

Inledning – Mätning av jorden Jarno Niskala

Sammanfattning: Jordens storlek och form har länge varit en intressant fråga för mänskligheten. Redan före 1800-talet arbetade vetenskapsmän i många länder med att mäta jorden och utveckla vetenskap och forskning. Triangulering var en metod som användes för att mäta längden på bågen på jordens yta. Struves meridianbåge var ett av den tidens största mätningsprojekt av jordgloben. Den norra delen av triangelkedjan spelade en avgörande roll i arbetet.

Nyckelord: Historia, jorden, longitud, poler, geodesi, vetenskap, triangulering, Europa, norr

Jordens form

För ungefär 2 500 år sedan fastställde astronomer att jorden är rund och inte platt. Människan kände då inte ännu till jordens storlek. Också idén att mäta meridianen eller jordens longitud går långt tillbaka i tiden – de äldsta mätningarna av meridianbågen gjordes av Eratosthenes i Egypten 230 f.Kr. Eratosthenes uppfann en metod för att uppskatta jordens storlek och insåg att om han kände till avståndet från Alexandria till Syene, kunde han räkna ut jordens omkrets.¹

Förutom Eratosthenes ansåg den grekiska filosofen Aristoteles att jorden måste vara rund eftersom vissa stjärnor kunde ses i Egypten och Cypern, men aldrig i Grekland.² Aristoteles (384–322 f.Kr.) listade flera argument för ett runt jordklot, till exempel att skepp försvinner med fartygsskrovet först när de seglar över horisonten, och var möjligen den första som lade fram faktiska, fysiska bevis på att jorden är rund. Allmänt sett trodde människan att jorden är rund fram till slutet av 1600-talet,³ när mätning av meridianbågen utvecklades efter att triangulering etablerats.⁴

Senare i början av 1700-talet tvistade franska och brittiska vetenskapsmän över om jorden var platt vid polerna som en mandarin, eller smalare kring ekvatorn som en citron. Den faktiska formen fastställdes efter bågmätningarna till Peru och Tornedalen på 1730-talet, men graden av platthet vid polerna var fortfarande obestämmd i början av 1800-talet (Smith, 2005).

Det är möjligt att ta redan på jordens form genom att utgå ifrån vissa mätningar. Till exempel är tyngdkraften lägre vid ekvatorn jämfört med vid polerna eftersom polerna är plana. En viktig metod är att mäta en del av meridianbågen nära polen och jämföra den med en liknande mätning nära ekvatorn. Om mätningarna inte ger samma resultat, är jorden inte rund. Avståndet en grad av bågen är längre nära polerna jämfört med nära ekvatorn (Kakkuri 2014; Bratheim, 2021).⁵ Detta var bakgrunden till att triangulering genomfördes på det norra halvklotet. Därtill är kunskapen om exakt avstånd mellan olika geografiska punkter otvetydigt viktig information i många avseenden.

Utveckling i Europa

¹ American Physical Society. June 2006, Vol 15, nr 6. Eratosthenes Measures the Earth.
<https://www.aps.org/publications/apsnews/200606/history.cfm>

² URSA. <https://www.ursa.fi/>

³ Kakkuri, J. (2014). Utdrag ur texten Maupertuisin retkikunnan merkitys geodesialle.
<https://www.maupertuis.fi/tieteelliset-mittaukset/geodesia/>

⁴ Smith, J.R. (2005). "The Struve Geodetic Arc." International Institution for History of Surveying & Measurement.

⁵ Bratheim, P C (2021).

Till en början föredrog man teorin om platta poler som en mandarin i England, medan man i Frankrike litade mer på citronformen. På 1700-talet konkurrerade Frankrike och England även inom en rad andra vetenskaper. Båda länderna försökte utveckla bättre kartor och utrustning än det andra. Den vetenskapliga utvecklingen inom geodesi och astronomi var en viktig del i tävlingen om att bli den största havsmakten i världen, och en avgörande punkt var att fastställa den huvudsakliga bågens rätta plats: skulle den gå genom Paris eller Greenwich?⁶

Trots att Frankrikes och Englands vetenskapliga institutioner etablerades på 1660-talet har de olika vetenskapliga traditioner. I början av 1700-talet sympatiserade den franska vetenskapsakademien mer med Descartes naturfilosofi, och nya idéer började formas efter experimentella resultat. Under tiden utvecklade Isaac Newton i England en ny bas för naturfilosofi och presenterade en ny teori om tyngdkraft 1687. Enligt Newton gjorde en centrifugalkraft polerna plattare när jorden roterade (Outhier, 2011).

