämda punkter att relatera till. Det är den som utgör grunden för hela kartläggningen, och det är den grunden det kommer att handla om här.

Även det som idag kan verka enkelt och modernt bygger på generationers mödosamma arbeten. Att bestämma sin position med hjälp av en satellitmottagare genom att trycka på några knappar är inte så trivialt som det kan se ut. För att apparaten skall kunna räkna ut var man är på jorden måste den veta var i rymden satelliterna är. Och för att veta var i rymden satelliterna är måste de observeras från markstationer som man vet var på jorden de är. Men hur vet man då var markstationerna är? Ja, det bygger i slutändan på gamla observationer av stjärnor, kombinerade med senare observationer av avlägsna stjärnsystem. Ytterst är det faktiskt fortfarande stjärnorna på himlavalvet som talar om för oss var på jorden vi är, nu som för flera hundra år sedan. Hur detta hänger ihop berättas också i boken.

För att ange var på jorden vi är använder vi som bekant begreppen latitud och longitud, på svenska ibland breddgrad och längdgrad.

Latituden anger läget i nord-syd där ekvatorn är 0° och polen 90° , och longituden anger läget i öst-väst där en godtyckligt vald nollmeridian är 0° och en punkt på motsatta sidan av jorden är 180° . Tänker man sig breddgrader och längdgrader utritade på jorden som parallellcirklar och meridianer får man gradnätet. Idén till gradnätet härstammar från den antike greken Hipparchos som införde det omkring 130 f. Kr. Dåtidens försök till kartor över den kända världen, gjorda lite senare av Ptolemaios, omfattade främst Medelhavsområdet och en del land öster om det; de var alltså långsträckta i öst-västlig riktning. Det blev därför naturligt att kalla gradnätets koordinater bredd, i nord-syd, och längd, i öst-väst – vilket på grekiska heter latitud och longitud.

Och för att kunna lista ut sin latitud och longitud behöver man alltså först fundera över var man ser sol och stjärnor på himlavalvet från sin plats på jorden. Det är där vi måste börja.

2. Sol, latituder, fartygsbesök och andras kartor

2.1 Hur högt står solen?

Det enklaste sättet att bestämma latituden för en punkt på jorden är att observera solen, närmare bestämt hur högt över horisonten den står. Solens maximala höjd över horisonten, när den står i söder mitt på dagen, tenderar hos oss på norra halvklotet att vara mindre ju längre norrut man befinner sig och större ju längre söderut man befinner sig. Genom att mäta solens höjdvinkel mitt på dagen kan man räkna ut latituden. Denna princip var känd redan av antikens greker. Eratosthenes hade använt den, tillsammans med avståndsmätningar längs en meridian, för att bestämma jordens radie omkring 240 f.Kr.

Men solen står ju olika högt på himlen beroende på vilken dag på året det är. På sommaren står den högt och på vintern lågt. Man behöver ta hänsyn till detta när man skall räkna ut sin latitud. Vi kan se på det hela så här. Vid vårdagjämningen och höstdagjämningen råder ett mellanläge. Just då står solen rakt över ekvatorn eller, annorlunda uttryckt, befinner sig solen på himmelsekvatorn. Det betyder att den som står på jordens ekvator ser middagssolen rakt upp (i zenit), den som står på polen ser solen vid horisonten och överallt däremellan ser man solen på en höjdvinkel över horisonten som direkt hänger ihop med latituden. Vi kan då bestämma latituden ur enbart solhöjden. På sommaren befinner sig däremot solen lite norr om ekvatorn och på vintern lite söder om; solen avviker från ekvatorn. Latituden blir nu beroende av både solhöjden och denna avvikelse från ekvatorn. Om man på en viss plats, där man bestämt latituden på vår- eller höstdagjämningen, observerar solens höjd över horisonten mitt på dagen varje dag under ett helt år, kan man göra en tabell över hur stor solens avvikelse från ekvatorn är för varje dag under året. Denna tabell kan sedan användas av den som vill bestämma sin latitud var som helst när som helst. Latituden bestäms genom att man mäter solhöjden och hämtar avvikelsen, kallad deklination, från tabellen. Detta är grundprincipen för att bestämma latituden med hjälp av solen.

Att observera solhöjden för att hålla koll på latituden var troligen den främsta navigationsmetoden för de norska och isländska vikingarna,

när de som de första färdades tvärs över Nordatlanten för tusen år sedan. Det äldsta bevarade nordiska dokumentet med anknytning till behovet att bestämma latituden är just ett manuskript med en sammanställning av solens middagshöjder under loppet av ett år, gjord omkring 1150 av islänningen Oddi Helgason, känd som Stjörnu-Oddi (Stjärn-Oddi). Den visar sig vara korrekt inom 1° (2 soldiametrar).

2.2 De första kartorna grundade på solobservationer

Långt senare, på 1500-talet, började fartyg korsa världshaven mera globalt. På dessa fartyg observerade man solen för att kunna bestämma latituden till hjälp vid navigationen. Man bestämde även latituden för hamnar man kom till. Holländaren Gerard Mercator började omkring 1538 samla in sådana solbaserade latituder från så många hamnar som möjligt som underlag för att göra kartor. Det ledde till att han 1569 kunde konstruera den första någorlunda användbara världskartan, med ett gradnät av paralleller och meridianer som visade latitud och longitud. Med denna karta introducerade han även en ny kartprojektion, som senare kom att användas till sjökort över hela världen.

Mercators kartor utgavs bara i några få exemplar. Men ett samarbete med en annan holländare, Abraham Ortelius, visade sig vara lyckat. Ortelius tillverkade alla kartor i samma storlek och band sedan samman dem till en bok. Detta blev den första atlasen. Atlasen utgavs året efter Mercators världskarta, med Mercator som en sorts vetenskaplig rådgivare i bakgrunden. Kartorna i atlasen var ritade och graverade på kopparplåtar och sedan tryckta och handmålade i vackra färger. Detta ledde till stor efterfrågan. Den omfattande målningen av kartorna utgjorde även ett tidigt avlönat arbete för kvinnor, bland dem Ortelius syster.

I atlasen finner man vad som sannolikt är den äldsta astronomiskt grundade kartan över Norden och Östersjön och därmed över Sverige, utgiven 1570; se figur 2-1. Detta är alltså den äldsta kartan över Norden och Sverige med ett realistiskt gradnät och grundad på latitudbestämningar med hjälp av solen. Mercator hade själv gjort en liknande karta tidigare, 1554, men av den tycks inte något exemplar ha överlevt till våra dagar.



Figur 2-1. Den äldsta kartan över Norden och Östersjön grundad på latituder från solobservationer, utgiven 1570.

Både Ortellius och Mercator införlivade i sina kartor information från exilsvensken Olaus Magnus, som i Italien givit ut den så kallade Carta marina 1539. Olaus Magnus tidiga verk kan beskrivas som en primitiv karta över Norden. Den saknar relevant gradnät och projektion; de latituder som är utsatta i marginalen är delvis helt orimliga. Likväl innehåller denna speciella karta geografisk information, som kommit till användning i Mercators och Ortellius mera vetenskapligt grundade kartor.

Moderna undersökningar av Ortellius karta från 1570 med Mercators latituder visar att latituderna för orter längs kusten, som kan ha rapporterats från hemvändande fartyg, i allmänhet har en osäkerhet på 1°, motsvarande cirka 100 km på jordytan. Ett närmare studium tyder på att hälften av detta närmast är ett fel av systematisk karaktär, medan den andra hälften rör sig om en slumpmässig osäkerhet. Noggrannheten i en latitud tycks inte ha förbättrats mycket sedan vikingatiden. Det nya

är att man nu aktivt samlat in latituddata från hamnar på olika håll och därigenom kunnat börja kartlägga jorden.

Hittills har vi bara talat om latituder. Men longituder då? Ja, longituder kunde man vid denna tid inte mäta. Man fick gissa eller uppskatta dem med indirekta metoder, oftast med hjälp av färdad kurs och distans (i navigationen känt som dödräkning). Det skulle dröja hundra år innan man kunde börja mäta longituder.

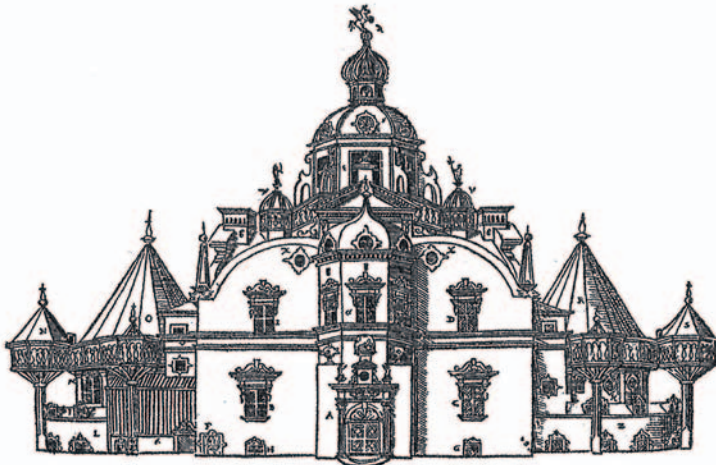
3. Stjärnor, latituder, gränser och egna kartor

3.1 Vad gjorde Kungen på julafton 1602?

På julafton 1602 blev Johan Bure kallad till Kungen, Carl IX, på Stockholms slott. Vad kunde Kungen (formellt sett ännu riksföreståndare) ha för viktigt ärende en sådan dag? Jo, han ville att Bure skulle lämna en rapport om en bestämning av en latitud som han hade utfört långt uppe i norr! Bure hade bestämt latituden för Torneå, sannolikt med hjälp av stjärnor i stället för solen.

Denna till synes obetydliga händelse markerar en viktig startpunkt för positionsbestämning och kartläggning i Sverige. Det är intressant att se både vad som låg bakom och vad som blev konsekvenserna av detta möte. Vi börjar med det som av allt att döma låg bakom.

År 1576 hade Tycho Brahe fått den danske kungens tillstånd att använda ön Ven i Öresund för att uppföra ett astronomiskt observatorium; se figur 3-1. Den byggnad som Brahe där lät uppföra var en sorts



Figur 3-1. Uranienborgs observatorium på Ven, grundlagt 1576. Idag återstår endast grundstenarna. Avbildning i bok av Tycho Brahe 1596.

kombination av observatorium och slott omgiven av en geometrisk trädgård. Han kallade denna anläggning Uranienborg. Senare tillkom även en grupp små separata observatoriebyggnader. Brahe konstruerade sina egna noggranna instrument. Hans huvudinstrument var en stor kvadrant för att mäta vertikalvinklar. Den var formad som en fem meter lång kvartscirkelbåge som var monterad på en stabil vägg i nord-sydlig riktning. Med detta instrument kunde han mäta stjärnors höjd över horisonten med stor noggrannhet. Brahe och hans assistenter gjorde här observationer nästan varje klar natt under 20 år. Allt gjordes med blotta ögat, eftersom kikaren/teleskopet ännu inte var uppfunnet. En av assistenterna var hans syster, Sophie Brahe; hon var därmed en av världens första kvinnor inom naturvetenskapen.

Genom att mäta en stjärnas höjdvinkel över horisonten kan man, liksom med solen, räkna ut latituden. I det här fallet med en stjärna i stället för solen får man gå till väga på följande sätt. En stjärna som befinner sig tillräckligt nära polen på himlen kommer att vara över horisonten hela tiden och röra sig i en cirkel runt himmelspolen under ett dygn, återspeglade jordens rotation kring sin axel. En sådan stjärna kommer att vid ett tillfälle stå som högst, rakt i söder, och ett halvt dygn senare som lägst, rakt i norr. Om man mäter stjärnans höjd över horisonten vid bägge tillfällena och tar medelvärdet, kommer detta medelvärde att vara himmelspolens höjd över horisonten. (Det finns ingen stjärna i själva polen, inte ens polstjärnan.) Den som då står på jordens pol finner himmelspolen rakt upp, den som står på ekvatorn finner himmelspolen vid horisonten, och den som står någonstans däremellan, till exempel i Uranienborg, finner himmelspolen på en höjdvinkel över horisonten som återspeglar latituden. På detta sätt kunde Brahe bestämma latituden för sitt observatorium. Han gjorde det med en aldrig tidigare uppnådd noggrannhet; moderna undersökningar visar att felet i latituden är mindre än 1' (cirka 2 km).

För den som vill bestämma sin latitud var som helst ute i naturen är det dock ofta svårt att lyckas göra två stjärnhöjdmätningar med ett halvt dygns mellanrum. (Dessutom uppstår vissa problem med ljusbrytningen i atmosfären, refraktionen.) Man vill därför bara behöva mäta stjärnhöjden i en riktning, helst när stjärnan står som högst. Det kan lösas så här. I observatoriet, nu när dess latitud var känd, kunde man

bestämma hur långt från polen en stjärna befinner sig på himlen. Detta kunde man göra för en stor mängd stjärnor vilket ledde till en tabell över alla stjärnornas lägen i förhållande till polen, eller, om man så vill, i förhållande till ekvatorn. En sådan tabell kan sedan användas av den som vill bestämma sin latitud var som helst på jorden. Latituden bestäms då genom att man mäter en stjärnas höjd över horisonten och hämtar dess läge i förhållande till polen/ekvatorn från tabellen. (Till skillnad mot solen är detta läge oberoende av årstiden.) Detta är grundprincipen för att bestämma latituden med hjälp av stjärnor.

En sådan tabell över stjärnornas lägen, kallade deklinationer, kan man trycka och ge ut i form av en stjärnkatalog för att sprida den till alla som kan ha användning för den. Detta var vad Brahe gjorde; hans stjärnkatalog kom ut 1602. Noggrannheten i stjärnornas deklinationer där har visat sig vara av storleksordningen bågminuter, ett enormt framsteg. Denna stjärnkatalog blev i praktiken internationell standard i nära hundra år.

Brahes stjärnkatalog kom alltså ut 1602. På julafton samma år hade Carl IX och Johan Bure sitt möte om Bures latitudbestämning. Det är nog ingen slump att dessa två händelser sammanfaller så nära i tiden; med stor sannolikhet är mötet delvis föranlett av Brahes rykande färska stjärnkatalog. Bure hade några år tidigare studerat astronomi i Uppsala, gjort flera latitudbestämningar och tillverkat egna instrument, troligen kopierade efter några av de nya som Brahe hade publicerat i en annan bok. Han var också lärare till den blivande Gustaf II Adolf. Bure måste ha insett vilka nya möjligheter att bestämma latituder som Brahes stjärnkatalog öppnade. Tillsammans med nya instrument skulle detta kunna skapa en ny grund för en bättre karta över Sverige och Norden inklusive Östersjön. Carl IX hade samtidigt behov av en sådan karta som bland annat kunde bättre visa Sveriges gränsområden mot Danmark-Norge och Ryssland; bristen på en användbar karta hade visat sig vid gränsdiskussioner med grannländerna. Av allt att döma handlade julaftonsmötet mellan Kungen och Bure om dessa möjligheter, där Bures latitudresa till Torneå kan ha fungerat som en sorts förhandsprov. Och snart visade sig konsekvenserna.

3.2 De första kartorna grundade på stjärnobservationer

Inte långt efter julaftonsmötet fattade Kungen ett avgörande beslut. År 1603 gav han Johan Bures kusin, Anders Bure, i uppdrag att framställa en stor karta över Norden. Kusinerna (ibland kända under sina latiniserade namn Johannes och Andreas Bureus) arbetade sedan ihop. Johan Bure arbetade främst med att bygga instrument och bestämma latituder, Anders Bure främst med att samla in andra data och rita själva kartan.

Redan tidigare hade Johan inte bara rest till Torneå för att bestämma latituder. Han också hade fått särskilt tillstånd att resa runt i riket för att studera och avbilda runstenar, och då tycks han ha passerat på att även ta med sig sina instrument och bestämma latituden på flera platser. För oss verkar detta kanske vara en något ovanlig kombination men Johan Bure var en mångsidigt lärd person. Utöver att bestämma latituder för kartan med hjälp av stjärnor (och ibland kanske solen) utbildade han även andra i denna konst. Han framstår som den huvudansvarige för den grundläggande positionsbestämningen bakom kartan.

Om kusinen Anders är inte så mycket känt innan han fick Carl IX:s uppdrag att utarbeta kartan. Han framstår som ansvarig för den mer detaljerade positionsbestämningen. Den torde främst ha gjorts genom att man reste omkring i landet och löpande försökte hålla reda på riktningar och avstånd under färden. Speciella tillfällen till detta fick Anders Bure i samband med de gränsarbeten han utförde mot Danmark-Norge och Ryssland.

De mödor som de två Burarna och deras assistenter lade ner på att genomföra sina mätningar kan bara anas. De måste resa, rida och vandra långa sträckor med sina instrument genom skogar och vildmark. Stjärnobservationerna kunde inte göras under sommaren eftersom nätterna då var för ljusa. Under vintern, å andra sidan, när det var mörkt nog för att observera stjärnor och snön tillät transport med släde, var det ofta besvärande kallt vid mätningarna. Och från en senare expedition under 1600-talet har vi en skildring av typiska reseproblem under våren när det inte längre var möjligt att använda släde till transporter:

”Besynnerlig [särskilt] blefwo wij uti de sidsta länderna [landskapen i norr] hindrade aff snöo och ijs och hade många älfwar och sund, ibland tämmelig breedda, att öfwersättia [överfara], hwarest [vår]floden nu var som starckast. Man hade mästedels inge andre färrior än att man nödgades sättia hästar och wagnar i två båtar, twänne hiul i hwar båten, bindandes sedan båtarne tillsammans. ... Tiälen war på någre ställen någorlunda gången utur jorden, der hiulen sunko neder. Der måste wij gå till foot en half mijl wäg eller mehr ibland, när hästerna som woro utmagra intet kunde förmå draga wagnen. Haffswijkerne låge ännu med starck ijs och stodo gränerne [granarna] qwar som wiste winterwägen, men effter[som] ijsen där var landlös torde ingen wåga sig öfwer.”

I början koncentrerade man sig på de nordligare och mest okända delarna av landet. Utöver Johan Bure utförde ett par andra utsända personer latitudbestämningar och andra mätningar långt i norr, Sigfrid Forsius och Daniel Hiort. Arbetet sträckte sig hela vägen upp till norska kusten vid Norra Ishavet. Forsius hade liksom Bure astronomisk utbildning från Uppsala och blev tillfälligt även professor i astronomi där. Hiort blev snart engagerad i diplomatiska förhandlingar med grannländerna. De bådas liv kom dock så småningom att utvecklas djupt olyckligt. Forsius kom ständigt i konflikt med den ene efter den andre och blev alkoholiserad, och Hiort blev nedstucken och dödad med kniv vid ett supkalas hos Forsius.

Efter ett årtionde blev Anders Bure klar med en preliminär karta över de nordligaste delarna av Norden. Efter ytterligare ett årtionde var hela Nordenkartan nästan klar. För att ekonomiskt underlätta slutförandet av kartan vidtog Kungen, nu Gustaf II Adolf, en originell åtgärd. Kungen överlämnade 1000 exemplar av den just då nyöversatta Bibeln till Anders Bure, för att han genom försäljning av dessa skulle få tillräckliga inkomster till kartarbetet! År 1626 lyckades Anders Bure producera slutresultatet: en karta i sex blad över hela Norden och Östersjön.

Bures karta trycktes i ganska få exemplar. Några år senare, 1635, gjorde emellertid holländaren Willem Janszoon Blaeu, en tidigare elev till Tycho Brahe på Ven, en förminskad och handmålad version av kartan och införlivade den i sin nya stora atlas; se figur 3-2. Därigenom fick Bures karta snabbt internationell spridning. Atlasen och därmed Bures



Figur 3-2. Den första kartan över Norden och Östersjön grundad på latituder från stjärnobservationer, utgiven 1626 (här i den något senare atlasversionen).

karta utgavs sedan under lång tid i nya praktfulla upplagor av sonen Joan Blaeu. Detta är alltså den första kartan över Norden och Sverige grundad på latitudbestämningar med hjälp av stjärnor.

Moderna undersökningar av Bures karta från 1626 visar att latituderna för orter som kan ha bestämts av Johan Bure och andra har en osäkerhet (standardavvikelse) på 5', motsvarande cirka 10 km på jordytan. Det är en hel tiopotens bättre än latituderna på Ortelius karta. Några stora orter uppvisar dock betydligt större fel i latituden; dessa ligger alla i Danmark och Norge. Där hade Bure på grund av konflikterna med Sverige inte möjlighet att göra egna mätningar utan fick förlita sig på andras äldre kartmaterial. I övrigt kunde latituder sannolikt bestämmas runt nästan hela Östersjön eftersom Sverige då behärskade större delen av Östersjöns kuster.

Den stora förbättringen i latituderna, med en faktor 10, hänger samman med övergången till att observera stjärnor och inte bara solen, men det behövs mer än det. Här kommer två omständigheter in som vi varit inne på tidigare: Stjärnornas höjder mättes med nya instrument tillverkade av Bure, sannolikt efter Brahes idéer, och – framför allt – stjärnornas deklinationer måste ha tagits från Brahes nyutgivna stjärnkatalog. Latitudernas osäkerhet på 5' stämmer väl överens med stjärnkatalogens osäkerhet i deklinationerna. Och dessa i sin tur stämmer väl överens med Brahes fel i den ursprungliga latitudbestämningen av Uranienborg. Det bör också nämnas att latitudbestämning med stjärnor krävde hantering av ett märkligt men betydande problem. Stjärnornas deklinationer ändrar sig gradvis med åren på grund av att jorden med sin rotationsaxel gradvis ändrar riktning i rymden (den så kallade precessionen). Även detta hade Brahe studerat och tagit in särskilda data för i sina tabeller.

Ytterst vilar alltså framgången för Bures karta delvis på Tycho Brahes, Sophie Brahes och andras arbeten under 20 år i Uranienborgs observatorium. Men sedan krävdes det ytterligare drygt 20 år av omsorgsfullt arbete av Johan Bure, Anders Bure och andra, utfört i nästan hela Norden och Östersjöområdet, ända upp till Ishavskusten.

Det skall påpekas att longituder fortfarande, som i kapitel 2, inte kunde mätas. De måste alltså uppskattas indirekt, ur färdade riktningar och avstånd (dödräkning). Detta kunde leda till fel på en eller flera grader, mer än 10 gånger större än osäkerheten i latitud.

Snart efter att Anders Bure fått sin stora karta färdig utsågs han av Gustaf II Adolf till chef, "generalmathematicus", för det nygrundade Lantmäteriet. Denna myndighet inrättades av Kungen 1628, bara två år efter att kartan blivit färdig, med uppgift att göra mera detaljerade kartor över delar av riket.

3.3 De första sjökorten över Östersjön

Inom Lantmäteriet arbetade man under 1600-talet flitigt med den mera detaljerade kartläggningen. Mot slutet av århundradet kunde dess chef Carl Gripenhielm framställa en ny karta över hela Sverige 1688, men den var fortfarande grundad på latitudbestämningar av ungefär samma

typ som på Bures tid och innebar därför inte något avgörande framsteg. Av militära sekretesskäl trycktes aldrig denna karta.

Ungefär samtidigt beslöt Kungen, Carl XI, att flytta Amiralitetets verksamhet till det nygrundade Karlskrona. Där inrättade han 1680 Navigationskontoret med uppgift att ge ut sjökort över Östersjön. Dess förste chef Werner von Rosenfeldt påbörjade arbetena med detta, men han anlitade snart Petter Gedda som senare blev hans efterträdare. Rosenfeldt var sjöofficer medan Gedda var utbildad i tillämpad matematik i Uppsala; det utvecklades till ett nyttigt samarbete mellan en sjövan navigatör och en mera landfast kartkunnig. År 1694 och 1695 kunde Gedda ge ut två stora sjökort, ett över södra och ett över norra Östersjön (samt en serie detaljkort). Inte heller dessa innebar något större framsteg i den grundläggande latitudbestämningen; till viss del fick Gedda också använda material från Gripenhielms karta. Däremot är de intressanta av andra skäl. Detta är de första sjökorten över hela Östersjön och det är första gången som Mercators projektion används här; se figur 3-3.



Figur 3-3. Detalj från det första sjökortet över Östersjön, utgivet 1694, som bland annat visar (nedtill) att projektionen för sjökortet växer med ökande latitud.

Mercators projektion avvek från andra projektioner vid denna tid genom att den såg konstig ut när man närmade sig polen. Både meridianer och paralleller är rätta linjer, vinkelräta mot varandra; meridianerna går alltså inte ihop mot polen utan kartan växer med latituden. Skälet till detta är att projektionen har andra fördelar, användbara vid navigation. Framför allt avbildas en fast kurs, till exempel rakt åt nordost, som en rät linje på kartan. När Mercator själv introducerade denna projektion med sin världskarta 1569 var den bara ungefärligt konstruerad och svår att förstå för andra. Först efter att man i England 30 år senare hade publicerat en förklaring till den med tillhörande tabeller började den användas. Den slog sedan igenom just för sjökort. Geddas sjökort över Östersjön har anammat denna projektion från holländska förebilder, och de utgavs både i en svenskspråkig och i en holländskspråkig version, lite senare även i en engelskspråkig. Tryckningen blev dock ett problem. Den ansågs av Amiralitetet vara riskabelt dyr, och Gedda saknade egna tillgångar, så Rosenfeldt fick åta sig att betala tryckningen av sjökorten ur egen ficka.

Från Gedda råkar vi ha kvar en liten inblick i de praktiska svårigheterna med dåtidens kontorsarbete med kartorna. Det var inte alltid lätt att hitta lämpliga lokaler och under vintrarna, då mycket av inomhusarbetet gjordes, var de kalla och mörka att arbeta i. Gedda ansåg att hans kontorslokal i Amiralitetshuset var för trång för arbetet med kartor och hyrde därför ett annat och större rum i närheten. För uppvärmning av arbetsrummet begärde han då att få 6 – 7 famnar ved, motsvarande bortåt 30 m³, och för arbetsbelysning begärde han att få 1 lispund talgljus, motsvarande nära 10 kg. Veden beviljades inte eftersom han hyrt rummet på egen hand, så han tycks ha fått stå för den själv. Talgljusen däremot accepterades!

4. Månar, observatorier, longituder och bättre kartor

4.1 Problemet med tiden

Som har nämnts i de tidigare kapitlen kunde man inte bestämma longituden genom någon direkt mätning. Varför var det omöjligt att bestämma longituden när det gick bra med latituden? Svaret är att för longituden behöver man hantera tid, inte bara vinklar som för latituden. Och tiden orsakade problem.

