

## STRUVES MERIDIANBUE

### DEN RUSSISK-SKANDINAVISKE GRADMÅLINGEN 1816-55

Bjørn Geirr Harsson, Statens kartverk (2013)

(Denne artikkelen lå til grunn for presentasjonen jeg gjorde på FIG-konferansen i Melbourne 1994. På denne konferansen ble det vedtatt en resolusjon som anbefalte den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken inn på UNESCOs verdensarvliste)

#### Bakgrunn

Med de kjente geodetiske ekspedisjonene til Peru og svensk Lappland på første halvdel av 1700-tallet hadde vitenskapen fått løst et av datidens sentrale problemer, nemlig: Hvilken form har jorden? Allerede for ca. 2200 år siden, hadde lærde kretser akseptert at jorden hadde form som en kule. Men fra tiden opp imot 1700 kom det både observasjoner og teoretiske avhandlinger som indikerte avvik fra ren kuleform. Med eftertidens blikk kan man si at det var manglende innsikt i behandling av overskytende målinger og manglende innsikt i nøyaktighetsvurdering, som ledet til ulike oppfatninger av jordens form. Det sto mellom formene flatklemt ved polene eller utstrukt ved polene. De nevnte ekspedisjonene til Peru og svensk Lappland avslørte altså at jorden var noe flatklemt ved polene. At dette måtte være riktig, ble teoretisk dokumentert i noen av de mest kjente vitenskapelige avhandlinger fra den tiden (Newton, Clairaut m fl). I kjølvannet av dette fulgte spørsmålet om hvor stor flattrykningen egentlig var, hvordan den kunne beregnes mer nøyaktig og hvilke observasjoner og metoder som kunne benyttes for å komme nærmere et mer nøyaktig svar.

Med få unntak var det meste av Europa på 1700-tallet og tidlig på 1800-tallet preget av politisk urolige tider, samtidig som den tekniske utvikling gjorde store fremskritt. Fra militær side ble det vist markert interesse for bedre kartlegging idet mange statlige kart- og oppmålingsorganer ble etablert på denne tiden rundt om i Europa. De ble administrert under de ulike lands forsvarsmyndigheter.

Under de urolige tidene erkjente forsvaret behovet for gode kart. Men bedring av kartinnholdets kvalitet stilte strengere krav til selve grunnlaget for kartene, dvs geodesien. Geodesi er vitenskapen om jordens form og størrelse, samt dens ytre tyngdefelt. De strengere krav til kart var med på å stimulere til videre utforskning av jordens form og størrelse. Geodesiens beste hjelpemiddel var fortsatt måling av meridianbuer. Omkring 1800 ble det også utviklet pendelinstrumenter som gjorde det praktisk mulig å måle tyngdekraften med tilstrekkelig nøyaktighet til å gi supplerende informasjon om formen på jorden. Resultatene kunne brukes sammen med meridianbuemåling.

Da man på 1800-tallet ville bestemme jordens form ved å måle lengden av en meridianbue på ulike breddegrader, var det med bakgrunn i Clairauts teorem hvor man får et ligningssystem som uttrykker sammenhengen mellom formen på en nivåflate og tyngdekraftens variasjon på flaten. Den midlere havflaten ble den gang oppfattet som en nivåflate. Ordet *geoid* dukker første gang opp i faglitteraturen i 1873. Kort skissert var det følgende trekk som lå bak tankegangen om måling av gradbuer. Jordens flattrykning ( $f$ ) kan uttrykkes som

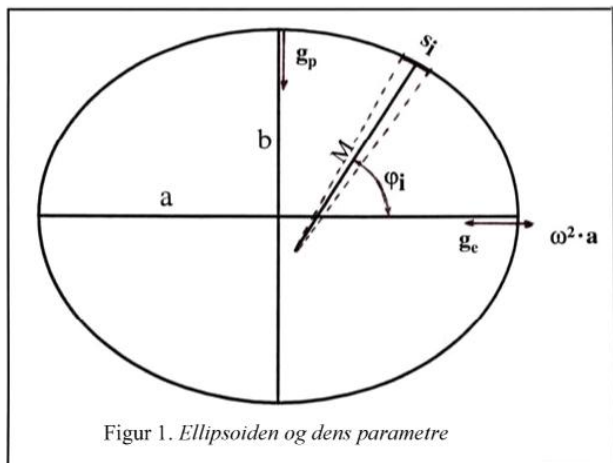
$$f = (a - b)/a$$

hvor  $a$  og  $b$  er henholdsvis jordmodellens store og lille halvakse (se figur 1). Clairauts teorem uttrykker flattrykningen på følgende måte

$$f = \frac{5}{2}\gamma + \beta$$

$$\text{hvor } \gamma = (\omega^2 \cdot a)/g_e$$

det vil si forholdet mellom sentrifugalkraft og tyngdekraft pr masseenhed ved ekvator.  $\omega$  er jordens vinkelhastighet ved omdreiningen om sin egen akse. Størrelsen  $\beta$  er gitt ved



Figur 1. Ellipsoiden og dens parametre

$$\beta = (g_p - g_e) / g_e$$

hvor  $g_e$  er tyngdekraft pr masseenhet i havnivået ved ekvator og  $g_p$  er tilsvarende ved polene. Tyngdekraftens endring fra ekvator til pol fant man ved å sette geografisk bredde  $B$  lik henholdsvis  $0^\circ$  og  $90^\circ$  i følgende formel:

$$g = g_e (1 + \beta \sin^2 \varphi)$$

Potensialflatens (havets) endring fra ekvator til pol beskrives ifølge Clairaut ved en ligning av samme form, det vil si meridianbuen  $s_j$  kan uttrykkes som:

$$s_j = u + v \cdot \sin^2 \varphi_j$$

Her måler man lengden  $s_j$  og observerer/beregner midlere geografisk bredde  $\varphi_j$ .

Ved å finne denne relasjonen på flere steder med ulike bredder, kunne konstantene  $u$  og  $v$  bestemmes. I prinsippet uttrykker da  $u$  lengden av en buegrad langs meridianen ved ekvator, mens summen  $u + v$  uttrykker lengden av en buegrad langs meridianen ved polene. Gradmålingene på 1700-tallet hadde altså vist at  $s_j$  økte med økende breddegrad. Det vil si at krumningsradien  $M$  langs en meridian øker mot polene (se figur 1). Derav kunne man få bekreftet at jorden var noe flatklemt mot polene, den hadde form av en ellipsoide.