En av vetenskapsmännen som arbetade med att mäta meridianen var fransmannen Pierre Louis Maupertuis, som tillsammans med filosofen Voltaire representerade Newtons idéer i Frankrike. På 1730-talet valde Maupertuis Tornedalen som plats för att mäta meridianbågen. Liknande observationer gjordes i söder med expeditionen till Peru via Bouguer och La Condamine, med målet att jämföra längden på bågen i Tornedalen med bågen i Peru för att avgöra tvisten mellan Frankrike och England om jordens form (Smith 2005). På annat håll i Sverige främjade även astronomen Anders Celsius dessa observationer och en allmän utveckling av astronomin i Sverige. I Sverige började vetenskapen frigöra sig allt mer från religiösa krav, särskilt när Vetenskapsakademien grundades 1739 och nya idéer som Newtons teorier nådde Sverige från Europa. Vid den tiden började vetenskapliga tillämpningar bli vanligare för att uppnå praktiska och ekonomiska fördelar.⁷

Politiska och religiösa relationer mellan nationer som Sverige, Frankrike, England, Preussen och Ryssland hade ett inflytande på vetenskapen. I slutet av 1700-talet påverkade den franska revolutionen Europa på många sätt, till exempel började ett nytt metersystem att användas, men bristen på detaljerad kartläggning spelade fortfarande en roll, särskilt i Ryssland (Smith 2005). På 1800-talet rådde en kännbar spänning mellan nationerna ovan, men det var trots det möjligt att mäta och förena människor inom ett avstånd på nästan 3 000 km i Europa, vilket var den ungefärliga längden på Struves meridianbåge som uppmättes 1816–1855.

Triangulering

Triangulering är en mätmetod som går så långt tillbaka i tiden som till antiken. Den baseras på lagarna i plan trigonometri: om en sida och två vinklar i en triangel är kända, kan de återstående två sidorna och den återstående vinkeln enkelt räknas ut. En av triangelns sidor mäts, och detta är baslinjen.⁸ Vetenskapsmän, som astronomer och lantmätare, återskapade dessa trianglar på jorden och reste bland skogar, kullar och berg för att mäta vinklar med teodoliter och försöka ta reda på mätpunkter från ett berg till ett annat.

⁶ Outhier, R. & Itkonen-Kaila, M. (2011). *Matka Pohjan perille, 1736-1737* (2. tark. ja täyd. laitos.). [Pello]: Maupertuis-säätiö: Väylä-yhtiöt.

⁷ MARKKANEN, T., DONNER, K. J. t., LINNALUOTO, S. t. & POUTANEN, M. t. (1984). TÄHTITIETEEN VAIHEITA HELSINGIN YLIOPISTOSSA: OBSERVATORIO 150 VUOTTA. [HKI]: HELSINGFORS UNIVERSITET. OBSERVATORIET.

⁸ Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2011, April 14). *Triangulation*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/triangulation-trigonometry>

För att få reda på längderna på en triangels sidor, måste man först mäta ett visst avstånd mycket exakt från A till B. Denna linje kallas för baslinje, vars längd förlängs med ett expansionsnätverk som också byggs upp genom triangulering. Detta expansionsnätverk sträcker sig från baslinjen till en linje mellan två punkter i det huvudsakliga nätverket. På så sätt kunde vetenskapsmän få reda på längden mellan två punkter som i stort sett skulle ha varit omöjliga att mäta direkt. Baslinjer mäts på plana eller jämna områden, eftersom det underlättar att få en exakt längd.

Astronomiska observationer hade ett nära samband med triangulering, eftersom många av de ledande vetenskapsmännen inom triangulering i själva verket var astronomer. Astronomiska observationer användes i huvudsak för att fastställa latitud och azimut i geodetiska bågmätningar. Mätningar av polstjärnan är mycket praktiska eftersom stjärnans rörelse sedd från jorden håller sig inom en grad (Bratheim, 2021).