Själva grundprincipen för att bestämma longituden kan se enkel ut. Longituden för en punkt på jorden definieras i förhållande till en godtyckligt vald nollmeridian genom något observatorium. Longituden är då helt enkelt skillnaden i lokal tid mellan punkten där man befinner sig och observatoriet på nollmeridianen. Skillnaden i tidsmått kan sedan omvandlas till vinkelmått eftersom ett varv runt jorden motsvarar både 24 timmar och 360° . Men när man skall tillämpa denna princip i verkligheten visar det sig bli komplicerat. Det uppstår två problem som behöver hanteras. Det första problemet är: Hur bestämmer man den lokala tiden? Även om man skulle ha en klocka måste den ju ställas på något sätt så att den visar korrekt tid. Det andra och större problemet är: Hur jämför man de två lokala tiderna i ett och samma ögonblick för två så vitt skilda platser på jorden som punkten och observatoriet?

Det enklast sättet att bestämma den lokala tiden är att använda solen. När solen står rakt i söder är den lokala soltiden definitionsmässigt 12 precis. Det här kan användas för att ställa ett solur eller en mer avancerad klocka rätt. (Strängt taget visar ett solur så kallad sann soltid som går lite ojämnt, medan klockan visar en jämn medelsoltid, men det fördjupar vi oss inte i här.) Ett noggrannare sätt att bestämma den lokala tiden är att använda stjärnor. Det innebär att man får så kallad stjärntid istället, men den går att räkna om till vår vanliga tid som styrs av solen.

För att sedan kunna jämföra två lokala tider i ett och samma ögonblick för två olika platser på jorden behövde man en väldefinierad händelse, som kunde observeras samtidigt från de två platserna. En sådan händelse kunde vara något som inträffar på stjärnhimlen. Men

då måste den också gå att förutsäga, annars kan man ju inte veta när man skall titta på den. Det här löstes med hjälp av planeten Jupiters månar. De försvinner ibland bakom planeten och förmörkas, och dessa förmörkelser går att förutsäga och sedan observera.

Vad man i praktiken fick göra var följande. På platsen vars longitud man ville bestämma observerade man en förmörkelse av en Jupitermåne och noterade den lokala tiden. Sedan skrev man ett brev och skickade till observatoriet på nollmeridianen och frågade om de också hade observerat förmörkelsen och den lokala tiden där. Efter ett antal veckor fick man så ett svar, där det kunde stå att det tyvärr varit mulet hos dem, eller att observatören varit sjuk eller bortrest eller kanske hade försovit sig. Då var det bara att göra ett nytt försök vid ett senare tillfälle. Men förr eller senare inträffade det att en förmörkelse hade observerats samtidigt på platsen och i nollmeridian-observatoriet, och då kunde man ur skillnaden i lokal tid räkna ut longituden för den aktuella platsen.

Under andra halvan av 1600-talet grundades två betydande astronomiska observatorier, ett i Paris 1667 och ett i Greenwich i London 1675. Båda kom snart att spela en central roll för longitudbestämningen, Paris mest för longituden till lands och Greenwich mest för longituden till sjöss. Från Paris observatorium reste Jean Picard efter bara några år till Uranienborg på Ven för att bestämma dess läge i förhållande till Paris. När han kom dit insåg han att observatoriet där hade raserats på order av den danske kungen efter att Tycho Brahe hade lämnat det, och att ön dessutom nyligen avträtts av Danmark till Sverige. Tillsammans med bland andra Anders Spole från Sverige (morfar till Anders Celsius) bestämde han nu longituden för Uranienborgs ruiner räknad från nollmeridianen i Paris. Detta var den första någorlunda noggranna longitudbestämningen, och den gjordes med hjälp av Jupiters månar. Det hela blev praktiskt möjligt genom introduktionen av två betydelsefulla nyheter som uppfunnits vid denna tid: kikaren (teleskopet) och pendeluret.

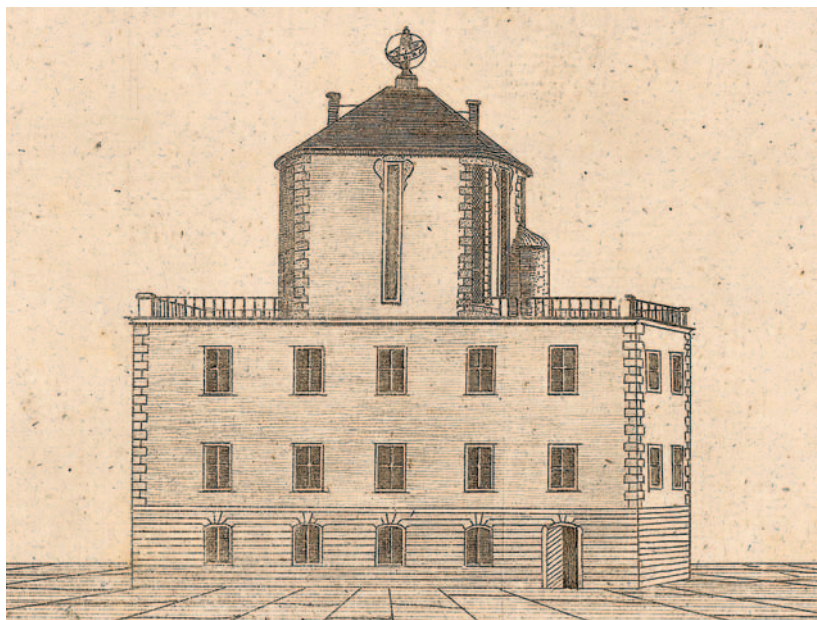
4.2 Ett ödesdigert överfall

År 1739 grundade Anders Celsius ett observatorium vid Uppsala Universitet. Celsius var professor i astronomi där men ägnade sig mest åt vad vi idag skulle kalla geofysik och geodesi; han var en pionjär i studiet av jorden och dess förändringar. Detta nya observatorium – se

figur 4-1 och 4-2 – kom att spela en speciell roll i det tidiga arbetet med longitudbestämningar. Celsius började bestämma longituder för orter i förhållande till Uppsala observatorium, och en av Celsius assistenter, Pehr Wargentin, specialiserade sig i samband med det på Jupiters månar.

Jupiter har fyra stora månar. De rör sig i banor runt Jupiter, där de alltså då och då förmörkas när de kommer in bakom Jupiter. Eftersom varje måne påverkas inte bara av dragningskraften (gravitationen) från Jupiter själv utan även från de andra månarna, kommer månarnas rörelser att bli ojämna. Det leder till att det blir svårt att förutsäga när förmörkelserna skall inträffa, något som var väsentligt för bestämningen av longituderna.

Till att börja med använde Celsius och Wargentin tabeller över Jupitermånarna och deras förmörkelser utgivna av de ledande observatorierna i Paris och Greenwich. Det visade sig dock att tiderna i dem kunde slå fel på en hel timme. Detta ställde till problem under de nattliga observationerna, som Wargentin berättar om:



Figur 4-1. Uppsala observatorium, grundlagt 1739. Gravyr av Fredrik Akrel 1769.



Figur 4-2. Uppsala observatorium (Celsiusobservatoriet) idag.

”Stundom, ehuru vi lagade oss till reds at observera tidigt nog efter uträkningen, kommo vi ändock för sent, då förmörkelsen redan var förbi. Stundom åter måste vi stå i köld och snö under bar himmel (ty observatorium var ei ännu färdigt) samt fatiguera [trötta ut] ögonen hela timen.”

Wargentin började nu systematiskt studera ojämnheterna i Jupitermånarnas rörelser. Han ägnade två år av sitt liv åt att, med en intuitiv statistisk metod, beräkna en egen uppsättning tabeller över Jupitermånarna för att kunna förutsäga deras förmörkelser. Till Celsius förvåning visade det sig att Wargentins tabeller utarbetade i Uppsala var överlägsna dem från både Paris och Greenwich! Där deras tabeller slog fel på upp till en timme, stämde Wargentins tabeller överens med observationerna inom en eller ett par minuter.

Strax efter att Wargentin fått sina tabeller färdiga, men innan de hunnit tryckas, hände något förödande. Wargentin var på resa med häst

och vagn från Uppsala till Stockholm för att fira jul. Plötsligt blev han överfallen och hans koffert blev stulen. Han förlorade nästan allt han ägde – inklusive manuskriptet till tabellerna över Jupitermånarna! Allt hans arbete var försvunnet. Det var inget annat att göra än att börja om från början igen. Så Wargentin ägnade tålmodigt ytterligare två år hos Celsius i Uppsala åt att på nytt beräkna alla sina tabeller.

När Wargentins tabeller slutligen blev publicerade spreds de snabbt bland longitudbehövande i olika länder och blev snart en sorts internationell standard. Hans ständigt förbättrade versioner användes överallt i ett halvt sekel.

4.3 De första kartorna grundade även på månobservationer

Hittills hade alla kartor grundats på bestämningar av latituder, medan longituderna hade varit omöjliga att mäta och istället fått grovuppskattas med indirekta metoder. Men nu blev det alltså möjligt att mäta även longituder, med hjälp av förmörkelser av Jupitermånarna (eller någon gång vår egen måne). Eftersom det var krångligare att mäta longituder än latituder fick man begränsa longitudmätningarna till ett fåtal orter.

Celsius började nu bestämma longituder för olika orter i förhållande till Uppsala observatorium. I och med det etablerade han Uppsala observatorium som den första nollmeridianen i Norden. De första longituderna väster och öster om Uppsala bestämdes för Köpenhamn och Torneå. Lite senare tillkom Stockholm, Åbo och Härnösand samt Greifswald nere vid tyska Östersjökusten och Vadsø uppe vid Ishavskusten. Moderna undersökningar av dessa longituder visar en osäkerhet (standardavvikelse) på 6', motsvarande en halv minut i tid, och cirka 5 km på jordytan. Detta kan jämföras med felen i de tidigare gissade longituderna som kunde uppgå till en eller flera grader, motsvarande omkring hundra kilometer. Förbättringen blev alltså enorm.

Longitudbestämningarna av Köpenhamn och Torneå togs in som en del av grunden för en ny karta över Sverige inklusive Finland och Östersjön, som utgavs 1747 av Georg Biorman; se figur 4-3. Biorman hade tidigare arbetat med Celsius, men var nu på Lantmäteriet. Lantmäteriet ansåg sig dock inte kunna bekosta en sådan ny karta, varför Biorman



Figur 4-3. Den första kartan över Sverige och Finland (med angränsande delar av Danmark och Norge) grundad även på longituder från månobservationer, utgiven 1747.

helt enkelt framställde den själv och gav ut den på egen bekostnad. Detta är den första kartan som är grundad även på longitudbestämningar, gjorda med hjälp av månobservationer. Även om de var ytterst få var



Figur 4-4. Upplysning på kartan i figur 4-3 om den nu införda nollmeridianen genom Uppsala.

de fundamentala för kartan. På grund av sin geografiska fördelning, vitt åtskilda i sydväst-nordost, bidrog de avsevärt till att korrigera och kontrollera kartbildens. Och kartan visar longituderna med Uppsala observatorium som nollmeridian; se figur 4-4.

Celsius bestämde också latituden för Uppsala observatorium, med en av honom själv utvecklad metod för att minimera felkällor i stjärnobservationer. Han lyckades med den nå en osäkerhet (standardavvikelse) på mindre än $0.1'$. Latituderna bestämdes senare också för alla de övriga orterna där longituderna bestämdes; dessa latituder uppvisar en osäkerhet på $0.1'$, motsvarande 200 m på jordytan. (Då hade man också fått förbättrade stjärnkataloger.) En av Celsius assistenter, Olof Hiorter, som sedan gifte sig med hans syster, reste även runt kring Uppsala och Stockholm och bestämde latituder för orter till en del av Lantmäteriets landskapskartor. Och längst i norr for Celsius-medarbetaren Anders Hellant omkring med ackja i snön och mätte både latituder och longituder.

Om vi nu blickar tillbaka och funderar lite över relationen mellan latitud- och longitudbestämningarna kan vi säga att longituderna vid denna tid nått en noggrannhet jämförbar med den hos latituderna ett århundrade tidigare (cirka 5 km). Samtidigt kan vi konstatera att latituderna nått en noggrannhet (cirka 200 m) mer än 10 gånger bättre longitudernas. Det fanns alltså fortfarande ett stort gap mellan latitud- och longitudbestämning, tillsammans benämnda astronomisk Ortsbestämning. Bakom detta låg att det var svårare att mäta tid än att mäta vinklar.

År 1748 grundades av den då ganska nybildade Kungl. Vetenskapsakademien ett astronomiskt observatorium i Stockholm

(avbildat i kapitel 5, sidan 45). Wargentin flyttade dit och ägnade där en stor del av sitt återstående liv åt Jupitermånarna och longitudbestämning. När någon Jupitermåne hade observerats för longitudbestämning någonstans i Europa var det i Uppsala eller senare Stockholm som den största sannolikheten fanns att få tag på samtida observationer. Uppsala och senare Stockholm blev därför ett internationellt centrum för longitudbestämningar i deras barndom. Det blev då också viktigt att känna dessa observatoriers lägen i förhållande till Paris och Greenwich. Redan Celsius bestämde Uppsalas longitud i förhållande till Paris, och Wargentin fortsatte med både Uppsalas och Stockholms. När den oförtröttelige Wargentin hade samlat hela 24 års observationer av Jupitermånarna i Stockholm kunde han beräkna longituden där i förhållande till Paris med ett fel på bara $0.1'$, motsvarande cirka 100 m. Detta måste ha varit den bästa longitudbestämningen i världen vid denna tid. Det var till och med så att när den kunglige astronomen vid Greenwichs observatorium ville beräkna longitudskillnaden mellan Greenwich och Paris, vände han sig till Wargentin i Stockholm för att få ett så bra värde som möjligt.

Till landkartor över Sverige eller Norden kunde man nöja sig med longituder i förhållande till Uppsala eller Stockholm. Men till sjökort för navigation och i andra mera globala sammanhang behövdes longituder i förhållande till en mera internationellt gångbar nollmeridian, och då var det Paris eller Greenwich som gällde. Och då var det värdefullt att känna Uppsala- och Stockholms-observatoriernas lägen öster om Paris och Greenwich.

5. Stjärnor, trianglar, öar och sjökort

5.1 Meridianbågen vid polcirkeln

Vid mitten av 1700-talet kunde man med hjälp av himlen bestämma både latituder och longituder för punkter på jorden. Men det krävde avancerat nattarbete och för longituderna var det svårt att få tillräcklig noggrannhet. Det var därför besvärligt att med astronomisk ortsbestämning få fram positioner för tillräckligt många punkter. I detta läge kom ett nytt sätt att bestämma positioner för kartläggning att utvecklas. Det började i Frankrike och kom sedan tidigt till Sverige och särskilt Åland, och det av ett mycket speciellt skäl.

Vid den här tiden, närmare bestämt 1735, försiggick i Paris en livlig vetenskaplig diskussion för och emot Newtons teorier. I England hade Isaac Newton bland annat hävdad, grundat på sina teorier om gravitation och centrifugalkraft, att jorden på grund av sin rotation måste vara något avplattad vid polerna. I Frankrike hade Parisobservatoriets ledare Jacques Cassini, grundat på mätningar över stora delar av landet, istället kommit fram till att jorden måste vara något avplattad vid ekvatorn. Det motsade Newtons teori. Vem hade rätt? För att försöka lösa denna fråga funderade Franska Vetenskapsakademien på att sända ut en expedition för att göra mätningar så långt norrut på jorden som möjligt. Just då hade Anders Celsius från Uppsala kommit dit. Han var på en vetenskaplig studieresa genom Europa och råkade anlända till Paris i det avgörande ögonblicket. Han föreslog då att expeditionen skulle gå till norra Sverige (dagens Sverige och Finland), till Torneå vid norra polcirkeln. Detta blev också beslutet, och Celsius blev medlem av expeditionen, som skulle ledas av Pierre Louis Moreau de Maupertuis.

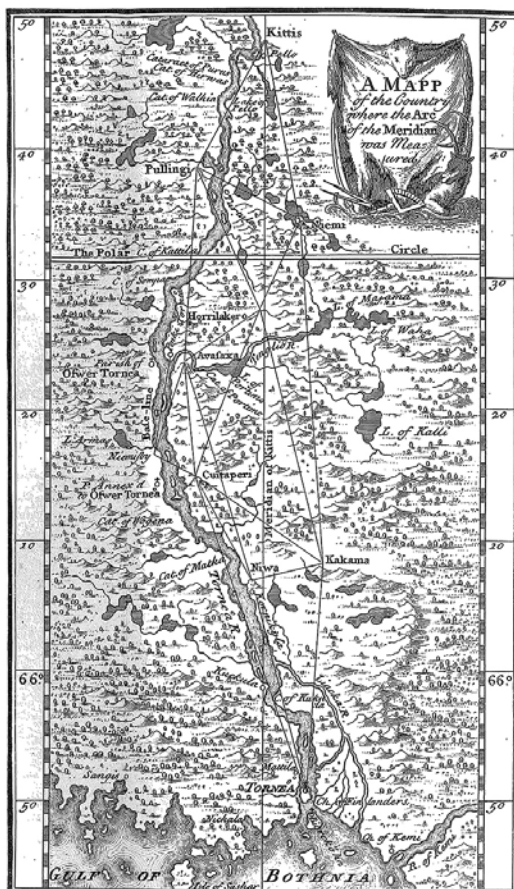
Vad expeditionen skulle göra var en gradmätning längs en meridian. Det innebar att de skulle bestämma såväl avståndet som latitudskillnaden mellan ändpunkterna av en meridianbåge. Om jorden är avplattad vid polerna kommer en meridianbåge med en viss latitudskillnad, säg 1° , att vara längre, i meter, närmare polen, där jorden är mindre krökt, och kortare närmare ekvatorn, där jorden är mera krökt. Genom att jämföra en meridianbåge vid polcirkeln i Sverige med en i Frankrike skulle

man kunna avgöra om jorden var avplattad vid polerna eller inte och därigenom, tänkte man sig, om Newton hade rätt eller inte. Dessutom skulle man göra en tyngdkraftsmätning med samma syfte; om jorden är avplattad vid polerna kommer tyngdkraften att vara större närmare polen och mindre närmare ekvatorn.

Mätningarna genomfördes i Tornedalen 1736 – 1737. Den södra ändpunkten var Torneå kyrka och den norra ändpunkten berget Kittisvaara, nära 1° eller cirka 100 km rakt norrut. Latitudskillnaden mellan ändpunkterna bestämde man genom stjärnobservationer. Avståndet mellan ändpunkterna var för stort för att kunna mätas direkt. Därför använde man sig till detta av en metod som kallas triangulering. Först mätte man längden av en kortare sträcka, en bas, med kalibrerade stänger på Torne älvs is. Sedan mätte man horisontalvinklar i ett nät av trianglar, där sidorna var siktlinjer mellan punkter på kullar och bergstoppar hela vägen från den södra ändpunkten till den norra; se figur 5-1. Här ingick även basens ändpunkter. Med lämplig matematik (så kallad sfärisk trigonometri) kunde nu hela meridianbågens längd beräknas.

Till vinkelmätningarna transporterades människor och vetenskapliga instrument med ett tiotal båtar på älven, bitvis genom forsar med farliga strömvirvlar, och sedan till fots genom vildmarken upp på bergstopparna. Till längdmätningen på älvens is forslades människor och stänger med häst och släde. Mätningarna kunde genomföras även under en del av de mörka vinterdagarna tack vare starkt norrsken i kombination med snön.

Slutresultatet blev att en meridianbåge om 1° befanns vara längre vid polcirkeln än i Frankrike och därmed att jorden borde vara avplattad vid polerna. Resultatet ifrågasattes dock av flera skäl. Dels ansågs mätningarna kanske inte vara tillräckligt noggranna, dels fanns andra argument för och emot Newtons gravitationsteori. Efter ommätningar i Frankrike, och sedan resultatet från tyngdkraftsmätningarna stött det, accepterades emellertid så småningom jordens avplattning vid polerna. Tillsammans med tidigare observationer av andra fenomen bidrog detta till ökat förtroende för Newtons teori. Man kan säga att expeditionen på egen hand inte lyckades lösa problemet, men att den fick balansen i diskussionen att till slut tippa över i Newtons favör.



Figur 5-1. Karta över Franska Vetenskapsakademiens triangulering för gradmätningen i Tornedalen 1736 – 1737 för att försöka avgöra frågan om Newtons teorier.

5.2 Trianglar över Åland och det åtråvärda manuskriptet

Franska Vetenskapsakademiens gradmätning vid polcirkeln fick inte bara rent vetenskapliga konsekvenser utan även konsekvenser för den praktiska kartläggningen. I Frankrike hade man sedan en tid använt triangulering för att försöka åstadkomma en grundläggande stomme av positionsbestämda punkter till en noggrann karta över hela landet. Resultaten från polcirkeln ledde bland annat till att mätningarna i Frankrike delvis gjordes om med ett noggrannare instrument, nämligen ett av de två vinkelmätninginstrument som använts vid polcirkeln.

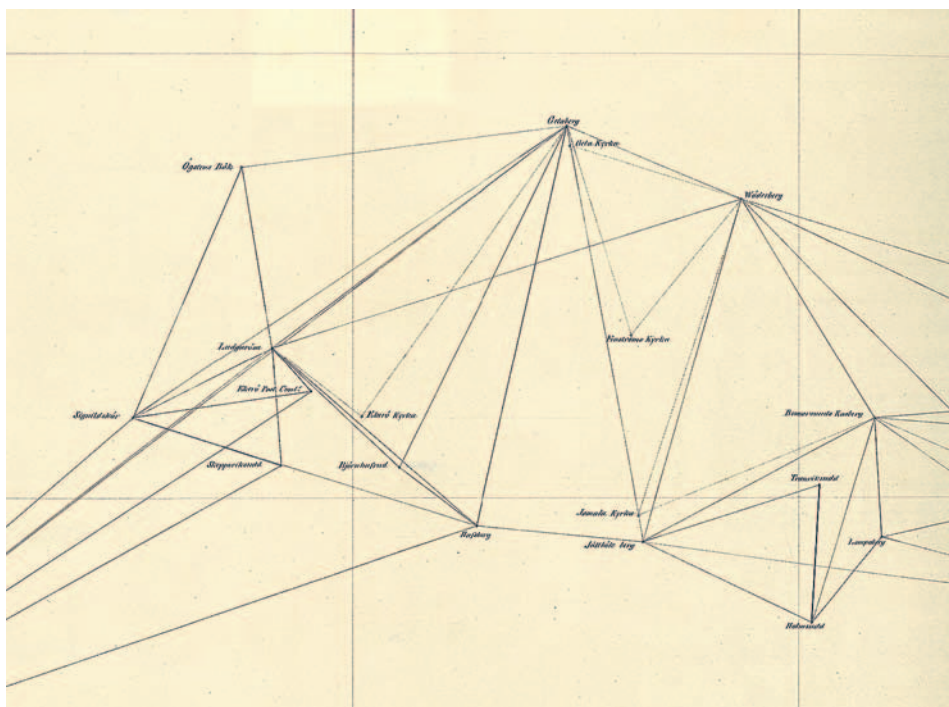
Det andra av Franska Vetenskapsakademiens två vinkelmättningsinstrument kom, märkligt nog, att användas till en helt annan triangulering för noggrann kartläggning: en triangulering tvärs över Östersjön via Åland mellan Sverige och Finland. Detta torde vara den första trianguleringen i världen för marina syften; den resulterade i såväl sjökort som en landkarta över Åland. Triangulering kom sedan att bli en grundläggande metod för att göra noggranna kartor i 250 år, både sjökort och landkartor.

Vad som hände på Åland var följande. Efter den franska gradmätningen vid polcirkeln överlämnade Maupertuis som gåva till Celsius ett av de två instrumenten som Franska Vetenskapsakademien specialbeställt för vinkelmätningarna där. Genom sitt deltagande i expeditionen hade Celsius fått både förstahandskunskap om trianguleringsmetoden och tillgång till ett första klassens instrument för ändamålet. En av Celsius elever var Jacob Gadolin. Efter Celsius alltför tidiga död engagerade sig Gadolin i att genomföra en triangulering över Åland. Varför just Åland? Jo, här gick den viktiga "Postvägen", använd inte bara för att transportera post och varor utan även diplomater och andra människor som behövde resa mellan de västra och östra delarna av Nordeuropa. Detta område med sin utbredda skärgård innehållande tusentals öar och skär var i stort behov av en mer tillförlitlig kartläggning.

Trianguleringen över Åland genomfördes åren 1748 - 1752 under ledning av Gadolin. Den organiserades som ett samarbete mellan Uppsala Universitet, Lantmäteriet och Åbo Akademi, där Gadolin nu verkade. Han engagerade sig även upprepade gånger som riksdagsledamot i Stockholm, sista gången vid hela 80 års ålder.

Nätet av trianglar i Gadolins pionjärbete sträckte sig från Väddö på svenska kusten över hela Åland till Åbo på finska kusten; se figur 5-2. Principen för att bestämma positioner genom triangulering kan beskrivas på följande sätt, med denna triangulering som typexempel.

Första steget i trianguleringen är att göra en astronomisk Ortsbestämning, alltså en bestämning av latitud och longitud med hjälp av stjärnor i en utvald punkt. Detta är nödvändigt för att fixera läget av nätet av trianglar på jorden. I det här fallet var den astronomiska



Figur 5-2. Del av triangelnätet över Åland uppmätt 1748 – 1752, med kunskaper och instrument från gradmätningen i Tornedalen. Siktlinjerna i nedre vänstra hörnet går tvärs över Ålands hav mot Vaddö på Upplandskusten.

punkten först Åbo domkyrka, men trianglarna kopplades senare ihop med Stockholms observatorium.

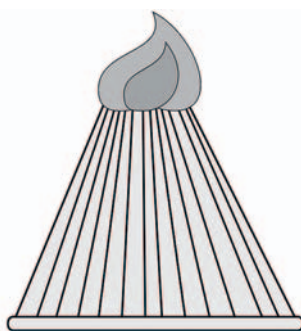
Andra steget är att göra en astronomisk riktningsbestämning i en punkt. Det man bestämmer här är horisontalvinkeln mellan nordriktningen och en av triangelsidorna, där nordriktningen fastställs med hjälp av stjärnor. Detta är nödvändigt för att orientera nätet av trianglar på jorden. I det här fallet bestämdes riktningen för en triangelsida längs västkusten på Åland.