Det å måle en gradbue og utføre de påfølgende beregningsarbeider var en stor og omfattende oppgave. I grove trekk besto den av følgende elementer:

### 1. En basis.

For å få en målestokk inn i systemet etablerte man en basis i noenlunde flatt lende. Avstanden  $d$  mellom basisens endepunkter A og B ble målt med høyest mulig presisjon.

### 2. Et ekspansjonsnett.

I et nett av trekkanter ble vinkler målt slik at siden AB inngikk i den første trekanten. Siste siden i ekspansjonsnettets skulle falle sammen med en side  $A'B'$  i gradmålingsrekken. (se figur 2)

### 3. Selve gradmålingsrekken.

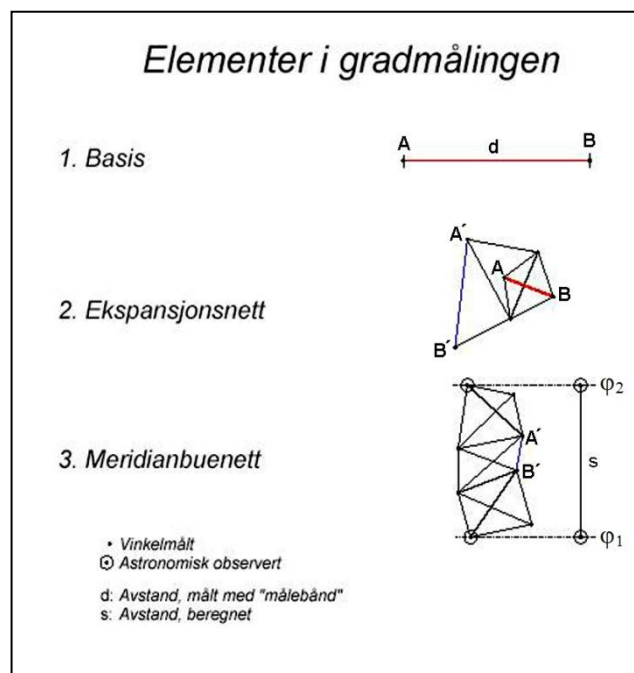
Gradmålingsrekken besto av målepunkter i to rekker noenlunde orientert langs en meridian og slik at siktelinjene mellom punktene dannet sammenhengende trekkanter. Fra hvert punkt i gradmålingsrekken ble vinkelen målt mellom de øvrige punkter som var synlige i rekken. (se figur 2)

### 4. Astronomiske observasjoner.

I det sydlige og nordlige endepunkt for gradmålingsrekken ble det utført astronomiske observasjoner med største presisjon, for å beregne stedets geografiske bredde  $\varphi_1$  og  $\varphi_2$  og lengde. Hvis gradmålingsbuen var lang, ble det også utført astronomiske observasjoner i mellompunkter.

På denne måten fikk man vinkelforskjellen:  $(\varphi_2 - \varphi_1) = \Delta\varphi$  ved hjelp av de astronomiske observasjonene, samtidig som man gjennom trianguleringen fikk avstanden  $s$  mellom de to punktene for de astronomiske observasjonene. Dermed hadde man data nok til å beregne den fysiske lengden av en breddegrad.

Frem til begynnelsen av 1800-tallet var det ca. 10 gradmålingsarbeider som var akseptert i vitenskaplige kretser. Ute i verden var arbeidene utført blant annet i Peru, India, Syd-Afrika, Nord-Amerika og Egypt. I Europa var de utført i Frankrike, Spania, England og de tyske delstatene, foruten i Danmark og Sverige.



Figur 2. Elementene i gradmålingen.



Friedrich Georg Wilhelm Struve.

Struve forlot Altona sammen med sine foreldre som 15 åring og fikk sin utdannelse ved Dorpat Universitet i Livland som var russisk den gang. Livland er senere delt mellom Estland og Latvia, Dorpat er det som i dag heter Tartu. I 1813 ble Struve utnevnt til professor i matematikk og astronomi ved Dorpat. Omtrent på samme tid ble Christopher Hansteen (1784 - 1873) i Norge utnevnt til professor ved det nyetablerte universitetet i Christiania (Oslo). Hansteen kom til å spille en tilsvarende rolle ved gradmålingen i Norge som Struve i Russland. Ved siden av sitt professorat fikk Struve ansvaret for trianguleringen i Livland. Dette arbeidet ble effektivt gjennomført fra 1816 til 1819 med utgangspunkt i Dorpat observatorium.

På en slik bakgrunn og med sine kontakter til det internasjonale vitenskapelige miljøet, fremmet Struve i 1820 et forslag til myndighetene om å utføre gradmålingsarbeid i Baltikum. Han brukte som begrunnelse at mange europeiske stater allerede hadde utført slikt arbeid, og det ville øke Russlands anseelse å kunne vise til større innsats på dette området. Han poengterte at gradmålingsarbeidet ikke bare var av vitenskaplig verdi, men det ville også være av stor betydning for kartleggingen av landet. Videre viste han til at Russland dekket de nordlige deler av Europa hvor få gradmålinger var utført, og at landet dekket store arealer så det var mange områder å velge blant. Etter Sveriges fred med Russland noen år tidligere, var Finland blitt innlemmet i det russiske riket som da strakte seg nord til Nordishavet. Sverige og Norge var fra 1814 to selvstendige nasjoner i en union.



Christopher Hansteen.

### Første fase av gradmålingen, de sentrale deler av Vest-Russland 1816 til 1830

I mai 1820 ble Struves forslag akseptert av Tsar Alexander 1 som sier at han vil dekke alle kostnadene til prosjektet. Til gjengjeld må kopier av målinger og beregninger sendes til hærens hovedkvarter. Noe av grunnen til at Alexander 1 så lett ga støtte til Struves forslag, var trolig knyttet til den russiske hærens erfaring fra kampene mot Napoleon i 1812-13. Da hadde hæren sett nødvendigheten av gode kart og at oppmålingsarbeidet var gjort før fienden sto i landet.

Med Struves prosjekt var den store russisk-skandinaviske gradmålingsrekken kommet i gang. Omfanget av den var imidlertid ikke klar på det tidspunktet. Ideen om forlengelse av gradmålingsrekken utviklet seg etter som arbeidet skred frem. Blant annet trakk Struve inn gradmålingsberegningene fra det arbeidet han like før hadde gjort i Livland. Dette er trolig hovedgrunnen til at meridianen gjennom Dorpat observatorium ble valgt til sentralmeridian for prosjektet.