Längs med Struves meridianbåge byggdes särskilda astronomiska stationer på vissa ställen i kedjan. I den norra delen fanns till exempel astronomiska stationer i kedjans båda ändar i Torneå och Hammerfest, och det fanns även en station i mitten, i Stuorrahanoaivi.

Triangulering är förlegat i modern geodesi eftersom alla moderna referenspunkter baseras på geodesi via satelliter. Som metod används triangulering dock fortfarande för detaljerade mätningar i byggindustrin (Bratheim, 2021).

Den största longitudobservationen

1816–1818 arbetade den tyska astronomen och geodeten F. G. W. Struve vid Dorpat (Tarto) universitet när han utförde triangelmätningar i Livland. Samtidigt genomförde ryssarna mätningar i Litauen, Vitryssland och Kurland med general Karl Tenner som ledare för arbetet. Struve och Tenner insåg att om de slog ihop och utvidgade sina projekt skulle de kunna bygga en geodetisk båge och fastställa jordens storlek och form. Struve ville förena nya trianglar med den befintliga triangelkedjan i Tornedalen, medan Tenner däremot fortsatte mätningar i bågens södra del.⁹

De båda projekten förenades när Struve senare började arbeta på Pulkovo-observatoriet och den ryska vetenskapsakademien inledde triangelmätningar. Eftersom den ryska armén behövde kartlägga sina gränsområden mot Österrike och Turkiet, användes triangelkedjan mellan Svarta havet och Östersjön i huvudsak för militära behov och vetenskapliga intressen prioriterades inte. Utbildningsministern föreslog för tsaren att kedjan skulle utvidgas norrut, även om det inte pågick några kartläggningsprojekt för militära behov som krävde triangulering i Finland. Programmet tjänade uppenbarligen även militära intressen i norr, men inte lika tydligt som i sydliga regioner. Kedjan nådde Torneå 1842 och 1844 föreslog Struve att grannländerna Sverige och Norge skulle fortsätta mätningarna till Nordkap (Strang, 2014).

Den norra delen

Struves meridianbåge uppmättes och observerades 1816–1855 och innehåller flera faser och delar som kombinerats till en lång triangelkedja. Den norra delen genomfördes i Sverige, Norge och Muonio i finska Tornedalen 1844–1852.¹⁰ För att säkerställa att de trigonometriska mätningarna genomfördes korrekt samarbetade ryska och svenska akademiker samt norska vetenskapsmän

⁹ Strang, J. (2014). Venäjän Suomi-kuva – Venäjä Suomen kartoittajana 1710–1942. – Helsinki: Antiikki-Kirja.

¹⁰ (2004). *The Struve Geodetic Arc: Submission to the World Heritage Committee for inscription on the World Heritage list.*

intensivt genom att utbyta kunskap, information och instrument. En annan bakomliggande orsak till samarbetet var att vetenskapsmännen ville få så tillförlitliga resultat som möjligt, oberoende av vilket land de representerade.

I jämförelse med äldre observationer förbättrades mättekniken betydligt under 1800-talet och arbetet under Struves ledning genomfördes noggrant med den bästa utrustningen. Samarbetet mellan länderna var en viktig faktor som gjorde mätningen möjlig, vilket tog sig i uttryck bland annat genom att den ryska akademien hjälpte svenskarna och norrmännen att bygga baslinjer och mäta dem i Alta och Övertorneå. Allmänt sett användes resultaten av dessa mätningar som bas för topografisk kartläggning långt in på 1900-talet och nya trianguleringsprojekt baserades på Struves meridianbåge. Efteråt kunde lantmätare i exempelvis Finland, Sverige, Norge och Ryssland nå och kartlägga nya områden med hjälp av utvidgad triangulering (Strang, 2014; Bratheim, 2021).

Under observationer i mitten på 1800-talet förelåg utmärkande och speciella omständigheter i norr jämfört med sydligare områden. För många forskningsresande och vetenskapsmän var Tornedalen en välkänd rutt mot ”den vilda norra delen”. Äldre resebeskrivningar lästes och omtalades i Europa, så forskningsresande visste i viss mån vad de kunde förvänta sig. Rutter längs med floder, vägar och stigar följde efter bebodda byar som var viktiga platser där de resande kunde vila och se till nödvändiga behov. Ofta var de forskningsresande och lantmännen tvungna att ta sig igenom vidsträckta områden med träsk, täta skogar och berg utan vägar.