Det tredje steget, och det mest tidsödande arbetet, är att mäta alla horisontalvinklar mellan punkterna i triangelnätet (inom navigation i en enklare form känt som krysspejling). För att göra sådana mätningar måste man första välja ut lämpliga punkter med goda sikter till andra punkter, och sedan på varje punkt uppföra någon sorts synlig signal att mäta mot

från grannpunkterna. I vårt fall på Åland kunde dessa triangelpunkter väljas på ett mycket speciellt sätt, nämligen bland vårdkasbergen där. Vårdkasarna utgjorde sedan gammalt ett organiserat varningssystem om krig eller ofärd hotade; man tände då en kase på ett berg som kunde ses från ett lagom avlägset annat berg, där man tände nästa kase och så vidare. På detta sätt kunde information om hotande fara snabbt förmedlas från Åland över Ålands hav och längs kusten ända till Stockholm. Dessa berg hade alltså inte bara utmärkt sikt mellan sig, de var även redan försedda med signaler att mäta mot i form av förberedda vårdkasar; se figur 5-3 och även 5-4. Dessutom kunde man använda en del kyrkor med kyrktorn och skär med fyrbåkar för trianguleringen. Totalt innehöll trianguleringen omkring 40 punkter med siktlinjer på upp till 40 km (i ett fall, över Ålands hav, 70 km).

Det fjärde steget är att mäta längden av en bas, som skall ingå i triangelnätet. För att välja ut en lämplig plats för en sådan bas behöver man finna en så horisontell yta som möjligt, helst nära havsytan. I fallet Åland uppenbarade sig en idealisk och närmast unik möjlighet: Basen kunde mätas direkt på havsytan i form av Östersjöns is. En bas om 10 km längd uppmättes på isen på Lumparn, en rund havsvik skyddad av omgivande öar.

Det slutliga steget är att beräkna positionerna för alla triangelpunkterna. Man startar med latituden och longituden för den astronomiska utgångspunkten. Med matematiska metoder för trianglar på den krökta jorden kan man sedan ur alla mätta triangelvinklar och



Figur 5-3. Vårdkase av typ som användes som signal på triangelpunkter på Åland och Upplandskusten omkring 1750 (här hämtad från Vårdö kommuns vapen).



Figur 5-4. Triangelpunkten Väddö kasberg på Upplandskusten ingående i 1700-talets Ålandstriangulering, efter vårdkasens avskaffande markerad med borrhål och triangel i berget för framtida återfinnande.

den mätta längdbasen beräkna latituder och longituder för alla punkter i hela triangelnätet. Detta var vad Gadolin gjorde. Med tiden kom detta vetenskapsområde att kallas geodesi.

Moderna undersökningar av pionjärtrianguleringen över Åland visar att koordinaterna (latitud och longitud) för triangelpunkterna har en osäkerhet på ungefär 100 m relativt varandra, och att detta gäller triangelnätet i hela dess vidd. Det betyder alltså en osäkerhet på 100 m över en sträcka på nära 200 km. Trianguleringen över Åland tycks därmed ha varit av samma höga kvalitet som den vid polcirkeln. I latitudled innebar detta inte någon väsentlig förbättring jämfört med astronomisk positionsbestämning, men i longitudled innebar detta en drastisk förbättring, ungefär med en faktor 50. Dessutom kunde man bestämma många fler punkter på detta sätt.

Trianguleringen över Åland fick en märklig efterhistoria långt senare, i form av Rysslands intresse för den. Vad som hände var följande.

Gadolins preliminära rapport över trianguleringen 1757 blev aldrig tryckt. När Carl Peter Hällström 50 år senare slutberäknade hela arbetet med förbättrade matematiska metoder blev inte heller denna rapport tryckt. Efter Hällströms död ytterligare många år senare skickade hans bror in manuskriptet till den nybildade Finska Vetenskaps societeten. Då detta kom till den ryska marinens kännedom skyndade de sig att låna manuskriptet, men ville sedan inte lämna tillbaka det. När det utlånade manuskriptet begärdes tillbaka lämnade de istället en avskrift. Den var undertecknad med bland annat det dunkla intyget: "Med originalet är ganska rätt"! Nu råkar det vara så att det finns både en ursprungligare version och en dubblettversion av manuskriptet i behåll i svenska arkiv. Genom att jämföra dem med den ryska avskriften har man nu kunnat bekräfta att nästan alla koordinater i den ryska avskriften är korrekta. (Det finns ett ganska betydande fel men det misstaget uppträder redan i originalmanuskriptet.)

Det ryska intresset för denna triangulering kan betraktas som en ytterligare illustration av dess noggrannhet. När den ryska marinen fick tag på dokumentet och inte ville lämna tillbaka det var mätningarna bakom nära hundra år gamla, men ansågs tydligen fortfarande vara värdefulla för deras sjökartläggare.

5.3 Trianglar runt hela Östersjön

Bakgrunden till trianguleringen över Åland var vetenskaplig och internationell, men den bidrog till konsekvenser som var nationella och samhällsnyttiga. Samma år som Ålandstrianguleringen började påpekade Celsius kusin Pehr Elvius att longituden för den norra delen av svenska västkusten sannolikt var felbedömd, vilket utgjorde en fara för sjöfarten. Kom man västerifrån dök kusten och de farliga Pater Noster-skären upp tidigare i verkligheten än på kartan. Ålandstrianguleringen visade snart på en lyckad metod att göra något åt detta.

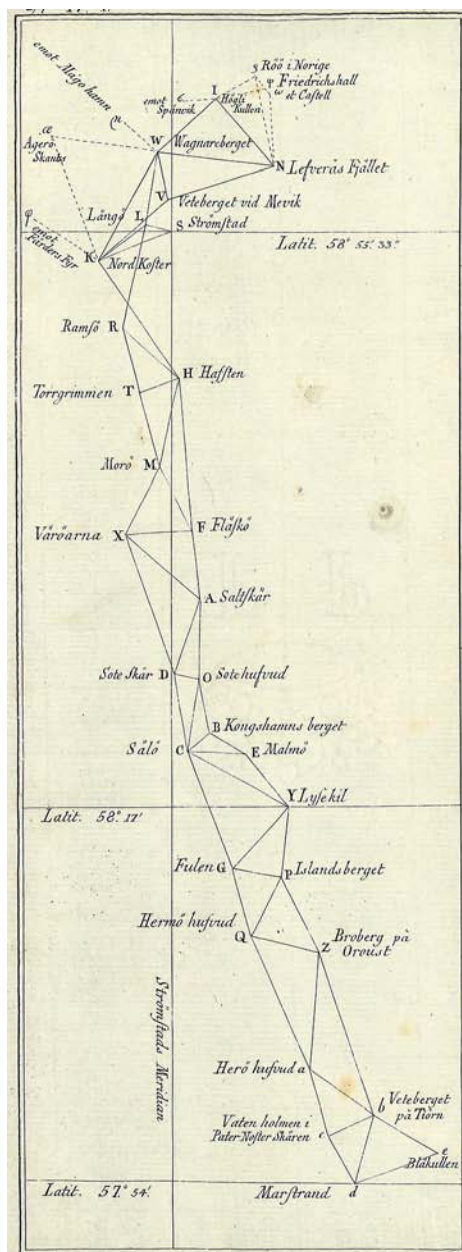
Redan inom några få år efter Ålandstrianguleringen, 1756, beslöt Riksdagen att genomföra en triangulering längs hela den svenska kusten som grund för att framställa sjökort. Eftersom den svenska kusten vid denna tid alltså inkluderade inte bara det nuvarande Sverige utan även Finland och norra Tyskland kom detta att innebära ett omfattande geodetiskt projekt för att utarbeta noggranna sjökort för hela Östersjön.

Den stora kusttrianguleringen började 1758 och fortgick (med mindre avbrott) under nära 30 år fram till 1786, då hela kusten var färdigtriangulerad. Därefter vidtog en del ommätningar och kompletterande mätningar, bland annat av de stora insjöarna, som avslutades först 1817. Arbetet organiserades som en sorts samarbete mellan Kungl. Vetenskapsakademien i Stockholm, Amiralitetet i Karlskrona och universiteten. De ansvariga var från Vetenskapsakademien Pehr Wargentin, som vi tidigare lärt känna som Celsius assistent och expert på Jupitermånarna, och från Amiralitetet och Uppsala Universitet Mårten Strömer, som var Celsius efterträdare som professor i Uppsala och gift med en kusin till Celsius.

Wargentin var en flitig vetenskaplig brevskrivare – han skrev tusentals brev till kolleger och andra runt om i världen. Från sitt observatorium i Stockholm agerade han brevlades som en sorts vetenskaplig rådgivare till trianguleringen och sjökortsarbetet. Strömer å sin sida fick tjänstledigt från sin tjänst i Uppsala för att sitta i Karlskrona som spindeln i nätet och basa över det hela och beräkna sfäriska trianglar. Han kom delvis att fungera som trianguleringens räknecentral.

Arbetena med kusttrianguleringen började 1758 inom tre olika områden: dels längs svenska västkusten från norska gränsen – se figur 5-5 – under ledning av Nils Schenmark från Lunds Universitet, dels längs finska sydkusten bort mot ryska gränsen under ledning av Johan Justander från Åbo Akademi, och dels längs tyska kusten i Pommern under ledning av Andreas Mayer från Greifswalds Universitet. Som synes var det dåvarande svenska rikets samtliga fyra universitet inblandade i projektet. Året därpå började man även triangulera svenska ostkusten söderifrån under ledning av Johan Nordenankar med flera från Amiralitetet. Till stöd för arbetenas utförande, lite som en instruktionsbok, användes avskrifter av Gadolins rapport om Ålandstrianguleringen, som blivit klar året innan.

Till triangelpunkterna hade man nu inte som på Åland tillgång till värddkasberg, utan man måste bygga egna kon- eller pyramidformade signaler av trä eller sten på lämpliga bergknallar; se figur 5-6. Ofta kompletterades de med en vertikal stång med en tunna eller tavla i toppen. Sedan dessa signaler byggts kunde man komma igång med vinkelmätningarna. För transporterna och en del av räknearbetet krävdes



Figur 5-5. Del av den stora kusttrianguleringens nät, från norska gränsen och söderut längs Bohuskusten, uppmätt med början 1758.



Figur 5-6. Träsignal med tunna i toppen på triangelpunkten Utlängan i Karlskrona skärgård ingående i 1700-talets stora kusttriangulering. Teckning från en något senare triangulering av Fredrik Arosenius 1832.

ett lämpligt fartyg med en styrman och 4 - 6 båtsmän. I ett fall begärdes ett "nätt och välseglande fartyg, som bör vara försedt med ett ljust och ljusligt rum till chartors nyttjande och räkningarnes förrättande". Båtsmännen fick också hjälpa till med byggandet av signalerna för vinkelmätningarna. Där det fanns fyrar kunde även dessa användas till triangelpunkter; se figur 5-7.

När Schenmark kommit igång med sitt arbete på västkusten skriver han till Wargentin och berättar:

"Jag måste nu dela min tid emellan observationer och trianglars formerande. I förra veckan uppsatte jag signaler härifrån til norska gränsen. Sedan jag kom hit har jag skrivit 4 bref til Prof. Strömer men ej ärhållit något svar: nu kommer jag ej längre för än jag ifrån Carlskrona får mera pengar."

Och något år senare kommer en liknande fråga upp:

"Ännu har jag ej hört af något ifrån Carlscrona och vet således ej om jag får bli hemma i sommar eller om jag skal continuera [fortsätta] triangelmätningarna."

Det tycks alltså inte alltid ha varit lätt att få kontakten mellan de inblandade i de olika områdena och ledningen i Karlskrona att fungera. Likväl finner Schenmark att "arbetet är nöjsamt alenast vädret är någorlunda skickeligt då jag reser på hafvet".

Inom varje område skulle man också mäta längden av åtminstone en bas. Detta gjordes under vintern på Östersjöns is efter mönster från Åland. Att ha använt is på havet för detta torde Sverige vara ensamt om. På västkusten blev det dock problem med för lite is, så där fick man invänta en tillräckligt kall vinter för att kunna utföra basmätningen. Inte ens då gick det riktigt som det skulle; Schenmark berättar för Wargentin vintern 1760:



Figur 5-7. Triangelpunkten Kullens fyr i Skåne ingående i 1700-talets stora kusttriangulering. Målad teckning av Ulrik Thersner vid en triangulering 1817.

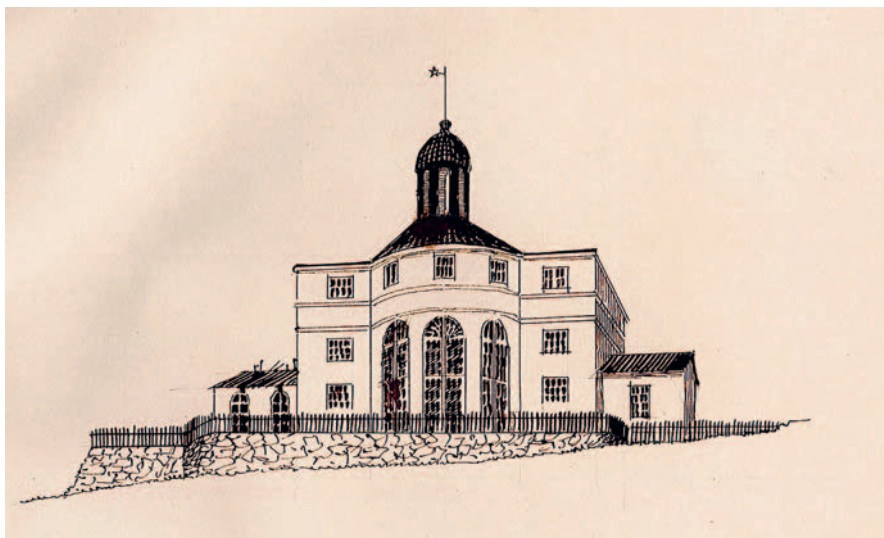
”Änteligen började det at frysa på då jag, sedan hafsiorden å nyo lagt sig och den legat i 3 nätter, började derpå att mäta basis, som Gudi lof geck lyckeligit at ingen feck någon skada. Knappt hade jag lyktat [slutat] at mäta et stycke af basen om aftonen, för än en SW vind kom, som gorde at morgonen derpå alt var rent vatn der mätningen gordes dagen förut.”

Vinden hade svept bort isen; en längre bas fick senare göras på land.

En del speciella praktiska problem uppstod också ibland; orsakerna kunde vara såväl små som stora. Ett år hindrades en del av triangelmätningarna av att det inte gick att få tag på någon lämplig båt. Ett annat år hindrades mätningarna av att det rådde brist på växelmynt att betala medhjälpare med. Ytterligare ett annat år hindrades mätningarna i Pommern av krigshandlingar.

Länge var det oklart i vilken utsträckning även Bottniska Viken skulle omfattas av kusttrianguleringen, men så småningom bestämdes att även detta område skulle ingå. Här utfördes större delen av arbetet under ledning av Nathanael Gerhard Schultén från Amiralitetet och Åbo Akademi. På förslag av Nordenankar införde man här en speciell variant för att bland annat kringgå problemen med den branta och svårtillgängliga ”Höga kusten” på den svenska sidan: Triangelpunkterna förlades till de yttersta uddarna på land men i övrigt till tillfälliga punkter ute på isen. På detta sätt fick man ett triangelnät på is som var lätt att upprätta och mäta, men priset man fick betala var att ispunkterna sedan gick förlorade vid islossningen och bara landpunkterna på uddarna blev kvar. Över huvud taget torde detta vara den enda triangulering i världen som delvis utförts på havets is.

Som påpekades i förra avsnittet måste hela triangelnätet också fixeras till sitt läge och sin orientering på jorden genom astronomisk Ortsbestämning. Alldeles i början förlitade man sig vid svenska västkusten på den gamla ruinen Uranienborg. Men sedan valde man att använda flera astronomiska punkter: Lund, Karlskrona, Stockholm, Uppsala, Härnösand, Torneå och Åbo samt Greifswald. Latituden bestämdes därvid som vanligt ur observationer av stjärnor, och longituden ur observationer av Jupiters månar (några gånger även solförmörkelser). Stockholms observatorium var den noggrannast bestämda punkten; se figur 5-8 och 5-9. I Stockholms observatorium bestämde Wargentin



Figur 5-8. Stockholms observatorium, grundlagt 1748. Senare ritning av Fredrik Arosenius.



Figur 5-9. Stockholms observatorium idag.

latituden med en osäkerhet på 1 – 2" motsvarande 50 m ur ett stort antal stjärnobservationer. I och med Wargentins tidigare omtalade verksamhet med Jupitermånarna för longitudbestämning kom Stockholms observatorium nu också att bli ny nollmeridian i Sverige efter Uppsala.

Noggrannheten i den stora kusttrianguleringen är inte helt lätt att uppskatta, men moderna undersökningar tyder på att koordinaterna för punkterna har en osäkerhet på ungefär 500 m relativt varandra över stora avstånd. Detta är inte lika bra som noggrannheten i Ålandstrianguleringen där motsvarande siffra var 100 m. Redan Hällström som slutberäknade Ålandstrianguleringen hävdade att den var överlägsen allt som senare gjorts längs svenska och finska kusterna. Inte konstigt att den ryska marinen blev intresserad! Varför blev det sämre senare? Ålandstrianguleringen hade varit ett begränsat pionjärbete med hög ambition och ett speciellt instrument. Kusttrianguleringen i sin helhet däremot var ett omfattande projekt för att så snart som möjligt åstadkomma användbara sjökort över hela Östersjön; här var tydligen en måttligare ambitionsnivå tillräcklig och mindre kostsam.

Hällström ger oss också en liten inblick i olika personers arbetssätt. Hällström, som varit elev till Schultén och slutberäknat Gadolins Ålandstriangulering, säger om Gadolins arbete att det utgör "ett prof på utmärkt omtanka och bemödande hos observatorn att ernå den möjligaste grad af pålitlighet". Om Schulténs arbete säger han däremot att "de af Schultén observerade vinklar dessutom voro, såsom vanligt, opålitliga". Men hur arbetade då Hällström själv? Jo, där försäkrar en senare kollega att man kan "obesett vara förvissad om noggrannheten af allt vad C P Hällström utfört".

Som ett utflöde av den franska gradmätningen vid polcirkeln var Sverige, inklusive Finland, alltså tidigt ute med triangulering som grund för kartläggning. Danmark och Norge följde snart efter. Den stora kusttrianguleringen hade också som nämnts ett par egenheter som gjorde den särpräglad i ett internationellt perspektiv vid denna tid: Den var inriktad på att skapa sjökort snarare än landkartor, och den var delvis utförd på havets is. Och detta åstadkoms av en ganska speciell kombination av båtfolk och vetenskapsmännskör: amiraler och professorer, styrmän och docenter, sjöfolk och landkrabbor.

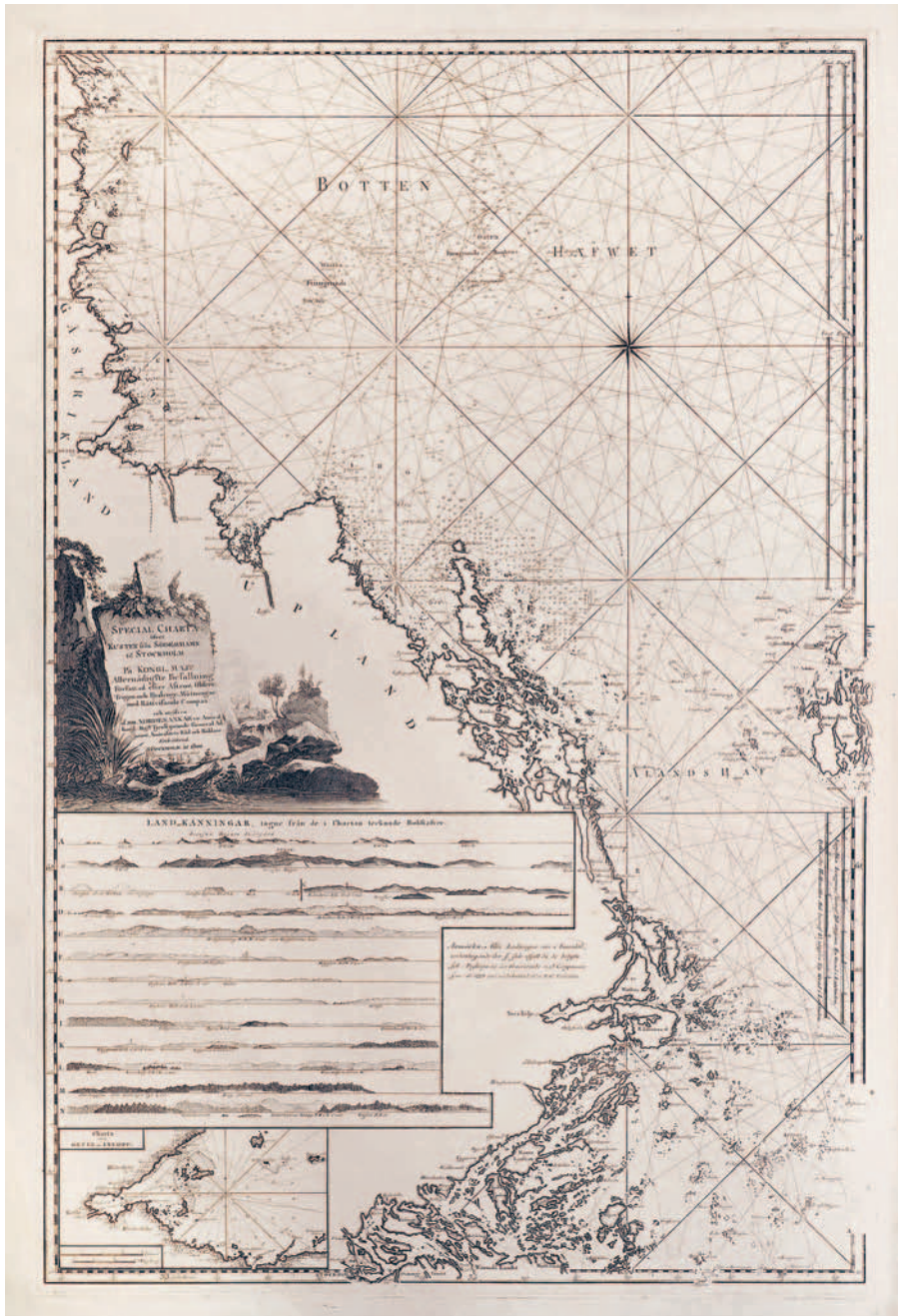
5.4 De första sjökorten grundade på triangulering

Sjökorten över Östersjön grundade på kusttrianguleringen började ges ut ungefär samtidigt som trianguleringen avslutades. Utöver ett kort över hela Östersjön inklusive Kattegatt och Skagerack utgavs 10 kort täckande alla delar av Östersjön och dess kuster under åren 1783 – 1797; se figur 5-10 och 5-11. Från det inledande arbetet på Åland till det sista utgivna sjökortet tog det alltså 50 år. Resultatet kan ses som ett tidigt exempel på vetenskap i samhällets tjänst.

Sjökorten är alla framställda i Mercators projektion. Eftersom sjökorten behövde en internationell nollmeridian användes inte den nationella genom Stockholm. Stockholms observatorium hade som nämnts tidigare genom Wargentins trägna arbete med Jupitermånarna en synnerligen välbestämd longitud i förhållande till Paris observatorium, varför alla longituder bestämda i förhållande till Stockholm kunde räknas om till Paris. På sjökorten finner vi dock varken longituder räknade från Stockholm eller Paris utan från en ort benämnd Ferro. Detta var ön Hierro bland Kanarieöarna och den antogs i allmänhet ligga 20° väster om Paris. För att slippa negativa longituder i vissa europeiska farvatten brukade man helt enkelt addera 20° till longituder bestämda i förhållande till Paris och kalla dessa för longituder räknade från Ferro. (På några svenska kartor har denna fiktiva nollmeridian till och med fått benämningen Ferrö.)

Ansvarig för framställandet av sjökorten var Johan Nordenankar som tidigare varit inblandad i trianguleringen längs den svenska ostkusten. Nordenankar (ursprungligen Corvin) var sjömilitär med internationella erfarenheter: Han hade tjänstgjort i de brittiska och maltesiska flottorna innan han blev engagerad i kusttrianguleringen. Som både sjöman och vetenskapsman blev han slutligen ledare för "Sjökortsförbättringen" som hela det stora projektet kom att kallas. Sjökorten tillsammans blev kända som Nordenankars sjöatlas och vida använda.

En av Nordenankars medarbetare hette Eric [af] Klint. Han hade medverkat i både trianguleringarna och själva sjökortsframställningen. Erik af Klints son, Gustaf af Klint, tog vid efter Nordenankar när det gällde utarbetande av förnyade sjökort, med den tidigare nämnde Schultén som trianguleringsexpert. Eftersom staten hade brist på pengar



Figur 5-10. Sjökart över Ålands hav med omgivningar grundat på den stora kusttrianguleringen, inklusive den inledande trianguleringen över Åland, utgivet 1783 – detta är den första svenska kartan grundat på triangulering.



Figur 5-11. Påpekande på sjökortet i figur 5-10 om att det bygger på såväl astronomiska observationer som trigonometriska mätningar, det vill säga triangelmätningar.

för detta ändamål ägnade sig Gustaf af Klint åt denna verksamhet helt på egen bekostnad. Resultatet blev en omfattande serie nya sjökort, nu över såväl Östersjön som andra europeiska kuster. Den blev känd som Klints sjöatlas och internationellt spridd. Gustaf af Klints son, Eric Gustaf af Klint, fortsatte utgivningen av sjökorten, tills han gick under med ett fartyg i en orkan på Atlanten.

5.5 Sjökartläggning och navigation – ett samspel

Positionsbestämning på jorden fyller två besläktade funktioner: dels att göra kartor, dels att navigera. Mellan dessa två syften råder ett visst samspel. Celsius som omkring 1740 var mycket engagerad i dessa frågor skriver:

”Så wäl geographien som navigation gå förnämligast derpå ut at man kan weta antingen alla lands-orters och siö-kusters rätta belägenhet sins emellan, eller ock et skeps ställe på wilda hafwet. Här til fordras åter at man har accurata [noggranna] landt- ock siö-chartor, hwilka föreställa orternas tilbörliga situation så til latituden i norr ock söder öfwer linien [ekvatorn] som deras longitude i öster eller wäster.”

För att det skall vara någon nytta med ett sjökort grundat på noggranna positionsbestämningar, måste man kunna bestämma sin position med liknande noggrannhet när man skall navigera. Och för att det skall vara någon nytta med att noggrant kunna bestämma sin position när man navigerar, måste man ha ett sjökort som är grundat på positionsbestämningar av minst samma noggrannhet.

Det här blev tydligt när sjökorten och navigationen utvecklades kraftigt vid mitten av 1700-talet. Latituden hade ju sedan tidigare bestämts med hjälp av solen eller stjärnor, och det på i princip samma sätt både vid kartläggning och vid navigation (även om man vid navigation fick använda ett handhållet instrument, sextanten, istället för som vid kartläggning ett instrument uppställt med stativ, kvadranten). Longituden däremot blev det annorlunda med. Vi har sett att longituden vid kartläggning bestämdes med hjälp av Jupiters månar, och att såväl latitud som longitud sedan även kunde bestämmas genom triangulering. Vid navigation på haven var det inte möjligt att tillämpa dessa metoder. Hur skulle man då bestämma longituden till sjöss?