I og med at arbeidet fra Livland ble benyttet, kan man si at den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken ble påbegynt i 1816. Selv sier Struve i sitt hovedverk [1] at det var direktør Lindenau ved Seeberg-observatoriet som opprinnelig ga ham ideen om gradmåling. Det skjedde allerede i 1814, men på grunn av andre oppgaver han hadde på den tiden, lot ikke ideen seg realisere da.

Struve ledet så arbeidet gjennom det som senere ble kalt første fase av gradmålingsrekken og som varte frem til 1831. Da var meridianbuen ferdigmålt gjennom Baltikum fra Jacobstadt  $56^{\circ} 30' N$  til øya Högland i Finskebukta  $60^{\circ} 05' N$ .

I 1814, altså i samme år som Lindenau hadde gitt Struve ideen om en gradmåling, hadde Lindenau også hatt samtaler med Carl Tenner (1783-1859) i Litauen. Liksom Struve ble også Tenner oppglødd av den samme ide. Tenner og Struve arbeidet imidlertid uavhengig av hverandre den gang, så de kjente neppe til hverandres planer. Carl Tenner som var fra Narva i Estland spilte også en meget viktig rolle i den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken. Han var en meget velutdannet offiser i den russiske hæren, og han hadde gjort en tapper innsats under Napoleonskrigen. Selv om Tenners styrke gikk mer i teknisk retning, så hadde han gjennom korrespondanse god kontakt med Europas ledende vitenskapsmenn, blant annet Bessel. I 1816 ble Tenner utnevnt til leder for de trigonometriske og topografiske arbeider i Vilna-området (Vilna = Vilnius i Litauen). Under sitt rekognoseringsarbeid for første ordens-nettet prøvde han å plassere punktene slik at en dobbeltrekke av første ordens punkter kom langs meridianen gjennom Vilna-observatoriet. Derved mente han å kunne bruke punktene også i en gradmålingsrekke. Han skriver selv at "*gradmålingsarbeidet var egentlig irrelevant og strengt tatt unødvendig. Det var noe jeg gjorde ved siden av mine plikter*". Fra enkelte av sine overordnede møtte han liten forståelse for gradmålingsarbeidet.

Forberedelsene til gradmålingsarbeidet startet Struve allerede i 1820, så snart prosjektet var akseptert. Struve var i kontakt med flere vitenskapsmenn, blant annet Gauss, og fikk måle på den basisen som Schumacher hadde anvendt på gradmålingen mellom Danmark og Hannover. I München kjøpte Struve instrumenter for astronomiske og geodetiske målinger, blant annet et Reichenbach universalinstrument. I tillegg kjøpte han en Ertel-teodolitt med vertikalsirkel. Han rekognoserte terrenget nordover til øya Högland i Finskebukta og lot bygge solide signaler med tanke på nøyaktige vinkelmålinger. Dermed ble meridianbuen utvidet til  $3^{\circ} 35'$ . Målepunktene hans ble ikke boltsatt.

Observasjonsarbeidet ble utført i løpet av fem år fra 1822. Selv i den tiden ble han avbrutt med undervisning i astronomi ved Universitetet og i geodesi ved marine-offisersskolen. Han fikk bistand av professor Paucker fra Mitau i Kurland (Latvia) til å utføre astronomisk breddebestemmelse basert på observasjoner i Jacobstadt og Högland. Markarbeidet ble stort sett avsluttet høsten 1827 med ekspansjonsnettet fra basisen i Simonis. Det var uvanlig kaldt, nevner Struve, idet temperaturen under arbeidet gikk ned i  $-13^{\circ} R$  ( $= -16^{\circ} C$ ), og det falt masse sne.

Muligheten for å kunne krysse Finskebukta og fortsette nordover i Finland, ble undersøkt tidlig i prosjektet, idet Struve fant den tanken meget interessant. Han mente å se en mulighet nordover i Finland, men det ville bli vanskelig å krysse selve Finskebukta.

I 1822 ble Tenner leder for det trigonometriske og topografiske arbeidet i Kurland, og tre år senere også for Grodno og Minsk (deler av Hviterussland i dag). Han fikk likevel tillatelse fra prins Wolkonsky til å fullføre sitt gradmålingsarbeid ved å måle basisene Ponedeli og Ossownitza. Basisen i Ponedeli er den eneste basisen som utgjør en direkte side i gradmålingsrekken og den trengte således ikke noe ekspansjonsnett. Tenner brukte repeter-sirkelinstrumenter fra Troughton og fra Baumann og brukte samme metode som Bessel. Ved en tilfældighet endte Tenner sitt målearbeid samme år som Struve fullførte sitt arbeid i Baltikum. Tenner hadde da målt en meridianbue på  $4^{\circ} 32'$ . Det viste seg at nordligste punktet i Tenners Gradmålingsrekke, Bristen ved elven Duna, lå bare 32 km vest for Jacobstadt som var det sydligste punktet i Struves rekke. Ideen om å forene de to gradmålingsrekkene ble emne for et møte mellom Struve og Tenner tidlig i 1828. Dette er så vidt vi kan forstå, første gang Struve og Tenner møtes for faglige diskusjoner. De ble enige om et seriøst arbeid for å gjennomføre sammenslåingen av de to gradmålingsrekkene. Spesielt målestokken i de to rekkene vies mye oppmerksomhet. Det samme skjer for så vidt med et trianguleringsarbeid som blir igangsatt for å kontrollere selve sammenføyningen av rekkene. Da det bearbejdede materialet ble publisert i 1832, avsluttes første fase av det store gradmålingsarbeidet. Russland kunne vise til at de hadde fått en gradmålingsrekke som favnet  $8^{\circ} 2,5'$  mellom Högland  $60^{\circ} 05'$  og Belin  $52^{\circ} 02'$ .