I det här rysk-skandinaviska observationsarbetet använde vetenskapsmännen redan befintliga observationsplatser i Tornedalen. Dessa härstammade från Maupertuis triangelkedja som byggdes mellan Torneå och Kittisvaara i Pello. 1801–1803 uppmätte Jöns Svanberg ett något större område. Kyrkan i Nedertorneå var nu platsen för en av de ovanligare mätpunkterna. Från kyrkotornet pekade vetenskapsmännen ut visuella märken längs med triangelsidor – signaler som byggts i Kaakamavaara och Perävaara. Några av mätlinjerna var nya, till exempel punkten i Perävaara, medan Aavasaksa, Huitaperi och Pullinki var kända som bra platser med god sikt i närheten av rutterna längs med Torne älv. Den gamla punkten i Kittisvaara användes fortfarande och var fördelaktig för vetenskapsmän även om Kittisvaara var ett lägre berg jämfört med andra närliggande berg. Triangelsidornas längd beror på sikten från punkterna. Avståndet från kyrkan till Kaakamavaara är cirka 35 km, men längre norrut öppnas landskapet upp vilket möjliggör längre triangelsidor. Punkterna Kiuaskero och Olostunturi är goda exempel på detta.

Struves meridianbåge sträcker sig ytterligare från Enontekiö till Kautokeino, Alta och slutligen Hammerfest. Merparten av planeringen av den norska delen av bågen gjordes 1845. Först reste Klouman och Lundh med fartyg längs med kusten. Från Alta företog de en expedition på land till Karesuando där de valde ut lämpliga punkter för trianguleringarna under kommande år. Merparten av trianguleringsarbetet som utfördes 1846–1847 var mycket utmanande på grund av det hårda klimatet och långa sträckor i svår terräng. Dåligt väder hämmade ständigt arbetet, och punkten i Seilandstuva var särskilt krävande. Där krävdes flera försök innan arbetet kunde slutföras (Bratheim, 2021).

Den ursprungliga planen var att återanvända en trianguleringskedja längs kusten och fastställa en slutpunkt nära Nordkap. Man upptäckte dock att trianglarnas konturer var olämpliga för detta syfte, och vetenskapsmännen beslöt sig för att lokalisera bågens slutpunkt till Fuglenes nära Hammerfest. Denna plats ansågs dessutom vara mer lämpad för astronomiska observationer (Bratheim, 2021; Valen,

2016).¹¹ Monumentet som rests av bågen vid Fuglenes påminner oss om denna otroliga bedrift. Särskilt i norr har Struves meridianbåge ett nära förhållande till naturen och erbjuder fortfarande idag natur- och vetenskapsupplevelser.

Inledning till mätning, foton



Teleskopet i gamla observatoriet i Tartu. Foto: Jarno Niskala



Tornedalen. Foto: Walther Seved, 1960. Järnvägmuseet.

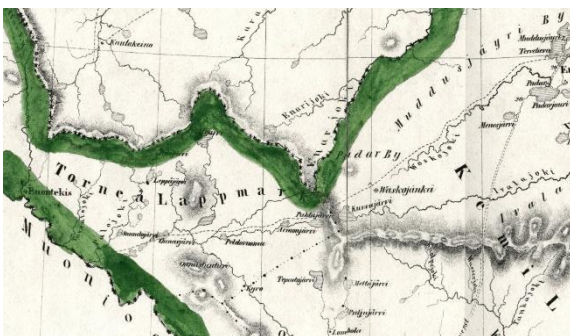
¹¹ Valen, G. (2016), The Art of Survey of the Earth from Finnmark. Expeditions in Finnmark for «Struve's geodetic arc» 1845-1850.



Astronomers expedition i Torneå, Lappland. Foto: Finlands Nationalmuseum.



Struve-statyn i Tartu. Foto: Jarno Niskala



Norsk-finska gränsen. Lindeman Berndt Adolf, 1846. Jyväskylä universitet.



Professor, astronom och parlamentariker Nils Haqvin Selander 1804–1870. Foto: Joop & Co., Gustaf, 1860. Vestergötlands museum. Offentlig domän.



Mätningar i Ultuna, Uppsala 1889. Foto: Ostis Fotografi Atelier, Henri. Offentlig domän.