Den brittiske urmakaren John Harrison lyckades efter många mödosamma år konstruera ett portabelt ur, kronometern, som på ett avgörande sätt bidrog till lösningen av problemet. I stället för att trassla med Jupiters månar och brevväxling hit och dit för att kunna jämföra tider, ställde man kronometern på rätt tid på nollmeridianen och tog sedan med sig kronometern på fartyget. På detta sätt tog man alltså med sig nollmeridianens tid på fartyget och kunde sedan jämföra den direkt med den lokala tiden på fartygets meridian och därmed bestämma longituden till sjöss. Även om kronometern var viktig räckte det inte med bara den. Man måste också göra astronomiska observationer av solen eller stjärnor i observatoriet på nollmeridianen för att ställa kronometern på rätt tid, och man måste göra motsvarande astronomiska observationer på fartyget för att bestämma den lokala tiden.

För att ha nytta av sin longitudbestämning på fartyget behövde man också veta var i förhållande till kusten eller näraliggande öar och grund man befann sig. Alltså behövdes sjökort av tillräcklig noggrannhet även i longitudled. Och för att göra dessa behövdes Jupiters månar och triangulering; kronometern fungerade nämligen bra endast på en gungande båt på havet men inte i en skakande vagn på land. Det som

löste problemet med att navigera inte bara efter latituden utan även efter longituden var alltså samspelet mellan metoderna för navigationen och för sjökarteläggningen.

6. Stjärnor, trianglar, bergstoppar och terrängkartor

6.1 Meridianbågen vid polcirkeln än en gång

I Sverige, inklusive Finland, var det vid denna tid mycket svårare att genomföra en triangulering i inlandet för att göra landkartor, än längs kusten för att göra sjökort. Skälet till detta var de vidsträckta skogar som breder ut sig hos oss och effektivt hindrar fri sikt mellan punkter på stora avstånd. Vid slutet av 1700-talet rådde brist på någorlunda noggranna landkartor över Sverige. Då ingrep en enskild person, den kartintresserade bruksägaren Samuel Gustaf Hermelin, och bekostade privat en kartutgivning över Sveriges, och därmed även Finlands, alla landskap. Till positionsbestämningen bakom kartorna anlidade han den tidigare nämnde Carl Peter Hällström, som delvis arbetat med Schultén i slutskedet av kusttrianguleringen. På Hermelins bekostnad reste Hällström runt i riket och gjorde astronomiska Ortsbestämningar med hjälp av solen, nu med sextant och kronometer i förbättrade versioner. I brist på trianguleringar var dessa astronomiska bestämningar av latitud och longitud, om än inte gjorda med högsta noggrannhet, av stor betydelse. Och längs kusterna utnyttjades förstås den nu genomförda trianguleringen där.

Men alldeles i slutet av 1700-talet inträffade två saker om skulle förändra läget när det gällde triangulering även inne i landet, en vetenskaplig och en politisk. Den vetenskapliga hade med jordens avplattning vid polerna att göra, och den politiska hade med de omfattande Napoleonkrigen att göra.

Mot slutet av 1700-talet hade man genom ett flertal gradmätningar längs meridianer på olika håll kommit fram till att jordens avplattning vid polerna borde vara i närheten av $1/300$, det vill säga att avståndet från jordens centrum upp till polen var så mycket kortare än avståndet från jordens centrum ut till ekvatorn. Men den gamla franska gradmätningen i Tornedalen passade inte riktigt in i detta. Därför beslöt Kungl. Vetenskapsakademien att göra en ny gradmätning i Tornedalen, alltså en kombination av astronomiska latitudbestämningar och triangulering. Den utfördes 1801 – 1803 och leddes av Jöns Svanberg, som var

uppvuxen där men nu var verksam vid Stockholms observatorium. De nya resultaten stämde bra överens med dem från andra håll.

När Svanberg skulle utföra gradmätningen tog han kontakt med de franska astronomerna och geodeterna vid Parisobservatoriet. Där hade man nyligen engagerat sig i en ny gradmätning i Frankrike med ett alldeles speciellt syfte: att i franska revolutionens anda införa ett helt nytt måttsystem, metersystemet. Den nya längdenheten meter skulle definieras som $1 / 10\,000\,000$ av avståndet från ekvatorn till polen på den något ovala jorden, kallad jordellipsoiden. Det krävde att man kunde fastställa jordellipsoidens storlek och avplattning vid polerna med stor noggrannhet. Det visade sig senare att det kunde man inte riktigt, men i revolutionens önsketänkande skulle man kunna det med hjälp av bland annat den franska gradmätningen. Genom kontakterna med Parisobservatoriet fick nu Svanberg tillgång till den senaste vetenskapliga utvecklingen inom triangulering, både när det gällde mättnings- och beräkningsmetoder. Och när han publicerade sina resultat använde han metersystemet, långt före dess internationella genombrott.

Samtidigt med detta inträffade de stora Napoleonkrigen. De fördes på ett delvis nytt sätt som krävde en ganska detaljerad kännedom om topografin, det vill säga terrängen där man skulle röra sig med sina trupper. Detta i sin tur krävde förhållandevis noggranna kartor där man kunde få en bild av terrängförhållandena med berg och dalar. Och detta krävde kartor grundade på vetenskapligt utförda trianguleringar så att terränginformationen kunde placeras in på rätt ställen på kartan. I Sverige drog man slutsatsen att man för det egna försvarets behov måste kartlägga landet på detta nya sätt. Det blev nödvändigt att göra trianguleringar över hela riket, inte bara längs kusten utan även i inlandet.

För detta ändamål inrättade man en särskild militär och vetenskaplig myndighet, Fältmätningsskåren (Fältmätningsscorpsern), år 1805. Personalen skulle främst vara specialutbildade militärer. En central person skulle dock vara civil: professorn, den vetenskaplige ledaren. Vem skulle kunna axla denna roll? Svanberg förstås! Nu kom Svanbergs nyvunna geodetiska erfarenheter inom såväl astronomisk Ortsbestämning som triangulering väl till pass.

6.2 Rikstriangulering och decimalsystem

Den nyinrättade Fältmättningskåren, sedermera känd under namnet Topografiska Kåren (Topografiska Corpsen) och slutligen Rikets Allmänna Kartverk, fick sig tilldelad en gigantisk uppgift. Den skulle noggrant positionsbestämma punkter över hela landet genom triangulering med tillhörande astronomisk Ortsbestämning, och detta i sådan utsträckning att de kunde ligga till grund för en detaljerad topografisk karta över landet. Det skulle ta nästan 100 år att genomföra detta projekt av mätningar och beräkningar, och sedan ytterligare en tid innan alla kartor var ritade och utgivna.

Ett första försök till triangulering tycks ha gjorts redan några år innan Fältmättningskåren grundades. En experimenttriangulering gjordes då 1798 – 1799 i inlandet, med bergen kring Österdalälven i Dalarna som triangelpunkter.

Arbetet i den nya Fältmättningskåren påbörjades 1807 under ledning av Jöns Svanberg med utgångspunkt i Stockholms observatorium. Svanberg kombinerade sitt arbete som geodesiprofessor vid Fältmättningskåren med arbetet som astronom vid Stockholms observatorium. (Han hade tidigare tjänstgjort vid Uppsala Universitet och då också grundat Uppsala simsällskap, världens äldsta ännu existerande idrottsförening.) Observatoriets latitud var omsorgsfullt bestämd redan av Wargentin, men man kompletterade med flera stjärnobservationer. Observatoriets longitud sattes till 0, det vill säga Stockholms observatorium gjordes till nollmeridian. Genom stjärnobservationer fastställdes också en utgångsriktning för triangelnätet mot Katarina kyrka, som därmed blev närmaste triangelpunkt till Stockholms observatorium.

Från observatoriet i Stockholm gjordes nu 1807 en första triangulering norrut med ändpunkt i observatoriet i Uppsala. De första vinkelmätningarna i denna triangelkedja gjorde Svanberg tillsammans med Johan Peter Lefrén, senare aktiv riksdagsman, och här introducerades en nymodighet som Svanberg fått från Frankrike: Vinklarna mättes i nygrader (gon), där en rät vinkel utgjorde 100 nygrader i stället för de gamla 90 graderna. En bas längdmättes vid ett annat tillfälle av Ulrik Thersner, senare känd tecknare, och här introducerades en ännu större nymodighet som Svanberg hämtat från Frankrike: Som längdenhet

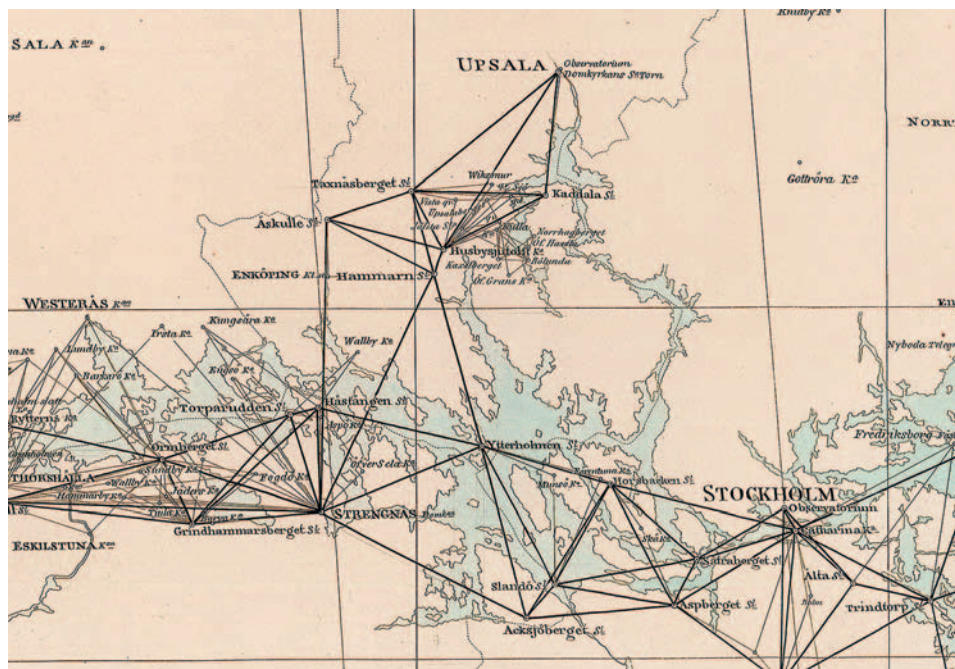
användes franska revolutionens meter i stället för den vanliga foten. Genom detta kom den lilla Fältmätningsskåren i Sverige att bli den första statliga myndighet i världen utanför Frankrike som använde metern. Det skulle dock snart visa sig opraktiskt att vara ganska ensam i världen om att använda metern, så när Svanberg efter några år flyttade till Uppsala Universitet övergav man den och återvände till foten. Även de gamla graderna återkom. Det skulle sedan dröja 70 år innan metern slog igenom. (Nygraderna lyckades aldrig riktigt; i longitudled passade de dåligt ihop med tidsmåtten.)

Vad som däremot blev kvar var decimalsystemet; det hade gamla rötter i Sverige. Vid den här tiden var ju de flesta måttenheter indelade i åttondelar, tolfte delar och liknande, men i Sverige fanns ända sedan 1739 parallellt en officiell decimalindelning. Foten kunde delas antingen i 12 verktum eller i 10 decimaltum och så vidare. Så decimalsystemet överlevde och vidareutvecklades: Även kartornas skalor skulle nu vara decimala, med huvudskalan 1 : 100 000. Ja, Lefrén blev så förtjust i decimalsystemet att han efter 25 års argumenterande lyckades övertyga riksdagen om att införa decimalsystemet även i det dittills röriga myntväsendet. Genom denne rikstriangulerare fick vi därför det myntsystem som Sverige har än idag.

Efter de inledande trianguleringsövningarna tog det stopp. Fältmätningsofficerarna blev upptagna av annat. Som en utlöpare av Napoleonkrigen inträffade Finska kriget, där Sverige fick avträda Finland och Åland till Ryssland. Efter detta återupptogs arbetet. Man började då söderifrån med att triangulera Skåne. Men då tog det stopp igen. Det blev ett nytt deltagande i utkanten av Napoleonkrigen, och efter diverse förvecklingar fick Sverige till stånd en union med Norge som hade lösgjort sig från Danmarks inflytande. Så kom freden och nu äntligen kunde arbetena igångsättas. Den stora rikstrianguleringen kunde börja på riktigt.

6.3 Trianglar i bygd och obygd, och värdet av säterjäntor

Rikstrianguleringen började på allvar 1815 och pågick ända till 1890, alltså under nästan hela 1800-talet. Det första man behövde göra var att välja utlämpliga punkter i terrängen som kunde tjäna som triangelpunkter. De borde ha ett inbördes avstånd av flera mil, och det måste vara fri sikt



Figur 6-1. Del av första rikstrianguleringens nät, över området Stockholm – Uppsala – Mälardalen, på 1820-talet. De kraftiga linjerna visar första ordningens nät, tunnare linjer visar vissa förtätningar.

mellan punkterna så att man kunde mäta vinklarna mellan siktlinjerna; se figur 6-1. De noggrannaste trianglarna skulle bilda slutna kedjor, så att resultaten kunde kontrolleras när man kommit hela vägen runt, den så kallade första ordningens triangulering. Området inuti en sådan sluten triangelkedja kunde därefter fyllas med triangelmätningar av måttligare noggrannhet, som utgick från de då redan beräknade triangelpunkterna av första ordningen.

Vid Ålandstrianguleringen hade triangelpunkterna så att säga valt sig själva genom de redan befintliga vårdkasbergen med sina vårdkasar som signaler. Vid den fortsatta kusttrianguleringen kunde triangelpunkterna ganska lätt väljas bland uddar, öar och skär – eller i norr ute på isen – men man behövde bygga signaler. Nu, däremot, blev förhållandena annorlunda, åtminstone i inlandet.

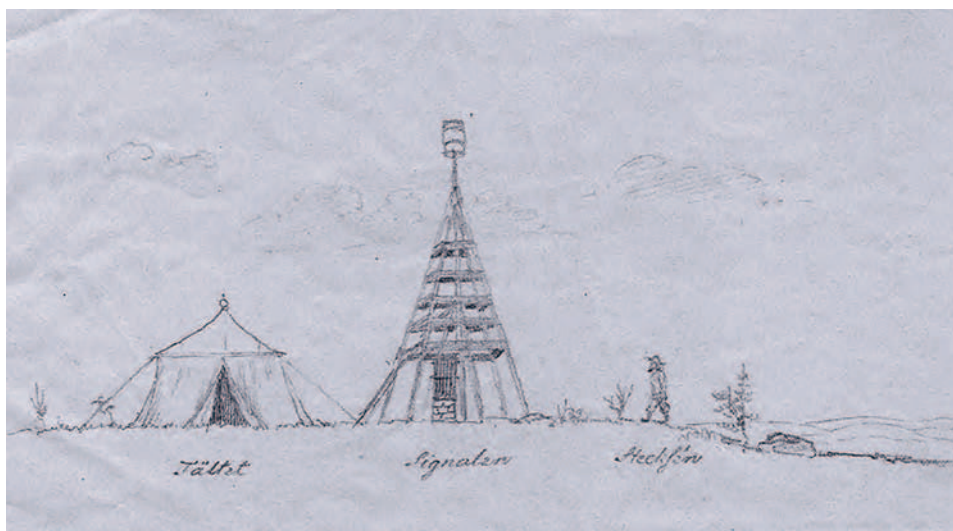
I den södra och mera bebodda delen av landet kunde man ofta använda kyrkor som triangelpunkter. Kyrktornen var ju höga och spetsiga och därför lämpliga både som signaler att rikta vinkelmätningens instrumenten mot och som torn att klättra upp i för att göra vinkelmätningarna. Uppsala domkyrka med sina vida omkring synliga torn blev en idealisk sådan triangelpunkt; se figur 6-2. Av landets domkyrkor användes de flesta som triangelpunkter. Många vanliga församlingskyrkor var också triangelpunkter, särskilt i Västergötland.

I exempelvis Uppsala domkyrka kunde man stå inne i tornet högst upp och utföra mätningarna. I en del kyrkor ute på landsbygden var detta inte möjligt utan man tvingades bygga en liten plattform utanpå tornet högt upp så att man kunde stå där och mäta. Då var det bra att inte ha anlag för svindel. Övernattning ordnades ofta i prästgården eller någon bondgård i närheten.

I de mellersta och norra delarna av landet, mera glest bebodda och till stor del täckta av skogar, var det främst berg som gällde att göra till



Figur 6-2. Triangelpunkterna Uppsala domkyrka till vänster och Vaksala kyrka i fjärran. Målning av rikstrianguleraren Fredrik Arosenius 1826.



Figur 6-3. Träsignal med tunna i toppen på triangelpunkt på berg i Dalarna. Teckning av Fredrik Arosenius på 1850-talet. I början användes dock inte tält; de var nya när teckningen gjordes. (Kollegan till höger fick senare en dotter som blev Sveriges första kvinnliga medicine doktor.)

triangelpunkter. När man väl hittat lämpliga punkter måste signaler byggas, liksom tidigare ofta träkonstruktioner eller stenrösen med en vertikal stång med en tunna eller en tavla i toppen; se figur 6-3. Dessutom måste själva triangelpunkterna markeras i berget, vanligen med ett borrhål, en järndubb eller en huggen triangel, eller en kombination av dessa.

För att sedan en observatör skulle kunna komma dit med sina vetenskapliga instrument för att mäta vinklar krävdes beskrivningar, där man inte bara redogjorde för punkterna utan även hur man kunde ta sig dit. Några användbara kartor för att hitta i de glesbebyggda trakterna fanns inte – det var ju sådana kartor man skulle göra! En del av dessa beskrivningar ger inblickar i möjligheterna och svårigheterna att hitta och ta sig fram. Ett exempel, i detta fall från Hälsingland, är belysande:

”Berget kallas stundom Stafsbergsklätten. Hit går från Mållångstad förbi Gammel-Edsbo fäbodar en god gångstig. Eljest lär det finnas kärrväg från Alfta kyrkoby till något närmare berget beläget fäbodställe. Till

det i bergets norra sluttning belägna Stafsbergs fäbodställe går endast ridvägen.”

Lägg märke till fäbodarnas betydelse här! De återkommer ofta i beskrivningar av triangelpunkter. Man fick alltså rida och gå till fäbodrar eller sätrar uppe på bergssluttningarna, för att därifrån ta sig upp till toppen. Fäbodarna (som de främst kallas i Dalarna – Hälsingland – Ångermanland) eller sätrarna (som de kallas i Värmland och de tidigare norska landskapen Härjedalen och Jämtland), och de kvinnor som arbetade där, var betydelsefulla för trianguleringen. Det vare tack vare dem som man lättare kunde ta sig upp på bergen, kanske få något att äta och dricka – och framför allt: Säterjäsenterna och fäbodkullorna hade en oöverträffad lokalkännedom och kunde fungera som vägvisare för den vidare vandringen mot toppen och triangelpunkten. Om en av triangelpunkterna i Värmland (Östersäterberg) sågs det sålunda:

”Från sättern till signalen är 12 minuters väg, allt så i rät linea mindre än 3600 fot. Skogen var bokstafligen uppfylld af nedvräkt träd, som gjorde all rekognosering här i trakten omöjlig. Stället torde kunna utvisas af säterkullor från Öster Sättra eller från Björklångsberg.”

Till dessa triangelpunkter skulle man alltså, efter att de hade etablerats, bege sig upp med precisionsinstrument för att mäta vinklar; se figur 6-4. Instrumenten hade först transporterats från Stockholm med häst och vagn, så småningom en särskild instrumentvagn. När det inte längre gick att komma fram med vagnen fick man övergå till att lasta instrumenten på hästryggen. Och när det inte längre gick att komma fram med hästen fick man bära instrumenten. Till vissa triangelpunkter kunde det ändå vara nära nog omöjligt att komma fram, som i detta fall i Hälsingland (Nipåsen):

”Det är en den allra otillgängligaste skogstrakt, full af kärr och myrar, samt utan vägar. Ytterst få hafva någonsin varit uppe på berget, emedan det är tätt skogigt, fullt af vindfällan, och på öfre hälften mycket brant. Triangelpunkten finnes på högsta toppen.”

På triangelpunkter av den här karaktären skulle man alltså utföra vinkelmätningar med en precision av bågsekunder!



Figur 6-4. Den blivande triangelpunkten Funäsdalsberget i Härjedalen, med nedanför liggande säter. Målning av Arosenius 1829.

Den som ansvarade för triangelmätningarna var den civile professorn, som samtidigt var astronom vid Stockholms observatorium. Efter att den inledande Jöns Svanberg efter några år flyttat till Uppsala och blivit matematikprofessor där, verkade Simon Cronstrand i drygt 30 år och sedan Haqvin Selander i nära 20 år på denna udda post. Det var ett speciellt arbete, där innehavaren måste kombinera vetenskaplig skicklighet med ibland långvarig vistelse både bland kyrktornen och ute i de otillgängliga ödemarkerna. Flera av de militära geodeterna som arbetade med trianguleringen var också djupt engagerade i både det vetenskapliga och det fältmässiga. De tycks ha varit besjälade av att under ofta svåra förhållanden åstadkomma noggranna och hållbara resultat till grund för den framtida kartan. Hit hörde Carl Gustaf Spens och Abraham Häggblad, vars syster för övrigt var gift med Spens, som båda arbetade med Cronstrand, samt Fredrik Arosenius som även arbetade med Selander. Cronstrand ger i en rapport omkring 1820 en inblick i hur arbetsförhållandena i fält kunde vara:

"Sedan instrumentet, genom moras och på obanade vägar en gång blifvit lyckligt upburet på ett avlägset berg, der det skall nyttjas, är man ofta

nödsakad att i möjligaste hast avsluta mätningarne, för att antingen icke vid den ömtåliga och tunga instrument-lådans nedbärande i mörkret blottställa den för vådliga händelser, eller sig sjelf för faran, att under bar himmel tillbringa en regning och stormig natt. Men tillfällen gifvas då äfven detta ej kan undvikas och då man i flera dygn, under skyggd af en på berget uprest riskoja, måste tåligt afvakta några tjenliga mellantimmar för sitt ändamål."

Arosenius ger en liten beskrivning av hur en sådan tjänstebostad i fält kunde göras och inredas:

"Alltså blef vanligaste byggnadsmaterialet granris. Om detta instickes på lämpligt sätt och lägges tillräckligt tjockt kan kojan hålla ute ett åtta timmars slagregn, men hvad hon icke håller ute är drag och blåst. Kring väggarne voro smakfullt upphängda sabel, rensel, tobakspipa, yxa, vattenflaska. ... Vanligen funnos sedan signalbyggnaden qvar ett par brädlappar, som kunde inrättas till stol och bord. Bädden anbragtes på marken och bestod oftast af det allestädes närvarande granriset."

Vid övernattning i riskoja var tillgång till vatten viktigt; för en punkt i Värmland (Hovfjället) påpekades att "vatten måste tagas ur kärren".

Det känsliga instrumentet måste också hanteras med stor försiktighet, inte bara vid mätningarna utan även vid transport. En bonde som anlitats som bärhjälپ förmanades "att bära lådan så varsamt som om den hade varit ett fullt brännvinsglas". Den instruktionen fungerade!

Medan vinkelmätningarna i trianguleringen ofta fick göras på krävande platser i terrängen, kunde de baser som skulle längdmätas läggas på lättillgängliga platser. Vad man behövde var ett plant område, helst nära havets nivå, där man kunde mäta basens längd med kalibrerade stänger. I Stockholms skärgård mätte man, liksom på 1700-talet, en bas på själva havsisen; på andra håll upprättade man baser dels på de stora sjöisarna och dels på några stora slättmarker. En särskild betydelse fick längdbasen på Öland, där Alvaret utgjorde en gynnsam plats för omsorgsfull längdmätning. Här gjorde man upprepade längdmätningar och jämförde olika metoder. En typisk bas kunde ha en längd av 1 mil och mätas med en noggrannhet av 1 m, senare 0.1 m.

Både Vänerns och Vätterns isar utnyttjades för längdbaser till trianguleringen. Längdmätningen på Vätterns is vintern 1820 blev anmärkningsvärd. Dels blev detta troligen den längsta basen i världen, ungefär 2 mil. Dels blev förloppet dramatiskt. Spens och Häggblad, som tillsammans ledde mätningen, berättar i sitt mätprotokoll:

”Mätningen hade aftonen förut stadnat vid en råk, der i baslinien var flere alnars klart vatten, men litet till venster så starkt at snöplog med 1 par oxar och en häst hade gått öfver där, och ännu denna dag om morgonen ett lass med stånglådan passerade där. Sedan vi med mätningen passerat lyckligt öfver vattnet, funno vi vid landet en annan råk vara slagen. Öfver denna landråken gingo vi med mätningen lyckligt.”

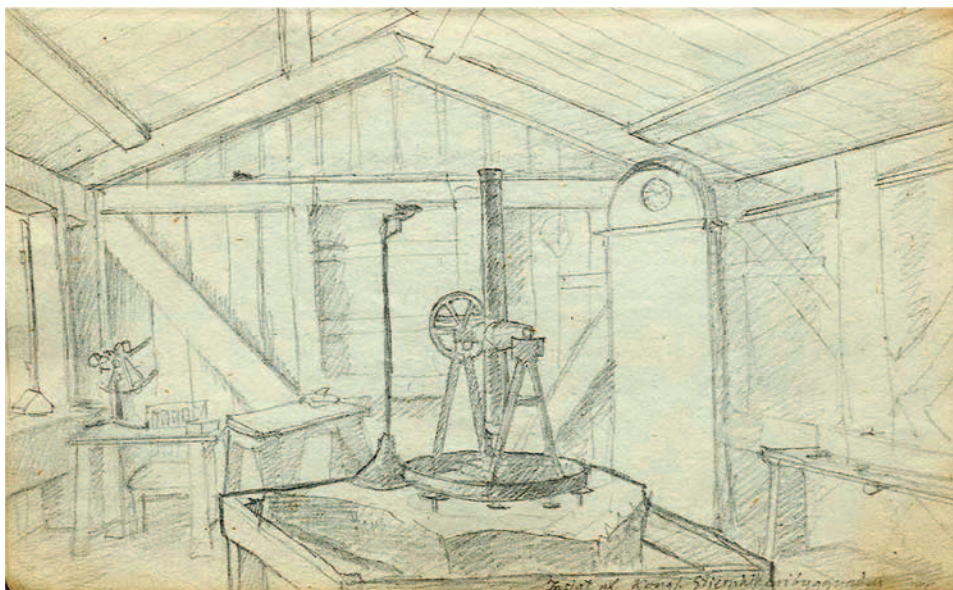
Men så skulle man fem timmar senare tillbaka hem:

”Just på det ofvannämnda som starkast ansedde stället körde släde, häst och tre människor ner. Öpningen vidgades vid denna händelse till flera famnar. Genom de ännu nära varande soldaternes biträde räddades hästen och en del saker, ehuru tre af manskapet dervid äfven föllo ner, och tvänne af dem voro i stor fara.”