## Gradmålingens fase to - utvidelse mot syd og mot nord, 1830-1844

Fase to i den store gradmålingsrekken innledes med Struves søknad om midler til å utvide den russiske gradmålingsrekken nordover gjennom storhertugdømmet Finland til Torneå. Han viser til at de da vil få kontakt med den kjente gradmålingsrekken fra svensk Lappland, som ble målt av Maupertuis fra det franske vitenskapsakademiet i 1736 - 1737. Svensken Celsius, som er mer kjent for sin skala på termometeret, deltok sammen med Maupertuis under disse målingene, som foregikk mellom Torneå og Kittis. Det svenske vitenskapsakademi hadde latt den gamle gradmålingsrekken nymåle fra 1802 til 1803 under ledelse av Jons Svanberg (1771 - 1851). Kritisk gjennomgang av Maupertuis-materialet hadde i ettertid vist at det var mulig å få bedre nøyaktighet på sluttproduktet, det vil si lengden av en buegrad langs meridianen langt mot nord. På grunn av problemer med å identifisere punkter i den originale gradmålingsrekken, måtte de legge inn nye og de utvidet den slik at den ble 1°37' langs meridianen i området ved elven Torne. Det var denne nymålte gradmålingsrekken Struve ønsket å knytte til den russiske. Tsar Nicolai I ga positivt svar på søknaden og lovet å støtte prosjektet med en betydelig årlig sum gjennom 10 år.

Struve utviklet planene sammen med tre finske offiserer som hadde fått opplæring i Dorpat. De startet straks rekognoseringen og begynte vinkelmålinger allerede i 1832. Målearbeidet i Finland ble for det meste ledet av Woldstedt som var knyttet til observatoriet i Helsingfors. Finnene gjennomførte to basismålinger, en ved kirken i Elimä som ligger ved Lovisa og en i nord, nær Uleåborg ved Bottenviken. Begge basisene ble knyttet til gradmålingsrekken ved vanlig ekspansjonsnett. I tillegg utførte finnene også astronomiske observasjoner i Kilpi-Mäki 62°57' og i Torneå 65°51'. Med observasjonene i Torneå ble den finske gradbuen knyttet til Svanbergs svenske gradmålingsrekke. Den russiske meridianbuen var derved forlenget med 5°46' mot nord. Arbeidet tok lenger tid enn Struve opprinnelig hadde tenkt seg. De siste målinger i felten skjedde i 1845. Struve beretter om vanskeligheter med arbeid i øde områder med store skoger.

Under målingene i Finland tok ikke Struve personlig del i markarbeidet. Fra begynnelsen av 1830-årene fikk han nemlig ansvaret for oppbyggingen av det nye sentralobservatoriet på Pulkovohøyden noen km syd for St Petersburg. I 1839 sto observatoriet ferdig og Wilhelm Struve ble dets første direktør.

Men fase to ga også en utvidelse av gradmålingsrekken mot syd. Tenner fortsatte sitt samvittighetsfulle geodetiske arbeid sydover til elven Dnestr gjennom Volynia og Podolia som i dag er deler av Ukraina. Han målte basisene Ossownitza 52°15'N og Staro-Konstantinow 49°42'N som var blant de tre lengste basisene på hele gradmålingsrekken. Videre gjennomførte han astronomiske observasjoner i Kremenetz 50° 06' N og Ssuprunkowzi 48° 44' N.

I den vitenskapelige verden vinner Struve anerkjennelse for sine arbeider og som direktør for det store observatoriet i Pulkova, blir han en enda mer sentral person i sin samtid. Det russiske vitenskapsakademiet tar på seg oppgaven med å utgi en avhandling om det store gradmålingsarbeidet i Russland og overlater selve gjennomføringen til Struve. Med støtte i et dekret fra Nicolai I, får Struve ansvaret for de endelige beregninger av det voluminøse gradmålingsmaterialet.

I 1844 overleverte Tenner sitt meget omfattende materiale til Struve. Det inneholdt observasjoner med kommentarer og detaljerte kart og beskrivelser av alle geodetiske og astronomiske arbeidene tilknyttet gradmålingen som han hadde hatt ansvaret for i tiden 1816 til 1840. Som en bibemerkning kan nevnes at materialet også inneholdt observasjoner i trianguleringsrekker som knyttet gradmålingen til det geodetiske nettet i Preussen. Det preussiske nettet var videre knyttet til Frankrike som igjen var knyttet til England. På den måten fikk man også for første gang sammenheng i det geodetiske nettet i Europa.

### Tredje fase, 1844-1851

Den tredje fasen av gradmålingsarbeidet innledes i 1844 med at general Berg i den øverste militære ledelse i Russland, innkaller Struve og Tenner til et møte i St Petersburg. En viktig hensikt med møtet er å drøfte ytterligere utvidelse av gradmålingsrekken mot syd gjennom Bessarabia til elven Donau ved Svartehavet (Bessarabia dekket et område som i dag består av Moldova og Ukraina). Møtet formaliserer også samarbeidet mellom Struve og Tenner samtidig som det russiske

vitenskapsakademiets rolle i gradmålingen trekkes inn. Tenner får fra nå av ansvar for den praktiske gjennomføringen, det vil si feltarbeidet, mens Struve får et overordnet faglig ansvar, inklusiv beregningsoppgaver for gradmålingen. Det er sannsynlig at de på møtet også har diskutert forlengelse av gradmålingsrekken videre mot nord til Norge, men det kommer ikke frem i kjente skriftlige kilder.

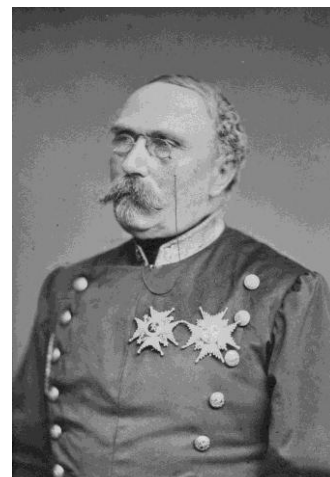
Tsar Nicolai I ser betydningen av Struves og Tenners arbeid og stiller seg positiv til det. Med sin lange erfaring arbeider Tenner seg videre mot syd og han avslutter ved Ismail (Staro-Nekrassowka 45°20') nær Donaus utløp i Svartehavet.

Når Sverige og Norge etter hvert blir trukket inn i gradmålingsarbeidet viser kildene at prosjektet fikk en overraskende hurtig og positiv behandling i de landene. Det er tenkelig at Nicolai I's interesse for gradmålingen har brakt den opp på et så høyt administrativt nivå at konge og ministre i Skandinavia har fått informasjon via diplomatiske kanaler i tillegg til at informasjonen kom gjennom faglige kanaler.

Sent på året 1844 reiste Struve til Stockholm hvor han i audiens hos kong Oscar I la frem et ønske om at gradmålingsrekken skulle fortsettes videre mot nord til Ishavet (= Barentshavet). Struve anmodet kongen å gi støtte til svenske og norske vitenskapsmenn slik at de kunne utføre det nødvendige arbeidet i Skandinavia. Allerede under oppholdet i Stockholm forsto Struve at hans besøk var en suksess. Det svenske vitenskapselskapet ga full støtte til forslaget og Nils Haqvin Selander (1804 - 1870), som var direktør ved Stockholm observatoriet, fikk ansvaret for den svenske delen. I mars 1845 ble forslaget om gradmåling i Nord-Norge forelagt Christopher Hansteen. Han var direktør for Christiania observatoriet, som var tilknyttet universitetet, og samtidig var han sjef for Norges geografiske oppmåling. Hansteen ga en uttalelse til departementet hvor han bekrefter gradmålingens betydning for vitenskapen. Han mener at arbeidet også kan ha betydning som kontroll av triangelrekken langs norskekysten. Men han har liten tro på at gradmålingen kan være nyttig i det indre av Finnmark, idet han tror at måling for topografisk kartlegging aldri vil bli foretatt i de egner.

Den 13.juni 1845 ble det i sammensatt svensk-norsk statsråd besluttet at gradmålingsarbeidet kunne settes i gang samme år i begge land. Som ansvarlig for den norske delen vil ikke Hansteen selv ta del i feltarbeidet. Det skyldtes oppgaver ved universitetet og dessuten hans høye alder (60 år). Derimot foreslår han utsendelse av en ekspedisjon bestående av to offiserer fra armeen, Fredrik L. Klouman (1813-1885) og Christopher A.B. Lundh (1816-1865). Ekspedisjonen skal rekognosere trigonometriske punkter, reise signaler i målepunktene, finne hensiktsmessige steder for basismåling og egnete steder for astronomiske observasjoner. Hansteen nevner blant annet at de to "*vilde komme til at udholde ualmindelige og overordentlige Besværligheder.*" At dette ikke bare var tomme ord, fremgår også av beskrivelsene i Struves senere verk om hele gradmålingen.

I et brev til Norges geografiske oppmåling fra finansdepartementet datert 25.juni blir de nødvendige midler bevilget for å starte prosjektet, og de to offiserene setter i gang med oppgavene. Når datoene nevnes så nøye her, er det for å markere at hele saken og de nødvendige bevilgninger gikk usedvanlig raskt igjennom de berørte instanser i statsapparatet. Årsaken til den raske saksgangen skyldtes nok at saken ble behandlet med forståelse på meget høyt politisk plan og at den norske innenriksministerens personlige engasjement. I sitt hovedverk gir Struve en meget positiv omtale av minister for indredepartementet Frederik Stang, og gir ham mye av æren for at alt gikk så greit i Norge. Det ene bindet i biblioteket til Statens kartverk er dedikert til statsråd Stang med Struves personlige håndskrift.



Fredrik L. Klouman ca. 1870.

I løpet av sommeren 1845 ble rekognoseringen fullført og samtlige signaler bygget i de trigonometriske punktene. Det ble 15 signaler i alt fra Hammerfest til grensen mot Sverige i nærheten av tettstedet Kautokeino. De fant et egnet sted for astronomiske observasjoner ved Fuglenes i utkanten av byen Hammerfest. Men de fant ikke noe egnet sted for basismåling ut fra de instruksjoner som Struve hadde gitt.



Christopher A. B. Lundh i 1862.

I de opprinnelige planene var Nordkapp, det endelige mål for gradmålingsrekken. Men med sin høyde på 122 toiser (237 m) over havet fant Klouman og Lundh at tåke og dårlig vær ville hindre observasjonene så mye at de oppga stedet. Fuglenes derimot var et markert nes med fast fjell som bare lå 7 toiser (13 m) over havet.

De to offiserene hadde en strabasiøs tid i Nord-Norge. Blant annet kom båten deres ut i en storm og drev på land i nærheten av Hammerfest.

I henhold til planen arbeidet nordmennene seg sydoover mens den tilsvarende svenske ekspedisjonen arbeidet seg nordover fra Torneå. De to gruppene skulle så møtes i Kautokeino som ligger nær riksgrensen. Men på grunn av uforutsette hindringer, som havariet ved Hammerfest, kom Klouman og Lundh for sent til Kautokeino, og svenskene var reist. Da gikk de videre til Haparanda, men kom også der for sent til å kunne treffe sine svenske kolleger. Ferden fortsatte derfor ytterligere 1000 km med båt til Stockholm før de kunne møtes.

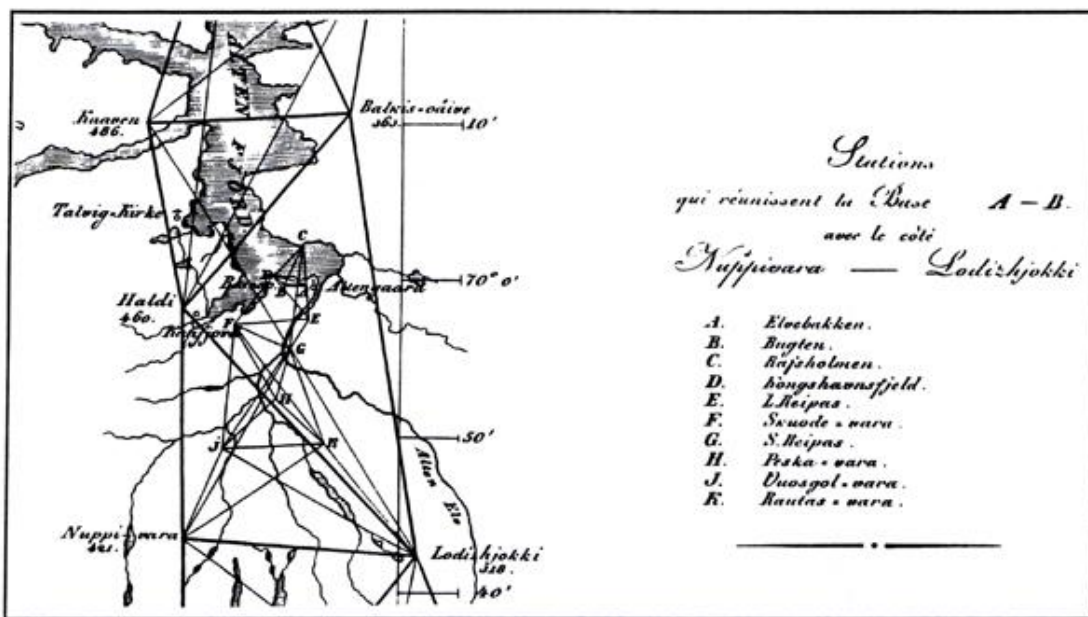
Sommeren 1846 startet Klouman og Lundh trianguleringen i de punktene som de hadde rekognosert. Året etter dro bare Klouman nordover og fullførte den norske del av trianguleringen.