Spens kommentar till det hela andas lika mycket omsorg om själva mätningen som om häst och människor: ”Denna händelse 5 timmar tidigare hade således förstört hela mätningen, äfven om en lika lycklig hazard gynnat alla personers lif.”

Även vissa astronomiska mätningar gjordes på vintern. En astronomisk latitud- och longitudbestämning gjordes mot slutet av 1830 i Umeå, i ett provisoriskt träobservatorium; se figur 6-5. Det stora uret för longitudbestämning där gav dock upp när det blev - 30°C (trots försök att värma det med oljelampa).

Bortsett från dessa speciella mätningar gjordes av naturliga skäl alla observationer i triangelnätet under sommarhalvåret. När årets fältsäsong var slut vidtog det omfattande beräkningsarbetet inne på kontoret under vinterhalvåret. Alla beräkningar med ofta många siffrors noggrannhet måste göras för hand. Till sin hjälp hade man stora tabellverk med trigonometriska funktioner för vinklar och med logaritmer, som gjorde det möjligt att förvandla multiplikationer av långa tal till additioner; se



Figur 6-5. "Insigt af Kongl. Stjärnkikeribyggnaden". Provisoriskt träobservatorium för astronomisk punkt i Umeå, med instrument och pendelur. Teckning av Arosenius 1830.

figur 6-6. Sedan måste allt kontrollräknas för att man skulle vara säker på att man inte råkat räkna fel.

Genom en lycklig slump råkar vi ha kvar ett beräkningstekniskt nödrop, nedtecknat i en inte helt ovanlig situation på en papperslapp omkring 1815. Det är Spens som skickar ett frustrerat meddelande om ett svårfunnet fel i sina beräkningar av triangelpunkter i Skåne till sin kollega Thersner:

"Kan jag så kommer jag kl. 12 på contoiret [kontoret] med Kärnan, Högkullen och Swedbergskulle. Det satans Uranienborg. Tycho Brahe spökar. Här är det nu ändtligen riktigt: U. 104,859 W, 76,393 N. Det var äfwen i den sista uppgiften i går en seconds latitud fel och jag grubbla så jag kunde bli rasande i går i fyra timmar deröfwer."

En del av beräkningarna krävde avancerade matematiska kunskaper. Detta gällde särskilt de beräkningar där man behövde ta hänsyn till jordens krökning, där jorden skulle betraktas som en vid polerna avplattad ellipsoid. Sådana beräkningar blev aktuella även

30. GRAD.										
M.	S.	Log. Sin.	Dif.	Log. Cofin.	Dif.	Log. Tang.	Dif. C.	Log. Cotang.	"	i
0	0	9. 698 9700 043	364 667	9. 937 5306 317	121 569	9. 761 4393 726	486 236	10. 238 5606 274	0	60
	10	9. 699 0064 710	364 625	9. 937 5184 748	121 583	9. 761 4879 962	486 208	10. 238 5120 038	50	
	20	9. 699 0429 335	364 585	9. 937 5063 165	121 597	9. 761 5366 170	486 182	10. 238 4633 830	40	
	30	9. 699 0793 920	364 544	9. 937 4941 568	121 610	9. 761 5852 352	486 154	10. 238 4147 648	30	
	40	9. 699 1158 464	364 502	9. 937 4819 958	121 623	9. 761 6338 506	486 125	10. 238 3661 494	20	
	50	9. 699 1522 966	364 462	9. 937 4698 335	121 637	9. 761 6824 631	486 099	10. 238 3175 369	10	
1	0	9. 699 1887 428	364 422	9. 937 4576 698	121 651	9. 761 7310 730	486 073	10. 238 2689 270	0	59
	10	9. 699 2251 850	364 380	9. 937 4455 047	121 664	9. 761 7796 803	486 044	10. 238 2203 197	50	
	20	9. 699 2616 230	364 340	9. 937 4333 383	121 678	9. 761 8282 847	486 018	10. 238 1717 153	40	
	30	9. 699 2980 570	364 298	9. 937 4211 705	121 691	9. 761 8768 865	485 989	10. 238 1231 135	30	
	40	9. 699 3344 868	364 258	9. 937 4090 014	121 705	9. 761 9254 854	485 963	10. 238 0745 146	20	
	50	9. 699 3709 126	364 218	9. 937 3968 309	121 719	9. 761 9740 817	485 937	10. 238 0259 183	10	
2	0	9. 699 4073 344	364 177	9. 937 3846 590	121 732	9. 762 0226 754	485 909	10. 237 9773 246	0	58
	10	9. 699 4437 521	364 136	9. 937 3724 858	121 746	9. 762 0712 663	485 882	10. 237 9287 337	50	
	20	9. 699 4801 657	364 095	9. 937 3603 112	121 760	9. 762 1198 545	485 855	10. 237 8801 455	40	
	30	9. 699 5165 752	364 054	9. 937 3481 352	121 773	9. 762 1684 400	485 827	10. 237 8315 600	30	
	40	9. 699 5529 806	364 015	9. 937 3359 579	121 787	9. 762 2170 227	485 802	10. 237 7829 773	20	
	50	9. 699 5893 821	363 972	9. 937 3237 792	121 800	9. 762 2656 029	485 772	10. 237 7343 971	10	

Figur 6-6. Matematiska (trigonometriska) tabeller med hög noggrannhet använda vid trianguleringsberäkningar under slutet av 1700-talet och början av 1800-talet.

vid konstruktionen av den nyskapande kartprojektion, som kom att användas till den karta som skulle bli det praktiska resultatet av det hela; vi återkommer till den i ett senare avsnitt.

Här kan det vara läge att stanna upp och fundera över följande: Hur hängde egentligen triangelpunkterna ihop med själva kartan, som ju var syftet med allt arbete? Genom mätningarna och beräkningarna av de grundläggande triangelpunkterna kunde man få reda på var dessa punkter låg i form av latituder och longituder. Men hur visste man sedan var allt annat låg som skulle in på kartan? I princip gick det till så här. De noggrannaste triangelpunkterna bildade ett så kallat första ordningens triangelnät över landet. Med dessa som utgångspunkter kunde man sedan med lite måttligare noggrannhet mäta in flera triangelpunkter som bildade en förtätning av det första nätet. Och med dessa i sin tur som utgångspunkter kunde man med enklare metoder mäta in detaljer i terräng och samhällen.

I Sverige var dock situationen i detta avseende lite speciell. Genom Lantmäteriets mångåriga arbeten med lokala kartor fanns en ovanligt stor samling sådana kartor över byar och fastigheter. Dessa lokala kartor hade inget inbördes samband. De saknade ett gemensamt koordinatsystem

och kunde därför inte sättas samman på ett korrekt sätt. Å andra sidan vore det slöseri att inte använda sig av den geografiska informationen i dessa kartor när man inom Topografiska Kåren skulle framställa en terrängkarta över hela landet. Så vad man gjorde inom vissa områden, där det var möjligt, var följande.

På ett stort bord fäste man ett stort papper till ett tänkt kartblad. På detta papper konstruerades, enligt den fastställda kartprojektion, ett gradnät med paralleller och meridianer. Relevanta lokala kartor ritades så av och förminskades till små kartfragment i lämplig skala för att kunna sättas samman till en grund för kartbladet. Därefter markerades alla tillgängliga triangelpunkter på deras rätta ställen på dessa små pappersbitar som kartfragmenten utgjorde. Varje pappersbit innehållande en triangelpunkt fixerades sedan i bordet med en nål genom triangelpunkten, där nålen sattes ned i bordet på relevant latitud och longitud i kartbladets gradnät. Pappersbitar utan triangelpunkt fick anpassas till sina triangulerade grannar genom överlappning. Scenen beskrivs av Arosenius:

”Ett bord af 3 eller 4 alnar [cirka 2 m] i fyrkant befinnes öfverhöljdt med ett par tusen papperslappar, från en tumnagels till en karlhands storlek, hvilka tills vidare fasthållas genom en skog af lackade synålar.”

Dessa papperslappar limmades sedan ihop för att bilda en sorts preliminär karta som underlag för det mera detaljerade kartarbetet ute i fält.

Den här speciella metoden illustrerar på ett konkret sätt den fundamentala roll som trianguleringen spelade i framställningen av en karta: Triangelpunkterna utgör själva stommen på vilken allting annat i kartan vilar. Därför blir också noggrannheten i dessa punkter så viktig. Ett fel i mätningarna eller beräkningarna av en triangelpunkt, särskilt av första ordningen, skulle omedelbart sprida sig till andra delar av kartan.

6.4 Trianglar över hela världen

Redan efter några årtiondens arbete med rikstrianguleringen visade sig ett visst behov av samarbete över gränserna till grannländerna, i första hand Ryssland. Det särskilda behovet av samarbete med Ryssland kom sig av att det inte gick att fortsätta triangelnätet norrut från Uppsala, där

När efter ett halvt århundrade kanske halva trianguleringsarbetet över Sverige var genomfört inträffade något som förvandlade detta från ett nationellt projekt till att även bli en del av ett internationellt. Hittills hade triangulering tillsammans med astronomisk Ortsbestämning använts till två olika syften. Dels hade man mätt längs vissa begränsade meridianbågar på olika håll i världen, bland annat i Tornedalen, för att undersöka jordens avplattning till följd av dess rotation. Dels höll man nu på att på flera håll mäta upp hela länder, däribland Sverige, för att göra kartor över respektive land. Från tysk (preussisk) sida togs nu ett initiativ som så småningom skulle bli världsomspännande. Man föreslog att man genom internationellt samarbete skulle använda de många nationella trianguleringarna inte bara för kartarbeten utan även för vetenskapliga studier av jorden som helhet. Om de nationella trianguleringarna gjordes med tillräcklig noggrannhet och sedan delvis kunde räknas ihop, kunde samma mätningar användas för både praktiska och vetenskapliga syften. I enlighet med denna idé bildades 1862 en sammanslutning mellan flera länder, först kallad Mellaneuropeiska Gradmätningen men snart vidgad till Internationella Jordmätningen. Sverige och de nordiska grannländerna deltog från början.

Detta fick omedelbara konsekvenser. Den svenska rikstrianguleringen höll tillräcklig kvalitet vad gällde vinkelmätningarna, men för att komma upp i den internationella standarden krävdes dels fler längdbasmätningar och dels en del ytterligare astronomiska mätningar. Det ledde också till omfattande nya beräkningar av redan beräknade koordinater i form av latituder och longituder.

Såväl kartor som koordinater hade nu börjat efterfrågas inte bara av militären utan även av flera civila myndigheter. När man i en publikation skulle offentliggöra koordinater på triangelpunkterna blev det problem:

”Efterföljande resultater af topografiska corpsens ortbestämmelser i Sverige hafva redan länge varit uträknade, och ämnade att tryckas, hvilket dock är från år uppskjutits, för att invänta fullbordandet af vissa kontrollmätningar, ... förening med norska, danska och ryska triangelnäten m.m. Dessa skäl kräfde en fullständig omräkning, som ... ej kan undvikas, om arbetet skall kunna nöjaktigt redovisas efter nutidens fordringar, och för all framtid utgöra en fast grundval för kartor öfver Sverige. Kontroll-mätningarna utfördes. Omräkningen började,

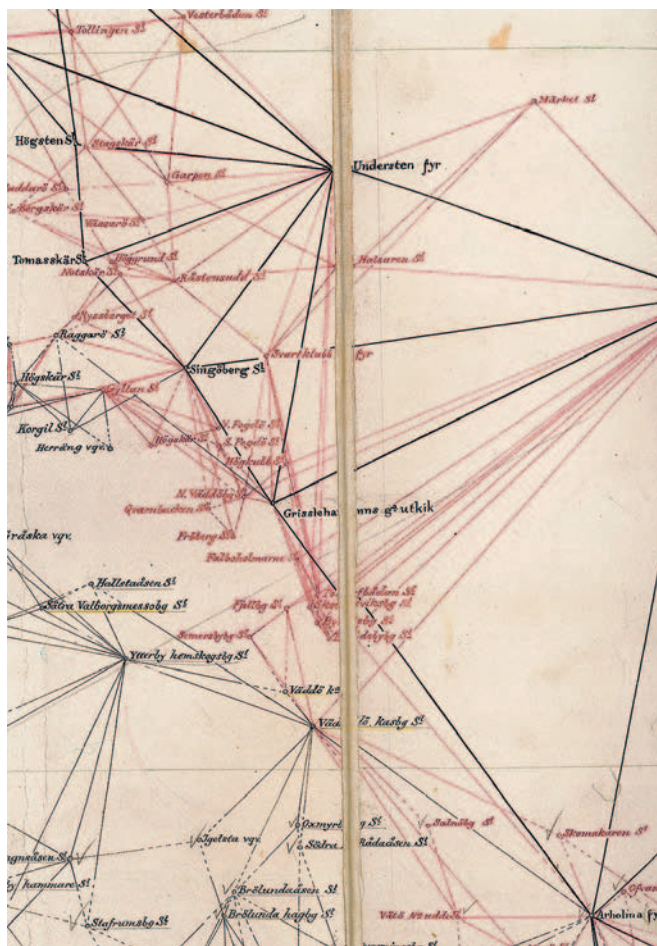
och hade ett långt stycke framskridit. Då tillkom den medel-europeiska gradmätningen, som får en väsendtlig inverkan på alla ortbestämmelser i Sverige ...”

Man anar att författaren suckar över att beräkningarna aldrig tycks bli färdiga och att nya omräkningar nu alltså blivit nödvändiga på grund av de internationella kraven. Och framtiden skulle utvisa att till följd av både vetenskapens och samhällets utveckling var detta inte sista gången.

En annan konsekvens av de internationella kraven var mera oväntad. En av de nya längdbasmätningarna, i utkanten av Stockholm, skulle utföras av Kungl. Vetenskapsakademien genom Georg Lindhagen vid Stockholms observatorium. Den nya basen måste också förenas med rikets triangelnät genom en mindre förbindelsetriangulering. Nu råkade det vara så att Georg Lindhagen hade en bror som var ledamot av Stockholms stadsfullmäktige. Brodern var engagerad i den växande huvudstadens behov av en genomtänkt och detaljerad stadsplan. Brodern fick då igenom att en lokal triangulering kopplad till Georgs arbeten skulle göras över Stockholms stad för att tjäna som grundval för en karta till stadsplanering, vilket var något nytt vid denna tid. Ett internationellt påkallat arbete för vetenskapliga behov kom alltså att bidra även till ett lokalt arbete för kommunala behov.

Här bör påpekas att nya trianguleringar i kustbandet och skärgården för förbättrade sjökort också kom att kopplas till rikstrianguleringen. På 1700-talet hade ju kusttrianguleringen varit ett självständigt projekt. Nu på 1800-talet hade man skapat en särskild myndighet inte bara för landkarteläggningen utan även för sjökarteläggningen, Sjömätningsskåren (Sjömätningsscorpens) eller senare Kungl. Sjökarteverket. Dess trianguleringar för bättre sjökort kunde nu dra fördel av att utgå från rikstrianguleringens punkter för landkartorna; se figur 6-8. I vissa fall, som vid trianguleringen av de stora sjöarna, samarbetade man.

Vid denna tid, under andra halvan av 1800-talet, fortsatte de grundläggande mätningarna i rikstrianguleringen mödosamt norrut och närmade sig i inlandet fjälltrakterna; se figur 6-9. Så småningom nådde man samernas områden. Där var lokalkännedomen hos den bofasta befolkningen i närheten begränsad, vilket ibland gjorde det svårt



Figur 6-8. Kombinerad förtätning av första ordningens triangelnät (tjocka svarta linjer) längs Upplandskusten: Röda linjer återger sjökarteläggningens förtätningar på 1850-talet, tunna svarta linjer landkarteläggningens förtätningar något senare.

att få tag på vägvisare till tänkta triangel punkter. En beskrivning från fjällvärlden illustrerar detta:

”Folket i trakten är ovanligt litet bevandradt i fjällen. Sondéns vägvisare 1878 var bonden Zakris Jönsson i Ytter-Hån. Äfven vi måste anlita honom, emedan ingen annan anträffades som någonsin sett röset. Namnet Skurfdalsfjället torde möjligen vara gjordt af Zakris Jönsson, ty ingen mer än han kände detta namn.”



Figur 6-9. Utsikt mot den blivande triangelpunkten Sånfjället i Härjedalen. Målning av Arosenius 1829. "De bästa vägvisare skulle vara qvinnorna, ty de hafva som halfvuxna gått vall" skriver han – sannolikt är kvinnan här en sådan kunnig vägvisare.

Å andra sidan: När man väl nått rätt topp på fjället hade man ju ofta utmärkt sikt runt om mot andra triangelpunkter, om det inte blev moln, regn eller snö som hindrade mätningarna. Däremot var det inte alltid så lätt att hitta sovplats vid triangelpunkten. Om en av punkterna i Lappland (Marsfjället) sägs det sålunda:

"Högt och ståtligt fjell, det högsta i denna trakt, ger ovanligt vidsträckt utsigt åt alla håll. Någon tältplats finnes ej i närheten af fjelltoppen, utan får den sökas långt ner i någon dalsänka."

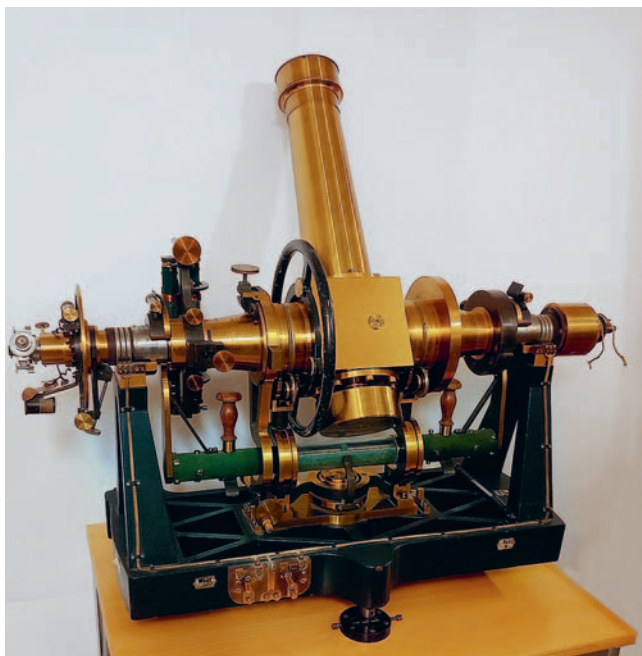
I den nordöstligaste delen av landet, i Tornedalen, kunde man inkludera ett internationellt specialprojekt i rikstrianguleringen. Det var fråga om den nordligaste delen av en mycket lång triangelkedja, från Svarta havet till Norra Ishavet, från början avsedd som gradmätning för att bättre bestämma jordens avplattning. Projektet leddes av Wilhelm von Struve, som från Tyskland flyttat till Rysslands nya observatorium i Pulkovo utanför Sankt Petersburg. I den svensk-norska delen av arbetet, i Tornedalen och upp till Norra Ishavet, var två rätt speciella personer inblandade. Den ene var den tidigare omnämnde Georg Lindhagen

vid Kungl. Vetenskapsakademien, en tid tjänstgörande vid det ryska observatoriet och dessutom gift med en dotter till Struve. Den andre var den norska rikstrianguleringens ledare Christopher Hansteen. Lindhagen och Hansteen hade det gemensamt att ingen av dem kunde släppa sina arbeten ens vid hög ålder. Lindhagen avgick från sin post vid Kungl. Vetenskapsakademien först efter påtryckningar när han var 82 år, och Hansteen lämnade inte ledarskapet för den norska trianguleringen förrän han var 88 år gammal. Den rysk-skandinaviska gradmätningens triangelpunkter, idag utsedda till världsarv, kom att användas i den svenska rikstrianguleringen. Punkterna sammanfaller i Tornedalen delvis med dem från Maupertuis och Celsius ursprungliga gradmätning på 1700-talet.

Rikstrianguleringen leddes som tidigare av den civile professorn, nu Per G Rosén. De tidigare ledarna Cronstrand och Selander hade som nämnts tjänstgjort under lång tid, även om det visade sig att de fick svårigheter på slutet; Cronstrand blev blind och Selander engagerad i för mycket annat. Rosén kom också han att tjänstgöra på denna post mycket länge, i 35 år. Genom Internationella Jordmätningen och dess tyske ledare Friedrich Robert Helmert, i Potsdam utanför Berlin, började Rosén ett arbete med att närmare knyta ihop triangelnätet i Sverige med motsvarande nät på kontinenten. I samband med det gjorde han noggranna astronomiska latitud- och longitudbestämningar – se figur 6-10 – på utvalda triangelpunkter i olika delar av landet. Han påvisade då avvikelser i lodlinjens riktning; deras betydelse återkommer vi till längre fram.

En uppfinning kom vid denna tid också att underlätta tidshanteringen vid de astronomiska longitudbestämningarna. Istället för att skicka brev med observerade tider för Jupiters månar, eller transportera kronometrar som visade nollmeridianens tid, kunde man överföra tid från nollmeridianen direkt med hjälp av den nya uppfinningen: telegrafén. I början krävde det särskilda överenskommelser med Telegrafverket. Som förut behövdes dock även observationer av stjärnor på den aktuella punkten för att bestämma den lokala tiden där.

När det gäller beräkningarna i rikstrianguleringen hade vid det här laget en betydelsefull matematisk, eller snarare statistisk, nyhet tillkommit. Genom att alla mätdata kom att ingå i ett sammanhängande



Figur 6-10. Instrument för att observera stjärnor för bestämning av latitud och longitud, använt under slutet av 1800-talet och början av 1900-talet. Liknande instrument, men något mindre, användes till rikstrianguleringarnas vinkelmätningar.

nät av trianglar, kunde positionen för en punkt i nätet räknas ut från flera olika håll. Vilket var då det trovärdigaste resultatet för punkten? I Tyskland hade Carl Friedrich Gauss vid denna tid utvecklat en metod, minsta kvadrat-metoden, för att ur sådana överbestämningar räkna ut den sannolikaste positionen. Den kom snart att tillämpas i alla länder, även på det svenska triangelnätet. Det ledde till mycket stora beräkningar när många punkter skulle vara med, även om man blev tvungen att dela upp triangelnätet i små delar. Här gällde det att hålla tungan rätt i mun så att man inte gjorde fel på ett ställe och sedan måste räkna om allting!

Till slut, år 1890, efter nära 100 års arbeten, var rikstrianguleringen äntligen fullbordad, åtminstone vad gällde första ordningens triangulering. Omfattande förtätningar i de mer bebodda delarna av landet hade också genomförts. (I några svårtriangulerade områden hade man istället fyllt ut med en förenklad form av astronomiska

Ortens namn.	Latitud.	Longitud i båge från Stockholms Observato- rium.	Efter den antagna pro- jections-metoden för en karta i skalan 100000 af naturliga storleken.		
			Bladets N:o.	Dec.-tum från Norra kanten.	Östra kanten.
Singö signal	60.10.27,25	0.40.39,22 Ö.	VI. Ö. 30	6,575	14,234
Grisselhamn signal	60. 5.38,48	0.45.43,20 »	»	9,430	12,401
Arholma båk	59.50.58,21	1. 3.14,77 »	VI. Ö. 31	3,055	6,119

Figur 6-11. Utdrag ur lista över triangelpunkter publicerad 1866, med dels uträknade latituder och longituder på jorden, dels därur beräknade lägen på kartbladen i förhållande till kartbladens kanter.

ortsbestämningar.) Som resultat fanns nu latituder och longituder för punkter utspridda över landet, avsedda att utgöra fundamentet till en sammanhängande terrängkarta över hela Sverige; se figur 6-11.

Hur noggranna var då dessa latituder och longituder? Noggrannheten i triangelnätet kan bedömas ur de överbestämningar som nämndes tidigare och ur diverse andra jämförelser. Sådana undersökningar visar att första ordningens triangelpunkter har en osäkerhet relativt varandra på ungefär 10 meter över stora avstånd. Det är hela 10 – 50 gånger bättre än i 1700-talets Ålandstriangulering och kusttriangulering. I de förtätningar där man med enklare metoder utgått från första ordningens punkter är dock osäkerheten betydligt större.

Rikstrianguleringen inleddes vid en tid då kontakterna med Frankrike och deras metergradmätning var pådrivande och avslutades bortåt 100 år senare då kontakterna med Tyskland och Internationella Jordmätningen tagit över. Många länder genomförde för sin kartläggning liknande trianguleringar under 1800-talet. I ett par avseenden var dock den svenska trianguleringen speciell, även i ett internationellt perspektiv. Utbredda storskogar ledde, som nämnts, till att man fick kämpa med formidabla svårigheter att skapa punkter med milsvida siktlinjer. Och när punkternas slutliga latituder och longituder skulle bilda grunden till en karta, gjorde man det med en ny typ av kartprojektion som ingen annan i världen hade använt. Detta märkliga faktum skall vi titta på nu.

6.5 Kartor 100 år före sin tid – och 100 år efter sin tid

När man med alla sina data som grund skall göra en karta ställs man inför ett ofrånkomligt problem: Hur skall man kunna avbilda den krökta jorden på ett plant papper? En buktig yta som jorden, som är krökt i alla riktningar, kan inte bredas ut till ett plan utan att deformeras. Det blir som med ett apelsinskal som man försöker platta till på ett bord – det tänjs ohjälpligt ut så att det spricker sönder. På liknande sätt är det alltså med jordytan när den skall projiceras på ett plan. Det uppstår ohjälpligt töjningar så att kartbilden blir deformationerad. När man konstruerar en kartprojektion får man därför försöka välja vilken typ av deformationer man är beredd att acceptera och vilken typ man inte vill ha.

Vid den här tiden fanns det i flera länder kartprojektioner i bruk som var vad man kallar areariktiga (ytriktiga). De avbildar objekt så att de får rätt storlek – de behåller sin area – men formen blir mer eller mindre felaktig och vinklarna förvridna. Vi kan tänka oss en liten sjö eller ö som i verkligheten är cirkelrund. I kartprojektionerna får den då rätt storlek men den blir inte längre rund utan oval (elliptisk).