I de øde og uveisomme områdene krevde målingene en stor mengde hjelpere, kløvhester, proviant og utstyr. Også valget av instrumenter bar preg av at de tenkte på vekten og transporten. De brukte Repsold universalinstrument med mikroskop som ga mulighet for sukund-avlesning. Hver vinkel ble som regel repetert 12 ganger, men av og til måtte de nøye seg med 8 repetisjoner på grunn av dårlig vær. Som signal ble brukt hule, sylindriske varder. I sentrum av varden var det reist en stokk med en tønne på. Noen form for fastmerke ble ikke brukt i målepunktene i Norge. Dette ble blant annet begrunnet med at signalene lå så øde at intet menneske ville senere komme til å fjerne dem. Måleren er flink til å notere supplerende informasjon i observasjonsbøkene. Men merkelig nok blir det aldri notert noe om signalhøyden, til tross for at senitdistanser skulle måles med tanke på høydeberegninger. Manglende signalhøyder kan skyldes at dette er første gang trigonometrisk høydemåling anvendes i Norge. Hovedhensikten med høydemåling var å kunne påvise eventuell nivåforskjell mellom Barentshavet og Bottenviken. Kanskje kan måleinstruksen ha vært noe mangelfull? I høydeberegningene ble derfor midtpunktet av

signaltønningen stipulert til å være 1,5 toiser (2,92 m) over bakken.



Repsold universalinstrumentet brukt under målingene i Finmark.



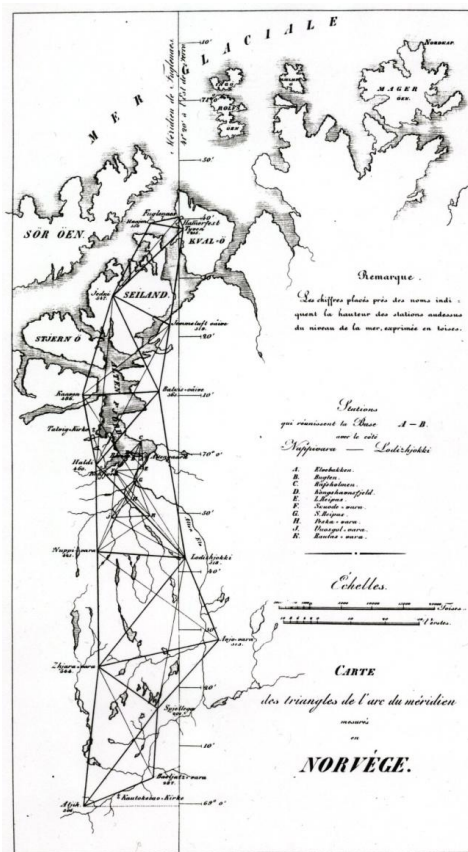
Figur 3. Alta basis, ekspansjonsnett og sidene i gradmålingen, fra Struve [1].

Basismåling og astronomiske observasjoner i den norske delen av gradmålingsrekken gjensto. Hansteen ønsket disse oppgavene utført med samme nøyaktighet som i Russland og ba Struve om assistanse fra Pulkova observatoriet. Etter avklaring via korrespondanse reiste astronom Lindhagen sent på høsten i 1849 til Christiania. Han var svensk, men arbeidet i Struves stab ved Pulkova. Lindhagen og Hansteen kom til enighet om et større opplegg for å gjennomføre basismålinger og de nødvendige astronomiske observasjonene. Fra norsk side fikk Klouman oppdraget med det praktiske arbeidet. Også denne gang handler de bevilgende myndigheter raskt og det nødvendige beløp stilles til disposisjon.

I april 1850 reiser Klouman til Pulkova og oppholder seg der i seks uker. Tiden ble hovedsakelig anvendt til opplæring i bruk av Struves instrumenter for basismåling. I mai 1850 fraktet Klouman og Lindhagen alt utstyret med seg pr båt til Christiania. Derfra bar det videre mot nord til Alta. Her ble basismålinger igangsatt idet de ikke fant bedre egnet sted. Området var flatt og lå nær sjøen, men lengden av basisen ble noe kortere enn ønsket. De greide å oppnå 1154,7 toiser (2251,7 m) og det var klart den korteste basisen i hele gradmålingsrekken (se tabell 2). I hver ende av basisen ble en stor stenblokk senket ned i sandgrunnen og liten jernbolt markerte sentrum. Klouman sto for det meste av arbeidet med måling av basisen og ekspansjonsnett. Lindhagen som hadde ansvaret for de astronomiske målingene på Fuglenes, brukte sommertiden med midnattssol til å forberede observasjons-stedet. Lindhagens assistent Lysander bistod dem begge i denne perioden.

Mot slutten av september reiste Klouman sydover til Christiania med alt det geodetiske utstyret, og da var Alta basis og ekspansjonsnett ferdig målt. Lindhagen var mye plaget med dårlig vær utover høsten, så han var ikke klar ved samme skipsavgang som Klouman. Fra

Lindhagens egen beretning går det frem at han er meget bekymret for de astronomiske observasjonene hvis været ikke endrer seg. Han vurderer muligheten for å bli ferdig



Figur 4 - Den norske delen av Struves meridianbue med 2 basispunkter, 8 ekspansjonspunkter og 15 hovedpunkter.



i tide til å nå siste båten sydover, mot kanskje å måtte utruste en helt ny ekspedisjon året etter. Imidlertid får han tilstrekkelig klare netter til å nå siste båten før vinteren med mørketid setter inn. Ferden tilbake til Pulkova blir lang og strevsom. Nesten fremme så dør assistent Lysander av sykdom.

Alta basis innleder en ny æra for geodesien i Norge. Det er første basis i Norge som måles på land, og som måles med den kvalitet og nøyaktighet som senere ble anvendt helt frem til den elektroniske avstandsmåleren ble tatt i bruk. Inntil da var slike basiser målt opp på islagte fjorder eller innsjøer. Under beregningen av resultater fra den norske delen av gradmålingsrekken, ble første gang "minste kvadraters metode" anvendt i Norge på den slags overbestemte målinger.

Tidlig på året 1851 ble mesteparten av utstyret brakt videre fra Christiania til Stockholm og så nordover til Torneå. I løpet av sommeren fullførte svenskene basismålingen, tilknytningen til gradmålingsrekken og astronomiske målinger i Torneå. Vinkelmålingen var utført i 24 svenske stasjoner i årene før. Det var også de astronomiske observasjonene helt nord i Sverige på fjellet Stuor-oivi.

Sentrale personer i det svenske gradmålingsarbeidet var Lindhagen, Selander, Skogman og Wagner. De deltok både i felten og under beregningene. Etter som arbeidet i Sverige skred frem, så svenske vitenskapsmenn muligheter gjennom gradmålingsarbeidet til å kunne sammenligne havnivået innerst i Bottenviken med havnivået i Norskehavet. Endringen av havnivået i forhold til land hadde lenge vært kjent langs Sveriges østkyst. Vitenskapen hadde flere teorier om årsaken. Her så man altså en mulighet til å skaffe data som grunnlag for sammenligning mellom de to havnivåene. Det var en tilleggsoppgave som Sverige engasjerte seg i.

#### Fjerde fase 1852-1855

Fra 1852 ble det bare utført enkelte suppleringmålinger hvor det var mistanke om feil i de opprinnelige målingene, eller hvor det av andre grunner var behov for mer data. Sommeren 1853 ble det holdt et møte i Stockholm hvor Struve, Selander og Hansteen deltok på vegne av hver av de tre nasjonene. Lindhagen var med som sekretær. Tenner var invitert og sterkt ønsket av de øvrige, men på grunn av høy alder kunne han ikke komme. På møtet ble de enige om hvordan rapporter og resultater skulle publiseres. Struve informerte om hvordan det sydligste punktet i gradmålingsbuen skulle markeres, og han oppfordret Hansteen til å markere punktet i Hammerfest på tilsvarende måte. I 1855 var alle formaliteter i orden mellom partene, og det året markerte derfor avslutningen på det stor russisk-skandinaviske gradmålingsarbeidet. Geografiske plassering av gradmålingsrekken er vist på kartet i figur 4. Markarbeidet ble egentlig avsluttet i 1852. I ulike publikasjoner vil derfor begge årene 1852 og 1855 forekomme som avslutningsår for prosjektet. Hovedresultatet av gradmålingsarbeidet foreligger som to store bind utgitt i St Petersburg 1860, med Wilhelm Struve som redaktør [1].

Det ble tidlig bevilget penger til et monument som minnesmerke om gradmålingsrekken i dens sydligste punkt Ismail  $45^{\circ} 20' N$ , men merket



Figur 5. Den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken, som senere fikk navnet "Struves meridianbue".

kom ikke på plass før i 1858. Gradmålingens nordligste punkt Hammerfest (Fuglenes)  $70^{\circ} 40' N$  fikk sitt minnesmerke oppsatt i 1854. De har begge den samme innskrift på latin foruten innskrift på landets eget språk. Begge monumentene står den dag i dag.

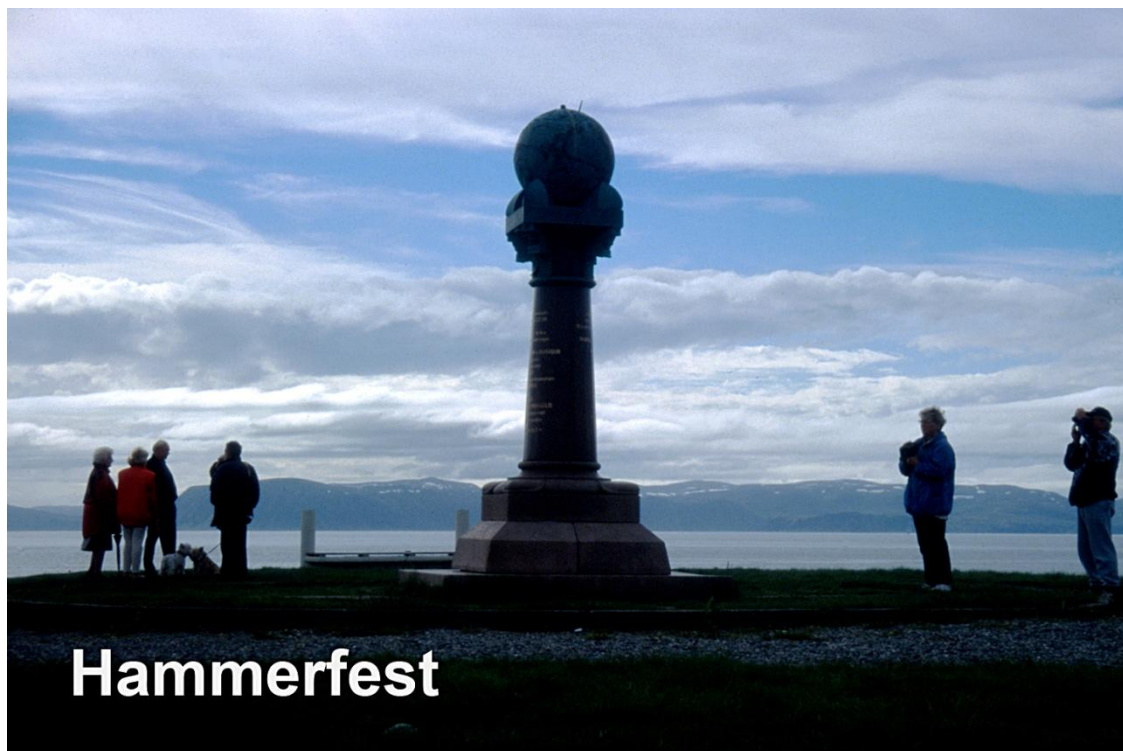
Hvis man med få ord skal trekke noen konklusjon om arbeidet, så kan følgende sies:

Det ble den lengste gradmålingsrekke som er målt frem til vår tid. Den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken representerer et nøyaktig, møysommelig og målbevisst arbeid hvor det ønskede mål ble nådd. Deltagerne hadde personlige egenskaper som var nødvendig for å lykkes med et så bredt og langvarig samarbeid. Så vidt vites er dette første gang Norge som nasjon deltar i et større internasjonalt vitenskapelig prosjekt. Resultatet ga et vesentlig bidrag til den geodetiske forskning og til bestemmelse av de matematiske konstanter som beskriver jordens form og størrelse. Både Bessel (1841) og Clarke (1880) brukte data fra den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken til sine ellipsoide-beregninger. De fleste land i Vest-Europa har brukt disse ellipsoider for kart og oppmåling helt frem til i dag. Data fra den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken ble til og med brukt av Izotov og Krasovsky under deres ellipsoideberegning for Sovjet fra 1942. Denne ellipsoiden ble mye brukt i Øst-Europa.