Till noggranna terrängkartor över ett land kunde det dock vara önskvärt att hellre försöka få form och vinklar riktiga i kartbilden, att göra vad man kallar en konform (vinkelriktig) kartprojektion. Priset man då får betala är att storleken på objekten blir mer eller mindre felaktig. I en sådan projektion skulle den runda sjön eller ön få behålla sin runda form men den skulle bli uppförstorad.

Det hade länge funnits ett specialfall av konforma projektioner, nämligen Mercators projektion för sjökorten, men den var särskilt konstruerad för navigationsändamål och inte möjlig att använda till landkartor utan ohanterliga problem med förstoringen. Att konstruera konforma projektioner rent generellt visade sig vara ett avancerat matematiskt problem. Det löstes i slutet av 1700-talet av matematikern Johann Heinrich Lambert i Tyskland och senare på ett annat sätt av hans landsman Gauss. Deras lösningar var dock rent teoretiska och saknade tillräckliga förklaringar för att då kunna tillämpas av kartframställare. Ingen av deras lösningar kom därför till praktisk användning förrän mer än 100 år senare.

Det skulle sedan dröja till början av 1900-talet innan andra länder, med Amerika och Tyskland i spetsen, införde konforma projektioner, något som idag är nästan allennarådande. Genom Spens kombinerade matematiska förmåga och praktiska sinne för tillämpningar, och genom att han själv arbetade på en kartmyndighet, kom Sverige här att vara långt före sin tid – ja, faktiskt 100 år före sin tid!

I ett annat avseende kom Sverige att istället bli 100 år efter sin tid. Det hade med relationen till Norge att göra. Ungefär samtidigt som rikstrianguleringen började hade ju Sverige fått till stånd en union med Norge efter att det hade lösgjort sig från Danmark. Den svenske kungen blev kung över både Sverige och Norge, men Norge skulle till stor del sköta sig självt efter egen grundlag. Vad skulle då vara gemensamt – skulle den militära terrängkartan vara gemensam och göras på samma sätt i båda länderna?

Från svensk sida tycks man ha utgått från detta. När Spens utarbetade sin kartprojektion med tillhörande tabeller gjorde han det för en karta tänkt för hela unionen Sverige-Norge. Spens projektion var sådan att meridianerna konvergerade norrut; de skulle ha mötts i polen om kartan hade sträckt sig så långt. Det betydde att man måste välja en meridian, medelmeridianen, som skall peka rakt uppåt i kartbilden. De andra meridianerna kommer att luta, mer ju längre bort de är. För att passa så bra som möjligt till hela Sverige-Norge valde Spens att lägga medelmeridianen i närheten av svensk-norska gränsen, 5° väster om Stockholms observatorium.

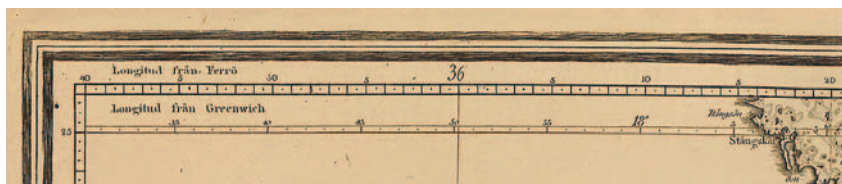
Norrmännen accepterade Spens projektion med vissa förbehåll. När Norge efter ganska många år började framställa kartor fäste man emellertid inget avseende vid detta, utan använde sig av en helt annan projektion som var mera bruklig i andra länder. Kanske tyckte man att det var tvivelaktigt att använda en svensk projektion av en ny typ som ingen annan i världen använde. Sverige höll dock fast vid det man börjat med (i norra delen av landet i en lite annan variant men det fördjupar vi oss inte i här).

Resultatet av det hela blev märkligt. Sverige ensamt producerade en karta i en projektion avsedd för hela unionen Sverige-Norge. Med en medelmeridian nära svensk-norska gränsen kom gradnätet över en stor

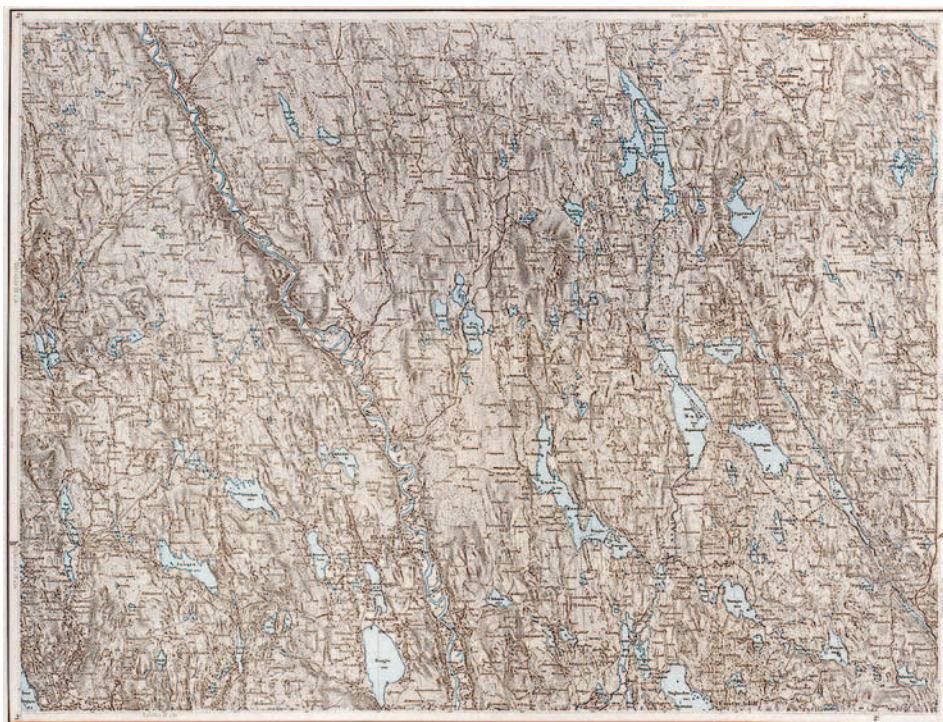
del av Sverige att ligga på sned i kartbilden, till ingen nytta eftersom kartan ändå inte fortsatte på andra sidan gränsen. När det sista bladet kom ut hade detta pågått i 100 år! Då hade dessutom hela unionen hunnit upplösas. Och sedan skulle det dröja det ytterligare 50 år innan de svenska unionskartorna kom att ersättas av nyare kartor.

Valet av nollmeridian till kartorna, både land- och sjökartorna, påverkades också av händelser utanför Sveriges gränser, men här gick det i viss mån lättare att ändra. Nollmeridianen var som tidigare nämnts fastställd att gå genom Stockholms observatorium. Och Stockholm hade sedan tidigare en välbestämd relation till Paris observatorium, och därigenom även till den fiktiva nollmeridianen Ferro som användes på sjökorten. Men vid det ryska observatoriet i Pulkovo hade Struve samlat på sig en stor samling kronometrar för noggrann longitudbestämning med fartyg. Eftersom Greenwichs observatorium till skillnad från Paris låg nära havet, organiserade man från rysk sida särskilda kronometerexpeditioner mellan Greenwich och hamnar eller observatorier vid Östersjöns kuster. Fartygen hade ofta mer än 50 kronometrar ombord och gick fram och tillbaka mellan Greenwich och Östersjön flera gånger. Detta ledde till att longituderna blev bättre bestämda i förhållande till Greenwich än till Paris. Därför införde man 1849 Greenwich som nollmeridian på de svenska sjökorten; se figur 6-13. En generation senare, 1884, blev Greenwich-meridianen antagen som internationell nollmeridian. Och efter det började man i en textupplysning nedtill på landkartorna ange Stockholmsmeridianens longitud i förhållande till Greenwich (i stället för Ferro).

Den samlade serie av kartblad över Sverige som till slut kom ut, med allt i landskapet utplacerat på sina rätta positioner, blev känd som



Figur 6-13. Övergång från Ferro (Paris) till Greenwich som nollmeridian på sjökorten 1849. Den nya longitudskalan är ingraverad nedanför den ursprungliga. Landkartorna hade Stockholm som nollmeridian.



Figur 6-14. Blad av "Generalstabskartan" (med del av Klarälven) grundad på första rikstrianguleringen.

"Generalstabskartan"; se figur 6-14. Terrängens former visades med hjälp av lutningsstreck, ju tätare desto brantare. Kartbladen hade till en början betraktats som militära hemligheter men släpptes så småningom fria för samhällets och allmänhetens behov. Det första bladet hade givits ut 1827, och det sista bladet kom ut 1923. Efter 100 års arbeten med stjärnor och trianglar och annat var äntligen hela Sverige täckt av en vetenskapligt grundad karta. Kartan visade med hjälp av gradnätet var allt hade sin plats på jorden – man hade lyckats avbilda hela landet sett uppifrån utan att faktiskt ha kunnat se det uppifrån!

6.6 Ny rikstriangulering och nya kartor

När hela Sverige var kartlagt byggde resultatet på mätningar som delvis var 100 år gamla. Knappt var därför den stora rikstrianguleringen färdig förrän man började fundera över behovet av en ny riks-

triangulering, utförd med modernare metoder. En sådan skulle skapa en grund för nya och bättre framtida kartor. Den skulle bland annat komma att leda till den typ av nationell terrängkarta som vi har idag.

Denna den andra rikstrianguleringen började 1903 och pågick i nästan 50 år, till 1950. Den leddes av Per G Roséns son som blivit hans efterträdare som professor, Karl D P Rosén. (När sonen sedan gick i pension hade far och son Rosén lett rikstrianguleringar och andra nationella geodetiska arbeten i tillsammans 70 år.) Grundprinciperna för den andra rikstrianguleringen var desamma som för den första, men allmänt sett var naturligtvis instrumenten nu noggrannare. Ett antal specifika nyheter bidrog dock särskilt till att både underlätta och förbättra det hela.

I den andra rikstrianguleringen utgick man från observatoriet i Köpenhamn (och ett därifrån inmätt näraliggande kyrktorn) för att det ingick i Internationella Jordmätningens arbeten med att knyta ihop olika länders triangelnät. Med tiden gjordes fler astronomiska Ortsbestämningar än förra gången på punkter i triangelnätet. Latituderna bestämdes på samma sätt som tidigare genom höjdoobservationer av stjärnor. Men när det gällde longituderna kunde man använda sig av en nyhet. Istället för att överföra tiden från nollmeridianen med 1800-talets uppfinning, telegrafan, kunde man nu göra det med en trådlös metod: radion. Fortfarande krävdes dock observationer av stjärnor på den aktuella punkten för att bestämma den lokala tiden där. Totalt kunde de astronomiska mätningarna på en punkt ta upp till en månad att genomföra.

Själva triangelmätningarna gjordes liksom tidigare i form av slutna triangelkedjor som bildade första ordningens triangulering, där områdena inuti sedan fylldes med triangelmätningar av måttligare noggrannhet utgående från första ordningens punkter. Den här gången var det däremot inte nödvändigt att nästan överallt skapa nya triangelpunkter. Nu kunde man till ganska stor del återanvända de triangelpunkter som skapats under 1800-talet. Det var dock inte alltid så enkelt det heller. Visserligen fanns ju beskrivningar över alla triangelpunkter, men ett exempel från Västergötland (Hallåsen) kan illustrera de svårigheter som ofta kunde uppkomma när man skulle återfinna 100 år gamla triangelpunkter. Först den ursprungliga beskrivningen från 1824:

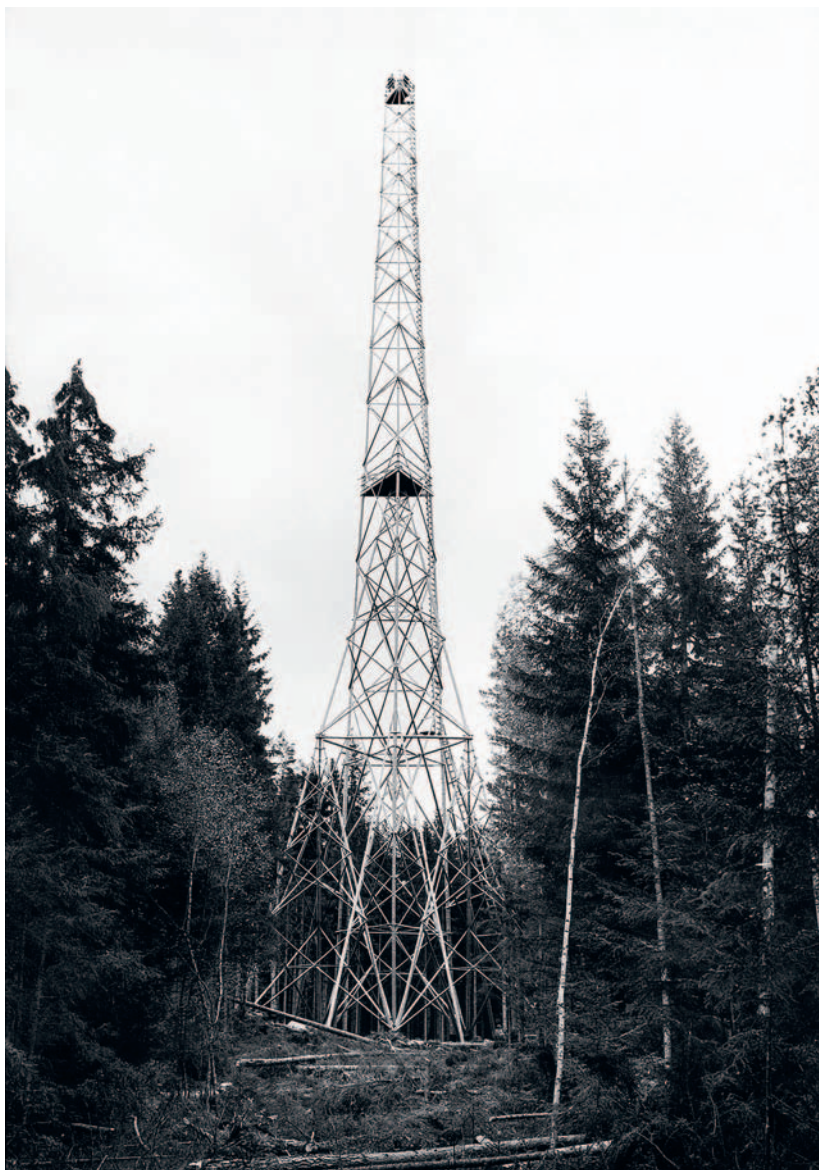
”Höjden på hvilken signalen stått är en fortsättning af den ås, som på denna sidan löper ut med sjön Vettern. Signalen stod på en med jordskorpan platt berghäll, hvilken till sin vidd var den största synliga. Dess afstånd från gärdesgården, som skiljer Kullens och Torsbo egor, är rätt i söder omkring 120 fot. ... En jerndubb nedslogs i f.d. signalens medelpunkt.”

Och så den förnyade beskrivningen som gjordes 1910 och skildrar hur svårt det var att nu hitta punkten:

”Triangelpunkten återfanns efter mycket letande. Af den ofvan omtalade gärdesgården fanns intet spår. Gles skog öfver alt, tätare närmare själfva toppen som var föga markerad. Någon kal berghäll syntes ej alls till. På en plats fanns ett stenrös med en stor och många halfstora stenar omkring. En karl i ett torp vid Elmedalen påstod sig minnas att där stått en signal i forna tider. Platsen röjdes därför. Under röset låg ett 1 – 2 dm tjockt jordlager, hvare enar och småtallar fattat fäste. När dessa rycktes opp, följde jordtorfvan med och man såg en flat håll inunder. Denna sopades ren och hålet efter dubben hittades.”

Det var viktigt att säkra triangelpunkterna för återanvändning. En och samma punkt skulle ju kunna användas för såväl första ordningens mätningar som senare förtätningar, och kanske även sjökarteläggningens arbeten.

Vi har tidigare sett att en stor svårighet för att genomföra rikstäckande trianguleringsarbeten i Sverige var de omfattande skogarna, som hindrade fria sikter mellan många punkter. Detta problem bemästrades nu med hjälp av en speciell form av extra arbeten: tornbyggen. På triangelpunkter i skogsområden byggde man höga torn av trä, så höga att de tillät fri sikt ovanför trädtopparna; se figur 6-15. Ett sådant torn kunde ta upp till en månad att bygga. Tornen kunde ibland vara över 30 meter höga – de högsta trianguleringstornen i Sverige, Lydinge och Stentorget i Uppland, var 65 meter! När ett torn var färdigbyggt skulle observatören med sitt känsliga instrument på ryggen klättra nästan lodrätt uppför tornet. Väl däruppe var det dags att med hög precision utföra vinkelmätningar mot andra triangelpunkter på några mils avstånd. Detta säregna arbete krävde onekligen människor med en speciell kombination av egenskaper. En sådan människa var Bengt



Figur 6-15. Trianguleringstorn av trä i andra rikstrianguleringen. Detta var ett av Sveriges högsta trianguleringstorn, 65 m högt, uppfört 1933 vid Lydinge i Uppland.

Aurell, som ägnade sitt liv som geodet åt att med samma engagemang både leda tornbyggen, mäta triangelvinklar, göra stjärnobservationer och utföra vetenskapliga beräkningar.

När det gällde längdmätta baser infördes en nyhet i själva mätmetoden. Istället för att använda stänger övergick man till att använda tunna strängar av metall. Det kan ju låta som en fortsatt ganska primitiv metod, men förbättringen var väsentlig. Metallsträngen böjdes visserligen även om den hölls spänd, men krökningen hos den kunde beräknas och resultatet blev klart noggrannare. Den här metoden utvecklades av Edvard Jäderin som en tid arbetat med den första rikstrianguleringen på Kartverket och sedan övergått till Tekniska Högskolan. I sina tester av metoden hade han bland assistenterna en ung astronom vid namn Hjalmar Branting, senare känd som Sveriges statsminister. Efter att man i Frankrike uppfunnit en metallegering okänslig för värmeutvidgning (invar) tog Jäderin den i bruk i sina basmättningssträngar med ännu mer lyckat resultat. Första gången detta gjordes var i en triangulering ingående i ett svensk-ryskt vetenskapligt samarbete på Spetsbergen (Svalbard), då ännu inte tillhörande Norge utan statslöst. Sedan spred sig metoden till andra länders trianguleringar och blev snart en internationell standardmetod för basmätning. Längden av en bas på 1 mil kunde nu bestämmas med en noggrannhet av 1 cm.

Det omfattande och tålmodsprövande beräkningsarbetet under vintrarna hemma på kontoret krävde som tidigare tillgång till stora tabellverk med trigonometriska funktioner och annat, men i ett avseende underlättades detta arbete av en nyhet: räknemaskinen. I Schweiz hade man lyckats konstruera en räknemaskin som kunde utföra multiplikationer. Den var visserligen en dyrbarhet, men den kunde multiplicera 8-siffriga tal med varandra, i en extra dyrbar version till och med 10-siffriga. Den blev efterfrågad bland geodetiska och astronomiska institutioner, som var de som sysslade med särskilt stora beräkningar. En sådan räknemaskin av den 10-siffriga sorten införskaffades till Kartverkets geodeter, som nu kunde beräkna andra rikstrianguleringens mätningar på den krökta jorden med hjälp av detta underverk; se figur 6-16.

Att slutligen ur alla mätningar i hela triangelnätet beräkna de sannolikaste värdena på punkternas latituder och longituder med minsta kvadrat-metoden var likväl ett så stort arbete att det inte kunde göras i ett sammanhang. Man måste som förra gången dela upp triangelnätet i mindre bitar, beräkna dem var för sig och sedan lappa ihop dem. Hur noggranna blev då dessa latituder och longituder? Noggrannheten



Figur 6-16. Räknemaskin som för första gången kunde multiplicera, använd i trianguleringsberäkningar i början av 1900-talet. Maskinen kunde hantera tal med upp till 10 siffror.

kan bedömas ur jämförelser med modernare mätningar. Sådana undersökningar visar att första ordningens punkter i den andra rikstrianguleringen har en osäkerhet relativt varandra på omkring 2 meter över stora avstånd. Det är 5 gånger bättre än i 1800-talets rikstriangulering. I de förtätningar där man med enklare metoder utgått från första ordningens punkter är dock osäkerheten väsentligt större, om än klart mindre än då.

Fortfarande var noggrannheten i triangelpunkterna så viktig eftersom dessa punkter skulle utgöra den stomme som hela kartläggningen av landet skulle vila på. De noggrannaste triangelpunkterna bildade som sagt ett så kallat första ordningens triangelnät över landet. Med dessa som utgångspunkter mätte man sedan med lite måttligare noggrannhet in flera triangelpunkter som bildade en förtätning av det första nätet. Och med dessa i sin tur som utgångspunkter kunde



Figur 6-17. Blad av "Topografiska kartan" (med del av Klarälven) grundad på andra rikstrianguleringen.

man, som förut, med enklare metoder mäta in detaljer i terräng och samhällen. Nu öppnade sig emellertid en helt ny möjlighet att hantera dessa detaljer: flyget. Genom flygfotografering av landet kunde man placera in många av detaljerna i kartan. Vad som behövdes för att göra detta var att flygbilderna kunde knytas till triangelpunkterna. När ett område skulle flygfotograferas lade man därför på speciella ställen ut vita kvadratiske skivor, vars positioner genom särskilda mätningar bestämts i förhållande till näraliggande triangelpunkter. Sedan kunde man i flygbilden identifiera skivorna och därigenom placera flygbilden

rätt i förhållande till triangelpunkterna, och på detta sätt få in detaljerna på rätt ställen i kartan.

Och så till sist: När det gäller kartprojektion fortsatte Sverige på sin tidigt inslagna väg med konforma (vinkelriktiga) projektioner. Denna gång gick man dock in för en annan variant, den tidigare omtalade Gauss projektion (även känd som Transversal Mercatorprojektion). Den var visserligen matematiskt avancerad men slog under 1900-talet igenom internationellt med hjälp av vidareutvecklade formler och tabeller för praktiskt bruk. En från grunden ny kartserie för hela landet i denna projektion ersatte nu den gamla Generalstabskartan. Denna nya karta, känd som "Topografiska kartan", började utges 1955, strax efter att andra rikstrianguleringen var avslutad; se figur 6-17. Här passade man också på att införa Greenwich som nollmeridian i gradnätet. Dessutom införde man höjdkurvor för att visa terrängformerna. Hela kartserien fullbordades 1979. Först då blev den gamla Generalstabskartan historia, och Sverige fick den moderna serie av terrängkartor som vi i princip fortfarande har.

6.7 Trädklättrare, matematiker och konstnärer

De båda rikstrianguleringarna för att kartlägga landet var gigantiska arbeten, som hade genomförts under lång tid av en begränsad skara människor. Dessa människor behövde ha en ganska märklig kombination av egenskaper. De skulle både klara av praktiskt arbete i skog på ensliga bergstoppar och teoretiskt arbete vid skrivbord på kontor. De skulle både kunna klättra i träd eller torn och utföra vetenskapliga beräkningar. Sådana människor var inte alltför vanliga, och de som fanns blev ofta mycket engagerade i sina speciella arbeten.

Det gällde alltså att växelvis vara ute i fält för att mäta, på somrarna, och inne på kontoret för att räkna, på vintrarna. Att hinna med bägge delarna var inte alltid lätt, som framgår av ett brev från Spens till en kollega 1824 om chefens orealistiska krav under första rikstrianguleringen:

"Det första han sade mig war att wisa mig mina ordres [order], hwilka innehålla att jag icke skall komma på recognosceringen förrän jag har slutat *alla* triangelcalculerna. Detta är som du lätt finner omöjligt, då det

återstår derå hela Halland och Bohuslän, både signaler och kyrkor, samt af Westgöthakyrkorna, som äro odrägligt många, omkring hälften, att till 1 julii medhinna.”

Detta kartläggningens geodetiska grundarbete var inte bara ett ovanligt arbete utan även ett för allmänheten okänt arbete. Under senare delen av 1800-talet skriver Arosenius om minnena av sitt livslånga arbete med första rikstrianguleringen:

”Min ensidiga fallenhet för kårens vetenskapliga åligganden torde bidragit, att jag mest blev använd vid geodetiska arbeten. Så har jag inom en underordnad gren af ett föga bemärkt yrke under 30 somrar i stillhet dragit mitt strå till stacken och därvid haft nöjet att bese alla svenska landsorter utom Norrbotten.”

Under andra rikstrianguleringen var Aurell ett exempel på en liknande människa med förmågan att under ett långt arbetsliv kombinera det handgripliga arbetet i fält med det vetenskapliga arbetet på kontoret. En av hans medhjälpare i fält 1933 skriver:

”Fil. dr. Aurell var under en följd av år tornbyggarexpert. Aurell var den borne tornbygggarbasen.”

Bakom den akademiska titeln döljer sig tornbygggarbasens doktorsavhandling samma år – om astronomisk longitudbestämning.

Under den första rikstrianguleringen fanns det behov av geodeter som var ännu mer sammansatta, sådana som även hade förmåga att teckna och rita vackra kartsquisser och punktbeskrivningar. En del av dem blev kända amatörkonstnärer. Thersner var en sådan – när han gjorde de inledande triangelmätningarna över Skåne började han vid sidan av det att teckna slott och andra vyer. Detta växte med tiden ut till ett omfattande planschverk över landet, ”Fordna och närvarande Sverige”. Arosenius var en annan sådan. Inte bara hans beskrivningar över triangelpunkter är vackert gjorda, han efterlämnade en hel samling små konstverk av sådant han sett under sina triangelmätningar. Några av deras teckningar och målningar har fått illustrera avsnitt i både föregående och detta kapitel.

En annan aspekt av det speciella arbetet med de båda rikstrianguleringarna var att geodeterna under fältarbetsperioderna ofta blev borta länge i mer eller mindre okända trakter utan möjlighet att ha kontakt med familjen. För de hemmavarande kvinnorna ledde detta till att de kom att ha en livssituation liknande den som sjömanshustrur hade. Det kunde innebära både saknad och frihet under dessa perioder, och när männen återvände både glädje och svårigheter.

En extra börda kunde det bli för bägge parter om det, när mannen äntligen återvände, stundade alltför mycket krångligt beräkningsarbete. Spens vädrar i sitt tidigare omnämnda brev om första rikstrianguleringen 1824 sina bekymmer för familjens situation:

”Kände du alla de förhållanden, som gjort det för mig swårt, att utan försummande af tämligen mycket för hustru och barn göra hwad jag welat för tjensten under dessa år, kände du hur lätt det kommer på ständigt nya krängel för mig som qwarhålla mig i enskilt kreti [detaljer], så skulle du ej owänligt dömma mig.”

I samband med andra rikstrianguleringen har Åke Gustafsson, senare även mångkunnig expert på riksgränsarbeten, berättat om sitt första barns födelse. Han var ute i avlägsna trakter och gjorde förtätningar av första ordningens triangelnät omkring 1950. Möjligheterna att avbryta arbetet och ta sig hem var då starkt begränsade – med följden att han inte träffade sitt första barn förrän efter flera månader. Vid samma tid var även Erik Tengström, senare grundare av en geodetisk institution vid Uppsala Universitet, ute på liknande trianguleringsarbeten. Hans hustru fick naturligt nog ofta frågan om vad mannen egentligen sysslade med, och som det inte var alldeles lätt att förklara hans besynnerliga arbete svarade hon till slut bara: ”Han klättrar i träd!”

6.8 Och så en annorlunda rikstriangulering

När den andra rikstrianguleringen var avklarad, och de nya topografiska kartorna var under full utgivning, kunde man tro att ingen skulle föreställa sig ännu en rikstriangulering. Ändå var det just vad som hände. Visserligen fanns inget behov av ännu bättre allmänna kartor, men efter en tid visade sig ett behov av ännu bättre koordinater på punkter över hela landet för olika tekniska ändamål i samhället, såsom

vägar, järnvägar, vattenledningar etc. Vid anläggning eller ombyggnad av sådana skulle arbetena underlättas av att man kunde göra lokala mätningar utgående från punkter i rikstriangelnätet. Som grundläggande utgångspunkter måste då dessa vara tillräckligt noggranna; fel i dem skulle via de lokala mätningarna sprida sig och ställa till problem vid de praktiska arbetena. En tredje rikstriangulering igångsattes därför 1967, under överinseende av professorn Lars Asplund, och fullbordades 1982. Den möjliggjordes av ett par speciella nyheter som gjorde att allt kunde göras både snabbare, enklare och noggrannare.

En nyhet gällde de komplicerade tornbyggena. Istället för att bygga torn av trä införde man färdigkonstruerade och bärbara torndelar av lättmetall som kunde sättas ihop på triangelpunkten; se figur 6-18. Tiden för att resa ett trianguleringstorn kunde därmed minska från bortåt en månad till bara en dag. Fortfarande behövdes dock särskilda medhjälpare för att klara av att bära och resa dessa torn. En by i Härjedalen, Lillhärdal, kom märkligt nog att spela en betydande roll i detta sammanhang –



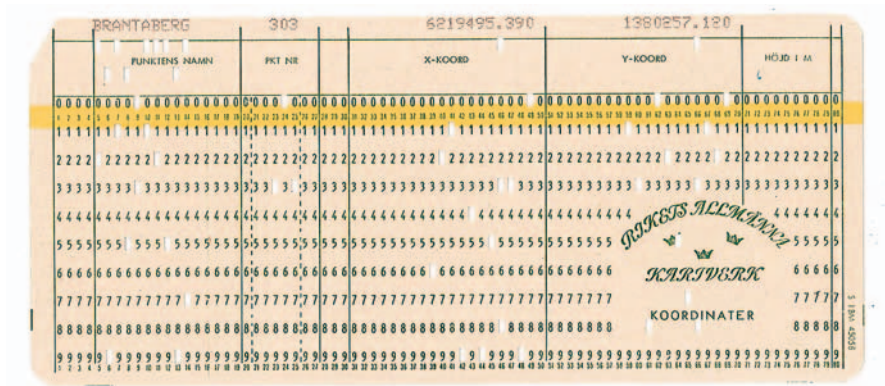
Figur 6-18. Trianguleringstorn av lättmetall i tredje rikstrianguleringen, 1970-talet.

genom uppkomsten av en sorts lokalkultur bidrog just denna by med en stor del av tornbyggarna under många år, totalt över 60 personer.

Den dominerande nyheten var en ny sorts metod att mäta avstånd. Den byggde på att med en särskild apparat mäta den tid det tar för en ljusstråle att färdas en sträcka. Metodens uppfinnare var en av geodeterna vid Kartverket, Erik Bergstrand. Hans uppfinning hade ett dubbelt syfte. För det första kunde han med sin nya apparat mäta tiden det tog för ljuset att gå en känd sträcka, en längdbas mätt med basmättningssträngar. Ur detta kunde han beräkna ljusets hastighet. Ljushastigheten är en fundamental naturkonstant, och det värde Bergstrand på detta sätt bestämde 1950 blev för en tid det internationellt accepterade värdet på denna naturkonstant. För det andra kunde han med samma apparat även mäta tiden det tog för ljuset att gå en okänd sträcka var som helst. Med ljushastigheten känd kunde han nu bestämma längden av en sådan sträcka. Det blev alltså möjligt att mäta avstånd mellan triangelpunkter med Bergstrands ljusapparat, känd som geodimeter, och detta både noggrannare, enklare och snabbare än förut. Denna metod spreds snabbt internationellt. Med tiden utvecklades metoden så att man kunde mäta en sträcka på 1 mil med en noggrannhet av 1 mm.

Konsekvensen av Bergstrands uppfinning blev att den tredje rikstrianguleringen utfördes helt med avståndsmätningar i stället för med vinkelmätningar – Sverige blev det första landet i världen att göra detta. Avståndsmätningarna var både noggrannare och enklare att utföra än de tidigare vinkelmätningarna. Eftersom även lokala mätningar kunde göras med liknande metoder behövde det grundläggande rikstriangelnätet hålla en större noggrannhet för att vara användbart som utgångspunkter för de lokala arbetena.

En nyhet av annat slag kom att bli avgörande för arbetet med att beräkna hela triangelnätet. I Amerika hade man vid denna tid konstruerat den första matematikmaskinen, det vi idag kallar en dator. I Sverige beslöt man kort därefter att bygga en egen sådan maskin; den invigdes högtidligen av Kronprinsen 1950. Det intressanta här är att när maskinen skulle testköras var de första problemen den skulle lösa att beräkna vissa triangelnät. Detta illustrerar att geodetiska beräkningar, liksom astronomiska, var de som oftast krävde stor räknekapacitet. Datorer visade sig snart vara oundgängliga för att göra avancerade beräkningar



Figur 6-19. Hålkort använt till tidiga datorberäkningar av triangelnät efter mitten av 1900-talet.

i triangelnät och andra geodetiska problem; Kartverket hade särskilda förtryckta hålkort för inmatning av data till sådana beräkningar; se figur 6-19. Datorernas utveckling ledde till att den tredje rikstrianguleringen kunde beräknas mycket snabbare och att den till och med kunde slutberäknas som en helhet (och inte som tidigare i hoplappade småbitar). I verkligheten beräknades Sveriges triangelnät dessutom ihop med de nordiska grannlänternas för att göra det hela så bra som möjligt.

Hur noggranna blev då de slutliga koordinaterna den här gången? Jämförelser med moderna mätningar visar att punkterna i den tredje rikstrianguleringen har en osäkerhet relativt varandra på omkring 0.1 meter över stora avstånd. Det är 20 gånger bättre än i den föregående rikstrianguleringen, 100 gånger bättre än i den på 1800-talet, och mer än 1000 gånger bättre än i kusttrianguleringen på 1700-talet.

Det här låter ju väldigt bra, men det finns faktiskt en hund begraven här. När man klev över gränsen till ett grannland, där man också gjort en noggrann triangulering, så stämde inte koordinaterna – det kunde fela på flera hundra meter! Detta problem hade varit känt sedan slutet av 1800-talet. Det hängde ihop med de astronomiska Ortsbestämningarna, alltså de mätningar mot stjärnor för att bestämma latitud och longitud som alla rikstrianguleringarna måste vara kopplade till; det som spökade här var lodlinjen. För att förklara detta egenartade problem, och varför det kunnat lösas först i vår egen tid, behöver vi börja på ett nytt kapitel.

Det blir ett kapitel om både jordens inre och avlägsna stjärnsystem, och om något man inte hade förutsett: satelliter. Att riktigt veta sin plats på jorden visade sig kräva nya utblickar mot rymden!

7. Satelliter och positioner överallt

7.1 Det dolda problemet: Stjärnobservationerna och jordens inre

Sedan mitten av 1700-talet, i 250 år, hade den grundläggande positionsbestämningen för kartläggning och andra behov gjorts med en kombination av astronomisk positionsbestämning och triangulering. De omfattande triangelmätningarna skapade ett nät av punkter vars lägen i förhållande till varandra var väl kända, men nätets läge på jorden vilade ytterst på de astronomiska mätningarna. Åtminstone några av triangelpunkterna måste ha latitud och longitud bestämda direkt ur stjärnobservationer, sedan kunde alla andra triangelpunkters latitud och longitud beräknas därifrån.

Stjärnobservationerna för att bestämma latitud och longitud för en viss punkt utfördes med tunga och stabila instrument, som ställdes upp med hjälp av noggranna vattenpass. Ett vattenpass känner av lodlinjen. Lodlinjen är tyngdkraftens riktning. Och här dyker det nu upp ett både märkligt och svårlöst problem.

Vi tänker oss att vi ställt upp på en punkt på jorden. Till höger under oss, dolt inuti jorden, finns järnmalm, och till vänster, också dolt inuti jorden, finns olja. Skillnaden mellan den tyngre järnmalmen och den lättare oljan kommer att påverka tyngdkraften och därmed lodlinjen, så att den snedställer sig i riktning mot den tyngre massan. Den sneda lodlinjen kommer att påverka vattenpasset. Och vattenpasset kommer att påverka instrumentuppställningen och därmed mätresultatet. Vad blir konsekvensen? Jo, att latituden och longituden för punkten blir annorlunda än om massan inuti jorden hade varit jämnt fördelad!

De astronomiskt bestämda latituderna och longituderna kommer alltså att påverkas av lodlinjens egenheter, kallade lodavvikelser. Lodavvikelserna och därmed felen i latituderna och longituderna kan uppgå till 10'' – 20'' eller en kvarts bågminut, långt större än mätnoggrannheten. Det blir stora belopp i meter – det motsvarar upp till 500 m på jordytan. Och detta problem orsakas av ojämnt fördelade

massor inuti i jorden, i allmänhet mycket djupare ner än malm och olja. Ursprunget till problemet är alltså osynligt!

Vad detta kunde innebära i praktiken kan vi illustrera med kartläggningarna av Sverige och Finland fram till 1900-talets slut. I Sverige hade man i de senare rikstrianguleringarna utgått från astronomiska punkter i Köpenhamn och södra Sverige och sedan med hjälp av triangelmätningarna räknat ut koordinater för punkter hela vägen norrut fram till bland annat svensk-finska gränsen i Tornedalen. I Finland hade man på liknande sätt utgått från astronomiska punkter i södra Finland och sedan med hjälp av triangelmätningar räknat ut koordinater hela vägen norrut fram till bland annat samma gräns i Tornedalen. Men när man försökte koppla ihop triangelnäten tvärs över gränsen visade sig problemet – koordinaterna skiljer sig åt med över 300 m.

Egentligen fanns det två problem med att få fram entydiga latituder och longituder på alla punkter. Det första problemet var lodavvikelserna som på ett oberäkneligt sätt påverkade själva utgångspunkterna för triangelmätningarna i landet. Det andra problemet var att triangelmätningarna måste beräknas på en jordellipsoid med en bestämd ekvatorsradie och en bestämd avplattning vid polerna – och dessa värden var inte tillräckligt väl kända. När man genomförde en rikstriangulering måste man därför välja både astronomiska utgångspunkter och jordellipsoidens dimensioner. Tillsammans definierade de grundvalen för vad som kallas ett geodetiskt referenssystem, ett enhetligt system för latituder och longituder.

Av naturliga skäl utgick olika länder i sina trianguleringar från olika utgångspunkter. Dessutom startade man vid olika tidpunkter vilket medförde olika uppfattningar om vad som var de bästa jorddimensionerna. Därför kom varje land att få ett eget referenssystem för latitud och longitud, som kunde skilja sig från grannlandets med hundratals meter. Ännu krångligare blev det av att skillnaden också var olika stor på olika ställen.

Att inom ett land mäta en hel rikstriangulering med sina ingående stjärnobservationer och sedan beräkna alltsammans på en viss jordellipsoid var svårt nog. Men för att hantera problemet med olika referenssystem i olika länder försökte man dessutom att räkna ihop olika

länders triangelnät i större helheter, med gemensamma utgångspunkter och jorddimensioner. Ett sådant internationellt samarbete inleddes som nämnts under senare delen av 1800-talet genom Internationella Jordmätningen, numera Internationella Associationen för Geodesi, där Sverige var med från början. Men i praktiken var det svårt att införa ett internationellt referenssystem, eftersom existerande nationella system redan börjat användas till alla möjliga behov i samhället. Och att byta ut alla koordinater på alla punkter i landet är inte något man gör i en handvändning. Resultatet blev därför att de nationella systemen kom att dominera, men att man till vissa gränsöverskridande och vetenskapliga behov kunde använda mera internationella system.

För Sveriges del engagerade man sig efter första världskriget även i ett samarbete runt Östersjön, Baltiska Geodetiska Kommissionen, med start 1924. Här handlade det om att räkna samman trianguleringar i länderna kring Östersjön, men arbetet fick ett avbräck genom andra världskriget och dess följder. Därefter skapades 1953 ett nära samarbete mellan de nordiska ländernas geodeter, Nordiska Kommissionen för Geodesi, som visade sig vara livskraftigt.

Efter andra världskriget gjordes med amerikansk medverkan en stor sammanräkning av de västeuropeiska staternas olika triangelnät till en sorts enhetligt referenssystem. Det möjliggjordes av den nyligen gjorda konstruktionen av matematikmaskinen, datorn. Även med den måste beräkningarna dock göras i geografiska delar, där de nordiska länderna bildade en del, som sedan fick lappas ihop till en helhet. Från Sverige ingick andra rikstrianguleringen. Det från början ganska provisoriska västeuropeiska referenssystem, som blev resultatet av det hela, blev snart använt till åtskilliga gränsöverskridande tillämpningar. Både internationellt och nordiskt började man nu arbeta med att göra en mera noggrann sammanräkning, där även nyare data kunde ingå. Sverige bidrog här med tredje rikstrianguleringen. Tanken var att få ett bättre europeiskt system för latitud och longitud, mera användbart för både vetenskapliga och praktiska ändamål. När det till slut blev färdigt efter mer än 30 år blev det dock snabbt överspelat av en helt ny utveckling – den som vi kommer till i nästa avsnitt.

Även om det var möjligt att med stora ansträngningar räkna ihop triangelnät inom en kontinent till ett sammanhängande system, gick

det inte att skapa ett globalt enhetligt system för latitud och longitud, åtminstone inte ett med en noggrannhet mycket bättre än 500 m. Varför inte? Jo, av två skäl. För det första gick det ju inte att se mellan kontinenterna tvärs över världshaven. Därför kunde man inte knyta ihop triangelnäten på ömse sidor om havet. För det andra gick det inte heller att använda astronomiska positionsbestämningar som gemensam grundval, eftersom dessa var behäftade med lodavvikelser. Och dessa var skapade av massor i jordens inre som man inte heller kunde se.

Bristen på sikt mellan kontinenter och bristen på sikt in i jordens inre var svår att göra någonting åt. Men i slutet av 1900-talet öppnade sig andra möjligheter, där man kunde rikta helt nya blickar ut i rymden. Det blev dags för den största revolutionen i positionsbestämningen sedan trianguleringens införande 250 år tidigare.

7.2 Den globala lösningen: Satelliter och avlägsna stjärnsystem

Vid slutet av andra världskriget funderade en finsk forskare, Yrjö Väisälä, över det faktum att man nu kunde skicka upp raketer ganska högt. Nattetid kunde man se dem mot en bakgrund av stjärnor, men mot olika stjärnbakgrunder beroende på varifrån på jorden man såg dem. Han gick sedan ett steg längre och tänkte sig att man skickade upp objekt i rymden tillräckligt högt och fick dem att gå i banor runt jorden som små konstgjorda månar, satelliter. Sådana satelliter skulle man kunna fotografera mot stjärnbakgrunden från olika platser på jorden, och ur satelliternas olika positioner i förhållande till bakgrundsstjärnorna skulle man kunna bestämma platsernas positioner på jorden i förhållande till varandra.

När satelliter ett årtionde senare blev verklighet gjorde man försök med detta. Men det visade sig så småningom att det blev noggrannare om man kunde mäta avstånd till satelliterna snarare än riktningar eller vinklar. Bergstrand hade ju tidigare visat att man kunde mäta noggranna avstånd på jorden med hjälp av ljushastigheten. Nu utvecklades i Amerika en metod med satelliter som sände ut radiovågor; dessa vågor rör sig också med ljushastigheten. Med lämpliga mottagare på jorden av sådana radiovågor från satelliterna skulle man kunna bestämma avstånden från satelliterna till en punkt på jorden. Gjorde man detta samtidigt från minst tre satelliter (helst flera) skulle man kunna bestämma punktens

position på jorden. Detta var idén bakom det som sedan kom att kallas Global Positioning System (GPS), numera Global Navigational Satellite System (GNSS).

Men för att man skall kunna bestämma sin position på jorden med hjälp av avstånden från satelliterna måste man veta satelliternas positioner i rymden. Hur vet vi var satelliterna är? Satelliterna går i banor i jordens tyngdkraftsfält. Dessa banor kan bestämmas genom att man observerar satelliterna från särskilda markstationer på jorden. Genom att följa satelliterna i deras banor kan man alltså hålla reda på var de är.

För att man skall kunna bestämma satelliternas positioner i rymden måste man dock veta markstationernas positioner på jorden. Hur vet vi då var dessa stationer är? Här kan vi inte på nytt använda satelliterna. Så nu tycks vi ändå vara tillbaka till det gamla dilemma: Vi känner markstationernas positioner från tidigare astronomiska positionsbestämningar och trianguleringar, men bara med okända lodavvikelser som skapar oklarheter på hundratals meter, åtminstone mellan kontinenterna. Vad gör vi nu?

I tidigare kapitel har vi sett hur vissa observatorier spelat en fundamental roll vid utvecklingen av positionsbestämning och kartläggning genom århundradena i Sverige: Uranienborgs observatorium, Uppsala observatorium och Stockholms observatorium. Nu under senare delen av 1900-talet kom en ny typ av observatorium att också göra detta: Onsala rymdobservatorium, söder om Göteborg, grundat av Olof Rydbeck och vidareutvecklat av Bernt Rönnäng; se figur 7-1. Här tog man emot radiovågor från olika objekt i universum, bland annat från de nyupptäckta så kallade kvasarerna. Dessa hade visat sig vara extremt avlägsna stjärnsystem (galaxer), i själva verket de mest avlägsna objekten som kunde observeras i hela universum. De befann sig på ett avstånd av mer än 10 miljarder ljusår.

I jämförelse med storleken på jorden, som rör sig om $1/10$ ljussekund, kan avståndet till kvasarerna betraktas som oändligt stort. Därför kan radiovågor från en kvasar, som tas emot av två observatorier på skilda kontinenter på jorden, betraktas som parallella. Det här gör det möjligt att jämföra faserna hos radiovågen vid de två observatorierna med speciella metoder, så kallad långbasinterferometri (VLBI). Ur fasskillnaden, och



Figur 7-1. Onsala rymdobservatorium, mottagare av radiovågor från avlägsna stjärnsystem.

det faktum att radiovågen färdas med den kända ljushastigheten, kan man beräkna den noggranna skillnaden i avstånd till objektet från de två observatorierna. Gör man detta under ett dygns jordrotation, kan man bestämma avståndet mellan själva observatorierna. Första gången detta lyckades var 1986, då avståndet mellan Onsalaobservatoriet på den europeiska kontinenten och ett observatorium på den nordamerikanska kontinenten kunde bestämmas med en noggrannhet av storleksordningen centimeter.

Vi tänker oss nu ett antal observatorier på olika kontinenter på jorden. Observatoriernas positioner är sedan tidigare kända från astronomisk positionsbestämning och triangulering. Men på grund av lodavvikelserna till följd av den ojämna massfördelningen inuti jorden är positionerna oklara inom flera hundra meter. Genom att analysera radiovågor från universums utkanter kan nu plötsligt avstånden mellan stationerna, och därmed deras relativa positioner, bestämmas inom centimetrar! På så sätt har man först kunnat skapa en global uppsättning

stationer vars relativa positioner är noggrant kända. Sedan har man kunnat fastlägga deras absoluta positioner genom att placera hela den inbördes låsta uppsättningen stationer på ett sådant sätt på jordytan att lodavvikelserna blivit minimerade, globalt sett.

Första gången man lyckades med detta konststycke, och därigenom skapade en uppsättning stationer med latituder och longituder bestämda i ett enhetligt globalt referenssystem med cm-noggrannhet, var 1989. Denna första uppsättning omfattade 34 stationer världen över och innefattade Onsala rymdobservatorium. Och nu kunde man börja koppla GPS-satelliterna till detta. Arbetet gjordes inom ramen för Internationella Jordmätningens efterföljare, Internationella Associationen för Geodesi, och det underlättades av att världens länder vid denna tid blev mer öppna.

Hela processen för satellitpositionering skulle då kunna sammanfattas på följande sätt, från första början:

1. Bestäm genom optiska observationer av stjärnor (eventuellt kombinerat med triangulering) latituder och longituder för ett antal observatorier på jorden.
2. Bestäm genom radioobservationer av avlägsna stjärnsystem i universum avstånden mellan observatorierna i punkt 1.
3. Justera koordinaterna för observatorierna till ett enhetligt system genom att kombinera punkterna 1 och 2.
4. Bestäm kontinuerligt positionerna för ett antal satelliter i sina banor genom att följa dem från observatorier på jorden med kända koordinater enligt punkt 3.
5. Bestäm koordinaterna för en godtycklig punkt på jorden genom radioobservationer av satelliter med kända positioner enligt punkt 4.

När man idag bestämmer sin position på jorden med hjälp av satelliter är det punkten 5 man tänker på, men bakom den ligger alltså hel serie arbeten, där både stjärnor och avlägsna stjärnsystem är inblandade.



Figur 7-2. Fast referensstation för satellitpositionering av den typ som började upprättas 1993.

Med satelliternas hjälp lyckades man också lösa ett annat problem som länge legat och skavt, nämligen jordellipsoidens dimensioner. Mätningarna på jorden för att bestämma dem hade inte givit entydiga resultat, men det gjorde nu satelliterna. På grund av jordens avplattning vid polerna kommer satelliterna att röra sig i banor som hela tiden förändras, man kan säga att banorna långsamt vrider sig runt jorden. Ur satellitbanornas förändringar kunde Irene Fischer och andra i Amerika tillräckligt noggrant bestämma jorddimensionerna. Och de behövdes för att tillsammans med det som beskrivits ovan entydigt definiera latitud och longitud i ett globalt referenssystem.

GPS-satelliterna blev fulltaliga 1993. Vem som helst med en lämplig satellitmottagare kunde nu för första gången bestämma sin latitud och longitud i ett noggrant globalt system. Man behövde inte ens räkna själv; det klarade den inbyggda datorn i mottagaren av. Vid större krav på noggrannhet måste man dock göra egna beräkningar i efterhand.

För att utnyttja möjligheterna med satellitpositionering fullt ut har man i många länder upprättat och driver ett nät av fasta referensstationer

för satellitpositionering. Sverige var det första landet som upprättade ett nationellt sådant referensstationsnät, med början 1993. Det gjordes genom ett samarbete mellan Onsala rymdobservatorium och Lantmäteriets (tidigare Kartverkets) geodesienhet; dessutom har det nordiska och internationella samarbetet spelat en roll här. De grundläggande referensstationerna består av stabila pelare gjutna direkt på berg, försedda med permanenta satellitmottagare som kontinuerligt tar emot radiosignaler från satelliterna; se figur 7-2. Det hela styrs och övervakas av en ledningscentral vid Lantmäteriets geodesienhet. Senare har även stationer av enklare typ tillkommit. Stationernas koordinater är ur långvariga observationer beräknade i det globala referenssystemet med cm-noggrannhet. En användare kan med egen satellitmottagare ställa sig på en godtycklig punkt och ur samtidiga mätningar på punkten och referensstationerna bestämma sin position i det globala referenssystemet, betydligt säkrare än utan stödet av referensstationerna.

7.3 Nya gradnät på alla landkartor och sjökort

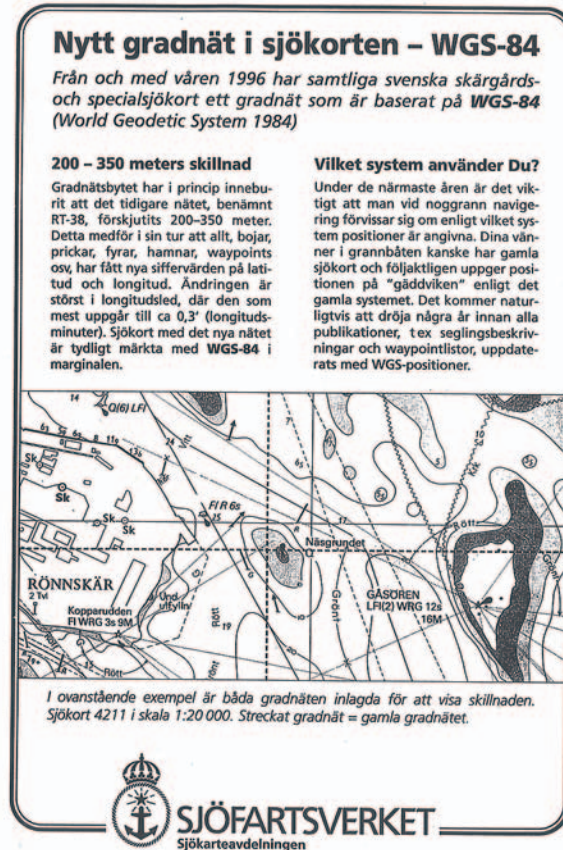
Redan i kapitel 5 om 1700-talet noterade vi att det rådde ett samspel mellan kartläggning och navigation. Och det blev tydligt nu igen. Med sin satellitmottagare kunde man bestämma sin position i det nya globala referenssystemet när som helst och var som helst. Det gällde inte minst vid navigation, både till sjöss, på land och i luften. För att man skulle kunna använda sin kännedom om positionen måste då kartorna också ge positioner i samma globala referenssystem. Detta betydde att gradnätet på alla landkartor och sjökort måste flyttas, eftersom de hade nationella gradnät grundade på rikstrianguleringarna. Alla kartor måste alltså göras om.

Det här innebar ett omfattande arbete kring Lantmäteriets landkartor och Sjöfartsverkets sjökort under åren runt 2000. (De tidigare Kartverket och Sjökarteverket var nu införlivade med dessa myndigheter.) Mätningar och beräkningar krävdes för att fastställa skillnaderna i latitud och longitud mellan de trianguleringsbaserade nationella och satellitbaserade globala systemen överallt; skillnaderna var ju olika stora på olika ställen. Sedan skulle de nya framräknade gradnäten införas på kartorna. Slutligen skulle användarna fås att förstå att de som utnyttjade satelliter för navigation behövde nya kartor med nya gradnät och att man inte kunde använda de hittillsvarande. Sjöfartsverket skriver i sin

särskilda information om detta 1996 under rubriken "Nytt gradnät i sjökorten":

"Gradnätsbytet har i princip inneburit att det tidigare nätet förskjutits 200 – 350 meter. Detta medför i sin tur att allt, bojar, prickar, fyrar, hamnar, waypoints osv, har fått nya siffervärden på latitud och longitud. Under de närmaste åren är det viktigt att man vid noggrann navigering förvissas sig om enligt vilket system positioner är angivna."