På Fuglenes har norske geodeter utført astronomiske kontrollmålinger både i 1928, av Hans Jelstrup og i 1950, av Yngvar Schiøtt. Resultatene stemmer meget godt over ens med de gamle. Geografisk bredde avviker mindre enn 6 m. Det var punktene i den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken som dannet fundamentet i det nordlige norske, geodetiske nettet helt frem til 1969.

Rester av basisen som blant annet ble brukt til opplæring ved Pulkova observatoriet, ble gjenfunnet i 1970-årene og nye søyler er reist i endepunktene.

I 2005 ble 34 av de originale punktene i Den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken innskrevet i UNESCOs verdensarvliste under navnet Struve Geodetic Arc (Struves meridianbue). Dette var første vitenskapelige kulturobjektet inn på verdensarvlisten, og Struves meridianbue var også det første objektet på listen, som var foreslått av mer enn to nasjoner, idet hele 10 nasjoner sto bak søknaden til UNESCO. Mer om dette i andre artikler.



## Oversikt

Nordligste punkt: Hammerfest (Fuglenes) 70° 40' 11,23" N  
Sydligste punkt: Ismail (Staro-Nekrassowka) 45° 20' 02,94" N

Differens i geografisk bredde 25° 20' 08,29"

Differens i toiser 1 447 786,783 ±6,226

dvs i m 2 821 853,711 +12,135

Hele gradmålingsrekken består av 258 trekanter.

Fundamentalpunkt for gradmålingsrekken: Dorpat 58° 22' 47,56"N ±0,05  
Tidsforskjell mellom Greenwich og Dorpat 1h 46m 53,536s ±0,066s

## Tabell 1.

### Astronomiske stasjoner for asimut og geografisk bredde:

Stasjon	Geografisk bredde	Meridianbue mellom Astro-stasjoner
	° ' "	° ' "
1. Ismail	45 20	1 41
2. Wodolui	47 01	1 43
3. Ssuprunkowzi	48 44	1 22
4. Kremenetz	50 06	1 56
5. Belin	52 02	2 37
6. Nemesch	54 39	1 51
7. Jacobstadt	56 30	1 53
8. Dorpat	58 23	1 42
9. Högländ	60 05	2 52
10. Kilpi-Mäki	62 57	2 54
11. Torneå	65 51	2 49
12. Stuor-oivi	68 40	2 00
13. Hammerfest	70 40	

Tabell 2

**Basisenes plassering, totale lengde, høyde over havet og observasjonsår**

Basis	Geografisk bredde		Lengde (toise)	Høyde over havet (toise)	År for målingene
	°	'			
1. Taschbunar	45	35	2770.3	27	1852
2. Romankautzi	48	30	2910.2	149	1848
3. Staro-Konstantinow	49	42	4564.2	9	1838
4. Ossownitza	52	15	5720.0	14	1827
5. Ponedeli	55	58	6055.4	10	1820
6. Simonis	59	02	2315.2	55	1827
7. Elimä	60	50	1348.8	11	1844
8. Uleåborg	65	00	1505.3	1	1845
9. Öfver-Torneå	66	22	1519.9	25	1851
10. Alta	69	55	1154.7	2	1850

1 toise = 1.949 081 meter.

Lengden av 1 toise ble i 1893 fastsatt til denne verdien ved sammenligning med den internasjonale meteren i Paris.

I Norge hadde man i 1864 benyttet verdien 1 toise = 1.949 0181 meter. Ved offisiell overgang til det metriske systemet i Norge i 1875 ble følgende verdi fastsatt: 1 toise = 1.949 0505 meter

Tabell 3

**De syv deler av den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken, ansvarsforhold og måleperiode**

Geografisk område	Geografisk bredde		Under ledelse av	Periode Fra - til
	Fra °	til °		
1. Bessarabia	45 20	- 48 45	C. Tenner	1844-1852
2. Podolia og Volynia	48 45	- 52 03	C. Tenner	1835-1840
3. Litauen	52 03	- 56 30	C. Tenner	1816-1828
4. Baltikum	56 30	- 60 05	W. Struve	1816-1831
5. Finland	60 05	- 65 50	W. Struve	1830-1851
6. Sverige	65 50	- 68 54	N. H. Selander	1845-1852
7. Norge	68 54	- 70 40	Chr. Hansteen	1845-1850

**Litteratur**

- [1] Struve, F. G. Wilhelm (1860). *Arc du Meridien de 25° 20' entre la Danube et la Mer Glaciale (in French)*. St Petersburg, Russland, 1860.
- [2] Struve, F. G. W. (1957). *Arc of Meridian* (på russisk). Moskva, Russland, 1957.
- [3] Batten, Alan H. (1988). *The Lives of Wilhelm and Otto Struve*. Herzberg Inst. of Astroph., BC, Canada. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1988.

- [4] Bialas, Volker (1982). *Erdgestalt, Kosmologie und Weltanschauung* (in German). Konrad Wittwer, Stuttgart, Tyskland, 1982.
- [5] Klingenberg, K. S. (1944). *Et 100 års minne, Norges deltagelse i den skandinavisk-russiske gradmåling*. Norsk Geografisk Tidsskrift, B,X,h.3, Norge, 1944.
- [6] Michaylov, A. A. (1964). *Collection of Papers in Russian 100 years after Struve's Death*. "Hauka", Moskva, Russland, 1964.
- [7] Perrier, Georges. *Wie der Mensch die Erde gemessen und gewogen hat*. Til tysk fra fransk av Gigas, Erwin (1949). Bamberger Verlagshaus, Meisenbach, Tyskland.
- [8] de Seue, C. M (1878). *Historisk Beretning om Norges geografiske oppmåling 1773-1876*. Kristiania, Norge, 1878.