Dessutom visade man i ett exempel hur gradnätet i ett sjökort förskjutits åt nordost; se figur 7-3.



Figur 7-3. Upplysning till allmänheten om nytt gradnät i sjökorten 1996, till följd av satelliternas intåg i positionsbestämningen. Samma byte av gradnät genomfördes snart därefter på landkartorna.

Som alltid var det viktigt att beräkningarna och därmed kartorna blev korrekta; eventuella fel kunde ju orsaka missförstånd vid navigationen. Ett illustrativt exempel på det uppkom i en annan del av Östersjön, där fartyg längs en farled systematiskt började gå på grund. Det visade sig att man inom ett område där av misstag inte räknat om longituderna, vilket ledde till att fartygen vilseleddes att gå 200 meter för långt västerut.

På initiativ från Lantmäteriet och under medverkan av deras geodeter började man så småningom att byta koordinater även i kommunerna. Dessa hade för lokala behov, exempelvis stadsplaner, ofta egna tätare punkter med egna koordinater. Ibland hade deras koordinater historiska kopplingar till gamla rikssystem, som i fallet Stockholm i kapitel 6, men i många fall hade de oklar bakgrund. Nu uppkom möjligheten att få även kommunernas olika mer eller mindre lokala system att ersättas av det globala systemet, ett arbete som kunde genomföras efter det stora bytet på riksnivå. (För lokala behov använder man dock sällan latitud och longitud utan oftast därur härledda plana koordinater kopplade till en kartprojektion.)

Idag kan alla med lämplig satellitmottagare och tillgång till data från referensstationerna arbeta med cm-noggrannhet i ett gemensamt referenssystem. Detta har öppnat möjligheter till precisionsnavigering, både till lands och till sjöss, till exempel för styrning av fordon och angröring av fartyg till kaj. Det här kan sägas vara den senaste utvecklingen av samspelet mellan kartläggning och navigation, eller samspelet mellan att tillhandahålla och använda koordinater på jorden.

7.4 En återblick och en överblick

Det är idag möjligt att bestämma sin position på jorden med en osäkerhet av storleksordningen 1 cm, både relativt andra punkter och absolut sett. I kartläggningens barndom på 1500-talet var denna osäkerhet 100 km enligt kapitel 2. Osäkerheten i positionsbestämningen har alltså på 500 år minskat 10 000 000 gånger eller 7 tiopotenser. Om vi blickar tillbaka genom historien kan vi se att den relativa osäkerheten i princip har minskat med en tiopotens varje århundrade, men att den tog ett särskilt skutt vid mitten av 1700-talet med trianguleringens införande. Vi kan också se att den absoluta osäkerheten haft en mera ojämn utveckling, men att en avgörande förbättring även här inträffade

vid mitten av 1700-talet, i detta fall med tillkomsten av den astronomiska longitudbestämningen. Så småningom stagnerade dock minskningen av den absoluta osäkerheten på grund av främst problemet med lodavvikelserna – ända tills vi fick den dramatiska förbättringen omkring 2000 med den omvälvande satellitpositioneringen. Nu kom också den absoluta och den relativa osäkerheten i nivå med varandra.

Även om satelliterna inneburit en revolution i positionsbestämningen finns det vissa grundläggande likheter med gamla tiders metoder. Vid astronomisk positionsbestämning använde man stjärnornas positioner på himlen för att bestämma sin position på jorden – med satelliterna använder man istället satelliternas positioner i rymden för att göra detta. Vid triangulering använde man astronomiska punkters (eller andra triangelpunkters) positioner på jorden för att bestämma sin egen position – med satelliterna använder man istället referensstationers positioner på jorden för att bättre göra detta.

Å andra sidan är de grundläggande skillnaderna uppenbara. Förr observerade man fasta objekt på himlen, stjärnor, medan man nu observerar rörliga objekt runt jorden, satelliter. Och förr mätte man främst vinklar, medan man nu främst mäter avstånd.

Till sist: Trots övergången från stjärnor till satelliter (och från triangelpunkter till referensstationer) vilar, enligt avsnitt 7.2, även dagens satellitpositionering på tidigare observationer av stjärnor och stjärnsystem. Ytterst är det alltså stjärnorna i universum som gör det möjligt att bestämma vår plats på jorden och som är grunden för all kartläggning!

7.5 Men allt rör sig ...

När man nu kan bestämma sin position på jorden i ett globalt referenssystem med en noggrannhet av storleksordningen 1 cm, kan man fråga sig: Har vi nått så långt vi kan? På sätt och vis har vi det. Men samtidigt ställs vi inför nya problem: Grundläggande företeelser som i förstone verkar stabila – kontinenterna, gradnätet, berggrunden – är inte alls så stabila i ett längre tidsperspektiv. Allt rör sig. Det betyder dels att vi nu kan mäta sådana rörelser och därigenom lära oss mer om vår

planet, dels att vi måste ta hänsyn till dessa rörelser när vi definierar latitud och longitud i ett referenssystem.

Kontinenterna rör sig på jorden till följd av värmedrivna strömmar (konvektionsströmmar) i jordens trögflytande inre. Dessa kontinenternas rörelser – kontinentaldriften eller plattetektoniken – kan uppgå till flera cm per år. Första gången denna rörelse kunde mätas upp direkt var i samband med det samarbete mellan Onsala rymdobservatorium och amerikanska observatorier som omnämndes i avsnitt 7.2, då man påvisade att kontinenterna på ömse sidor om Atlanten avlägsnade sig från varandra, och det med ett par cm per år. Därför behöver man dels mäta kontinenternas (och havsbottnarnas) olika rörelser, dels hantera deras rörelser på något relevant sätt när man skall definiera och ange koordinater för punkter på jorden. Det ger upphov till olika varianter av det globala referenssystemet.

Gradnätet ligger inte heller still. Det rör sig på grund av att polerna flyttar sig till följd av att jordens rotationsaxel ändrar läge i jorden. Det i sin tur beror främst på massförflyttningar inuti jorden i samband med landhöjningen efter istiden, både i Canada och här hos oss. Denna polernas rörelse – poldriften – uppgår också till flera cm per år. Även den behöver därför både mätas och hanteras.

Rörelser av storleksordningen flera cm per år innebär att såväl delar av jordskorpan som gradnätet rör sig med åtskilliga meter per århundrade. Den uppgift, som från början gällde att lista ut var allting på jorden har sin plats, har därför utökats med att även hålla reda på vart allting tar vägen! Och hos oss följer vi dessutom med landhöjningen upp, men det är en annan historia.

Appendix: Några historiskt intressanta geodetiska punkter

Uranienborgs observatorium / Vens sydspets

Uranienborgs observatorium på ön Ven grundades under den danska tiden 1576 av Tycho Brahe. Här samlade han data om planeterna som via Keplers arbeten ledde till upptäckten av Newtons gravitationslag. Ur mångåriga stjärnobservationer bestämde han 1596 Uranienborgs latitud, ett värde som sedan låg till grund för den stjärnkatalog som i sin tur låg till grund för 1600-talets svenska kartläggning. Därefter raserades observatoriet men ruinresterna förblev en viktig punkt. Sedan Ven övergått till Sverige bestämdes 1671 longituden där i förhållande till Paris med hjälp av Jupiters månar av Jean Picard från Parisobservatoriet, under medverkan av Celsius morfar Anders Spole.

När den stora kusttrianguleringen för sjökorten drogs igång gjordes Uranienborg 1761 till triangelpunkt i denna. Under rikstrianguleringarna för landkartorna de följande århundradena återanvändes Uranienborg, både i den första rikstrianguleringen, 1812 och 1839, och i den andra, 1903. Vid det senare tillfället ingick ruinen i en speciell dansk-svensk triangulering för att förbinda de båda ländernas triangelnät, nu tillsammans med en nyupprättad näraliggande punkt på Vens sydkust med bättre siktläge. Denna ersättningspunkt, kallad Ven, användes sedan både i den andra rikstrianguleringen, 1912, och i den tredje, 1964 och 1987. Den blev också en av de triangelpunkter som bestämdes med satellitpositionering omkring 2000.

Torneå kyrka och Pullinki bergstopp

Torneå stads kyrka utsågs 1736 till den södra ändpunkten i Franska Vetenskapsakademiens gradmätning vid polcirkeln i Tornedalen, där Celsius deltog. Gradmätningens syfte var att försöka avgöra om Newtons teorier var riktiga. Södra ändpunkten utgjorde både astronomisk latitudpunkt och triangelpunkt. I gradmätningen ingick samtidigt som triangelpunkt bland andra Pullinki bergstopp längre norrut.

Torneå kyrka användes sedan som triangelpunkt vid kusttrianguleringen 1785, medan Pullinki låg för långt norrut för detta. Pullinki återanvändes

i Svanbergs förnyade gradmätning i Tornedalen, 1802, men då av okänd anledning inte Torneå kyrka, som lite senare hamnade på finska sidan. Pullinki användes på nytt i Struves gradmätning, 1850, där punkten nu är en av världsarvspunkterna. Denna gradmätning och därmed Pullinki införlivades också i första rikstrianguleringen. Sedan användes Pullinki igen både i en förtätning av andra rikstrianguleringen, 1955, och i tredje rikstrianguleringen, 1978. Den blev också en av triangelpunkterna som bestämdes med satellitpositionering omkring 2000.

Uppsala observatorium / Uppsala domkyrka

Uppsala observatorium (Celsiusobservatoriet), nära Stortorget i Uppsala, grundades 1739 av Anders Celsius vid Uppsala universitet, delvis inspirerad av gradmätningen han deltagit i. Samma år bestämde han observatoriets latitud ur stjärnobservationer. Två år senare, 1741, etablerade han Uppsala som nollmeridian i Sverige/Norden, och året därpå bestämde han Uppsalas longitud i förhållande till Paris med Jupitermånarna.

Vid upptakten till den första rikstrianguleringen gjordes Uppsala observatorium till triangelpunkt. Det blev 1807 ena ändpunkten i en speciell triangulering mellan Stockholms och Uppsala observatorier. Lite senare ingick observatoriet 1822 i första rikstrianguleringen, tillsammans med den näraliggande Uppsala domkyrka med sina bättre siktförhållanden. Uppsala domkyrka användes sedan både i den andra rikstrianguleringen, 1931, och i den tredje, 1971.

Stockholms observatorium och Katarina kyrka

Stockholms observatorium, på Observatoriekullen i Stockholm, grundades 1748 av Kungl. Vetenskapsakademien. 1759 bestämde Pehr Wargentin, tidigare Celsius assistent i Uppsala, dess latitud ur stjärnobservationer. 1761 bestämde han longituden där i förhållande till Paris med Jupitermånarna, och etablerade också Stockholm som ny nollmeridian i Sverige. Hundra år senare bestämdes longituden i förhållande till Greenwich med hjälp av kronometrar.

Vid den stora kusttrianguleringen gjordes 1773 Stockholms observatorium och Katarina kyrka på Södermalm i Stockholm till

triangelpunkter. De återanvändes sedan i den första rikstrianguleringen. Observatoriet var först 1807 ena ändpunkten i den ovannämnda speciella trianguleringen mellan Stockholms och Uppsala observatorier. Lite senare togs observatoriet 1822 till astronomisk utgångspunkt i första rikstrianguleringen, där utgångsriktningen bestämdes till Katarina kyrka. Sedan användes Katarina kyrka igen både i en förtätning till den andra rikstrianguleringen, 1904, och i den tredje rikstrianguleringen, 1971.

Väddö kasberg och Geta kasberg

Väddö kasberg (tidigare Stacksten) nära Upplandskusten togs 1750 till den västra ändpunkten i pionjärtrianguleringen över Åland, utförd med kunskaper och instrument från gradmätningen i Tornedalen. På andra sidan Ålands hav ingick i denna triangulering bland annat Geta kasberg, varifrån man har en 70 km lång siktlinje över till Väddö. Vid den fortsatta kusttrianguleringen användes Väddö kasberg 1773 för att koppla Ålandstrianguleringen till Stockholms observatorium. Väddö kasberg utnyttjades igen i en sjötriangulering 1859; därefter på nytt i en förtätning till första rikstrianguleringen, 1895, och sammaledes till den andra, 1940, samt i tredje rikstrianguleringen, 1971. Den blev också en av triangelpunkterna som bestämdes med satellitpositionering omkring 2000.

Onsala rymdobservatorium

Onsala rymdobservatorium söder om Göteborg inrättades som ett radioastronomiskt observatorium 1964 och kom att något senare bli grundläggande för mottagandet av radiovågor från avlägsna stjärnsystem. Till följd av detta kunde Onsala rymdobservatorium 1989 (med hjälp av långbasinterferometri) bidra till att skapa det första nätet av punkter med koordinater i ett globalt enhetligt referenssystem. Fyra år senare, 1993, upprättades här i samband med detta en av de nationella referensstationerna för satellitpositionering (GPS).

Referenser

Geodetiska originalarbeten

A. Publicerade arbeten om större steg i utvecklingen, i kronologisk ordning:

Brahe, T (1602): *Astronomiae instauratae progymnasmata*. Prag, 822 s.

Bure, A (1626): *Orbis arctoi nova et accurata delineatio*. Karta med text, Stockholm.

de Maupertuis, P L M, Clairaut, A C, Camus, C E L, Le Monnier, P C, Outhier, R, Celsius, A (1738): *La figure de la Terre, déterminée par les observations faites par ordre du Roi au Cercle polaire*. Paris, 183 s & Amsterdam, 216 s. Även på engelska: *The figure of the Earth, determined from observations made by order of the French king at the Polar circle*. London, 232 s.

Celsius, A (1741): Anmärkning om nyttan at weta Jordens rätta storlek och figur. *Kongl. Swenska Wetenskaps Academiens Handlingar*, 2, 259-265.

Gadolin, J (1757): *Triangelmätning ifrån Åbo till Grisselhamn*. Rapport till Kungl. Lantmäterikontoret. (Sjöfartsverkets arkiv.) Slutberäknad av Hällström, C P (1815): *Triangelmätning ifrån Åbo, öfver Åland, till Stacksten på svenska kusten, förrättad af Jac. Gadolin, ånyo uträknad*. (Geodetiska arkivet, Lantmäteriet, och Sjöfartsverkets arkiv.)

Wargentin, P (1759): *Stockholms observatorii pol-högd bestämd*. *Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar*, 20, 305-314.

Wargentin, P (1761): *Meridian-skillnaden imellan observatorierne i Paris och Stockholm, bestämd genom observationer*. *Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar*, 22, 247-251.

Schenmark, N (1774 & 1780): De märkvärdigaste orters geographiska belägenhet, vid sjökusten i Skåne, Halland och Bohus-län. Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar, 35 & 41, 205-230 & 74-81.

Svanberg, J (1805): Exposition des opérations faites en Lapponie pour la détermination d'un arc du méridien en 1801, 1802 et 1803. Stockholm, 196 s.

Spens, C G (1817): Försök att bestämma den tjenligaste projections-metoden för land-chartor öfver mindre delar af jordytan; jemte beskrifning på ett efter denna method uppgjortt projections-nät öfver Skandinavien. Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar, 1817, 161-197.

Rosén, P G (1879): Om de geodetiska och astronomiska ortbestämmelserna i Sverige. Svenska sällskapet för antropologi och geografi, Geografiska sektionens tidskrift, 1/9, 28 s.

Rosén, P G (1889): Om lodafvikelser i Sverige. Bihang till Kongl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 15/1:7, 10 s.

Bergstrand, E (1948): Measurement of distances by high frequency light signalling. Die Tätigkeit der Baltischen Geodätischen Kommission in den Jahren 1944-47, 101-111.

Elgered, G, m.fl. (1994): The permanent geodetic station at the Onsala space observatory. Nordic Geodetic Commission, 12th General Meeting, 353-363.

[För ytterligare referenser se författarens böcker "Where on Earth are we? Using the sky for mapping the Nordic countries 1500 - 2000" och "The man behind 'degrees Celsius': A pioneer in investigating the Earth and its changes"]

B. Publikationsserier med information om de geodetiska riksnäten:

Mitteleuropäische Gradmessung / Internationale Erdmessung (1862 - 1912): General-Berichte / Verhandlungen.

Baltische Geodätische Kommission (1924 – 1947): Verhandlungen.

Nordiska Kommissionen för Geodesi (1953 – 2018): Nordiska geodetmöten.

Rikets Allmänna Kartverk (1943 – 1975): Meddelanden serie A och D.

Lantmäteriet (1977 – 2018): Tekniska skrifter / Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem.

C. Arkivdokument i följande arkiv:

Geodetiska arkivet, Lantmäteriet, Gävle (Avdelningarna "Astronomisk ortsbestämning", "Triangulering" och "Satellitpositionering").

Sjöfartsverkets arkiv, Norrköping (Sjökartebyrån).

Krigsarkivet, Stockholm.

Centrum för Vetenskapshistoria, Kungl. Vetenskapsakademien, Stockholm.

Uppsala Universitetsbibliotek, Uppsala

Historiska översikter

Arosenius, J F N (1859): Om svenska topografiska kartverket till och med år 1859. (Geodetiska arkivet, Lantmäteriet.)

Bratt, E (1958): En krönika om kartor över Sverige. Stockholm, 132 s.

Brown, L A (1949): The story of maps. Boston, 397 s.

Dahlgren, P, & Richter, H (1944): Sveriges sjökarta. Stockholm, 413 s.

Ekman, M (2011): Where on Earth are we? Using the sky for mapping the Nordic countries 1500 – 2000. Summer Institute for Historical Geophysics, Åland Islands, 138 s.

Ekman, M (2015): On the first conformal projection in official topographic mapping. *Small Publications in Historical Geophysics*, 28, 12 s.

Ekman, M (2016): The man behind "degrees Celsius": A pioneer in investigating the Earth and its changes. *Summer Institute for Historical Geophysics, Åland Islands*, 159 s.

Hult, G, m.fl. (1922): Rikets Allmänna Kartverk. I *Kartografiska Sällskapet: Sveriges kartläggning – en översikt*. Stockholm, 318 s.

Lönborg, S (1903): *Sveriges karta – tiden till omkring 1850*. Uppsala, 242 s.

Nordenmark, N V E (1959): *Astronomiens historia i Sverige intill år 1800*. Uppsala, 295 s.

Ottoson, L, & Sandberg, A (2001): *Generalstabskartan 1805 – 1979*. Kartografiska Sällskapet, 222 s.

Richter, H (1959): *Geografiens historia i Sverige intill år 1800*. Uppsala, 287 s.

Tobe, E (1986): *Fransysk visit i Tornedalen 1736-1737 – en bok om en gradmätningsexpedition och dess nyckelpersoner*. Luleå, 126 s.

Widmalm, S (1990): *Mellan kartan och verkligheten – geodesi och kartläggning 1695 – 1860*. Uppsala, 449 s.

Illustrationer

Figurer utöver författarens egna stammar från följande källor:

3-1 Brahe (1596): *Epistolarum astronomicarum libri*

4-1 Busser (1769): Utkast till beskrifning om Upsala

5-1 Maupertuis m fl (1738): *The figure of the Earth*

5-2 Sjöfartsverkets arkiv (Sjökartebyrå)

5-3 Vårdö kommun

5-5 Sjöfartsverkets arkiv (Sjökartebyrå)

5-6 Krigsarkivet (Fredrik Arosenius arkiv)

5-7 Thersner (1817): *Fordna och närvarande Sverige*

5-8 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-1 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-2 Krigsarkivet (Fredrik Arosenius arkiv)

6-3 Krigsarkivet (Fredrik Arosenius arkiv)

6-4 Krigsarkivet (Fredrik Arosenius arkiv)

6-5 Krigsarkivet (Fredrik Arosenius arkiv)

6-7 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-8 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-9 Krigsarkivet (Fredrik Arosenius arkiv)

6-10 Selander (1866): *Ortbestämmelser i Sverige*

6-11 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-15 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-18 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

6-19 Geodetiska arkivet, Lantmäteriet

7-1 Onsala rymdobservatorium (foto B Hansson)

7-2 Lantmäteriet

7-3 Sjöfartsverket

Register

A

Akrel, Fredrik 26
 Alvaret 61
 Arosenius, Fredrik 42, 45, 57-58, 60-61, 63, 65, 70, 86
 Asplund, Lars 88
 Aurell, Bengt 81, 86

B

Bergstrand, Erik 89, 95
 Biurman, Georg 28
 Blaeu, Joan 20
 Blaeu, Willem Janszoon 19
 Brahe, Sophie 16, 21
 Brahe, Tycho 15-17, 19, 21, 25, 65, 105
 Branting, Hjalmar 82
 Bure, Anders (Bureus, Andreas) 18-21
 Bure, Johan (Bureus, Johannes) 15, 17-22

C

Carl IX 15, 17-18
 Carl XIV Johan 66
 Cassini, Jacques 32
 Celsius, Anders 25-28, 30-32, 35, 39-40, 49, 71, 105-106
 Corvin, Johan 47
 Cronstrand, Simon 60, 71

E

Elvius, Pehr 39
 Eratosthenes 11

F

Ferro 47, 77

Fischer, Irene 99

Forsius, Sigfrid 19

Funäsdalsberget 60

G

Gadolin, Jacob 35, 38-40, 46

Gauss, Carl Friedrich 72, 74, 85

Gedda, Petter 22-23

Geta kasberg 107

Greenwichs observatorium 25-27, 31, 77, 85, 106

Greifswald 28, 40, 44

Gripenhielm, Carl 21-22

Gustaf II Adolf 17, 19, 21

Gustafsson, Åke 87

H

Hallåsen 79

Hansteen, Christopher 71

Harrison, John 50

Helgason, Oddi 12

Hellant, Anders 30

Hermelin, Samuel Gustaf 52

Hierro 47

Hiort, Daniel 19

Hiorter, Olof 30

Hipparchos 9

Hovfjället 61

Häggladh, Abraham 60, 62

Hällström, Carl Peter 39, 46, 52

Härnösand 28, 44

J

Justander, Johan 40

Jäderin, Edvard 82

K

Karlskrona 44

Katarina kyrka 54, 106-107

Kittisvaara 33

Klint, Eric [af] 47

Klint, Eric Gustaf af 49

Klint, Gustaf af 47, 49

Kullens fyr 43

Köpenhamns observatorium 28, 79, 93

L

Lambert, Johann Heinrich 74-75

Lefrén, Johan Peter 54-55

Lillhärdal 88

Lindhagen, Georg 68, 70-71

Lumparn 37

Lund 44

Lydinge 80-81

M

Magnus, Olaus 13

Marsfjället 70

Maupertuis, Pierre Louis Moreau de 32, 35, 71

Mayer, Andreas 40

Mercator, Gerard 12-13, 22-23, 47, 74

N

Newton, Isaac 32-34, 105

Nipåsen 59

Nordenankar, Johan 40, 44, 47

O

Onsala rymdobservatorium 96-98, 100, 104, 107
 Ortelius, Abraham 12-13, 20

P

Paris observatorium 25-27, 31, 47, 77, 105-106
 Pater Noster-skären 39
 Picard, Jean 25, 105
 Potsdam 71
 Ptolemaios 9
 Pulkovo observatorium 77
 Pullinki 105-106

R

Rosén, Karl D P 79
 Rosén, Per G 71, 79
 Rosenfeldt, Werner von 22-23
 Rydbeck, Olof 96
 Rönnäng, Bernt 96

S

Schenmark, Nils 40, 42-43
 Schultén, Nathanael Gerhard 44, 46-47, 52
 Selander, Haqvin 60, 71
 Skorvdalsfjället 69
 Spens, Carl Gustaf 60, 62-63, 75-76, 85, 87
 Spetsbergen 82
 Spole, Anders 25, 105
 Stacksten 107
 Stavsbergsklätten 58
 Stentorget 80
 Stjärnu-Oddi 12
 Stockholms observatorium 28, 30-31, 36, 44-47, 54, 68, 77, 96, 106-107
 Struve, Wilhelm von 70-71, 77, 106
 Strömer, Mårten 40, 42

Svalbard 82
 Svanberg, Jöns 52-55, 60, 106
 Sånfjället 70

T

Tengström, Erik 87
 Thersner, Ulrik 43, 54, 65, 86
 Tornedalen 33-34, 36, 52, 70-71, 105-107
 Torneå 15, 17-18, 28, 32-33, 44, 105-106
 Torne älv 33

U

Umeå 62-63
 Uppsala domkyrka 57, 106
 Uppsala observatorium 25-28, 30-31, 44, 46, 54, 96, 106-107
 Uranienborg 15-16, 21, 25, 44, 63, 96, 105
 Utlängan 42

V

Vadsø 28
 Vaksala kyrka 57
 Ven 105
 Vaddö kasberg 35-36, 38, 107
 Väisälä, Yrjö 95
 Vättern 62

W

Wargentín, Pehr 26-28, 31, 40, 42-44, 46-47, 54, 106

Å

Åbo domkyrka 28, 35-36, 44
 Åland 35-38, 43, 107
 Ålands hav 36-37, 48, 66, 107

Ö

Östersäterberg 59



Det här är en bok om grunden för hur man gjort kartor över Sverige under 500 år. Annorlunda uttryckt: Hur har man kunnat avbilda jordytan sedd uppifrån, utan att man kunnat se den uppifrån? Hur har man listat ut var på jorden allt ligger? Och hur gör man det idag?

Detta arbete har genom århundradena krävt att människor fått ge sig ut i naturen, både till bebodda trakter och till vildmarken, för att med sofistikerade instrument försöka göra omsorgsfulla mätningar mot sol, stjärnor, månar, bergstoppar, kyrktorn och satelliter. Det har också krävt att dessa människor fått ge sig hem igen, till sina rum med skrivbord, för att med papper, penna, tabeller, räknemaskiner och datorer försöka göra korrekta beräkningar av allt de mätt, och därigenom så noggrant som möjligt komma fram till var de varit. Det är det här arbetet, och de människor som utfört det, som i slutändan gett oss kartor över Sverige. För att lyckas med detta har det krävts en kombination av vetenskaplig noggrannhet och praktisk förmåga, av internationellt samarbete och personligt engagemang, av avancerade observatorier och enkla riskojor.

Kort sagt: Det här är en bok om hur vetenskap om himmel och jord har använts för samhällets behov under 500 år.



Martin Stenman