

**This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.**

**Author(s):** Nyblom, Jukka

**Title:** Metrin synty

**Year:** 2020

**Version:** Published version

**Copyright:** © Nyblom, 2020

**Rights:** In Copyright

**Rights url:** <http://rightsstatements.org/page/InC/1.0/?language=en>

**Please cite the original version:**

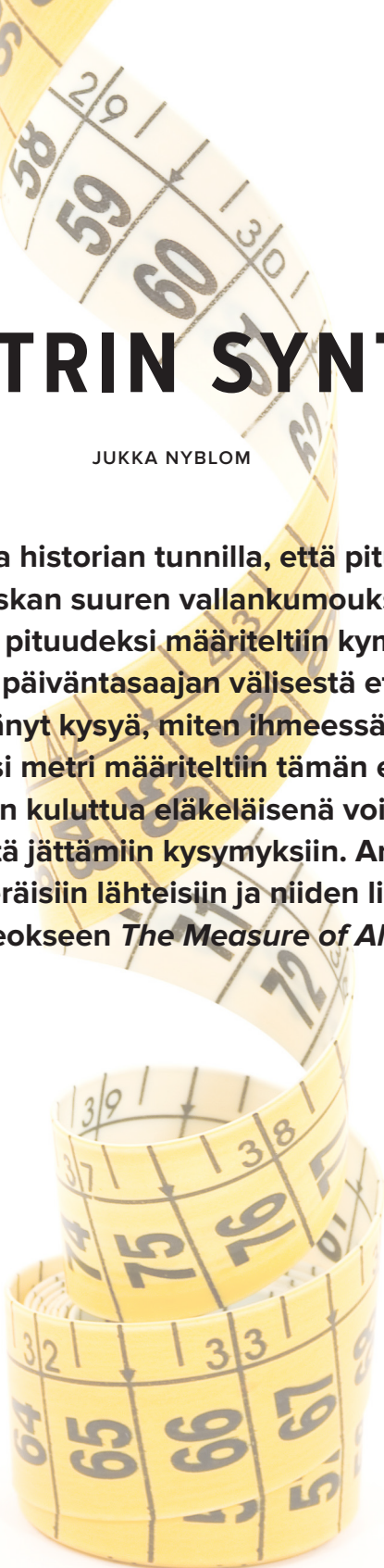
Nyblom, J. (2020, 38). Metrin synty. Tieteessä tapahtuu, (5), 3-13.  
<https://journal.fi/tt/article/view/99565>

# METRIN SYNTY

JUKKA NYBLOM

Kuulin koulupoikana historian tunnilla, että pituusyksikkö metri otettiin käyttöön Ranskan suuren vallankumouksen aikana. Lisäksi sain kuulla, että sen pituudeksi määriteltiin kymmenesmiljoonas osa pohjoisnavan ja päiväntasaajan välisestä etäisyydestä. Enpä kuitenkaan ymmärtänyt kysyä, miten ihmeessä tämä etäisyys oli saatu selville ja miksi metri määriteltiin tämän etäisyyden avulla.

Runsaan 50 vuoden kuluttua eläkeläisenä voin vastata näihin koulupojan tekemättä jättämiin kysymyksiin. Artikkelini perustuu suurelta osin alkuperäisiin lähteisiin ja niiden lisäksi Ken Alderin mainioon teokseen *The Measure of All Things*.



Vuoden 1789 vallankumousta edeltäneen vanhan hallinnon (*l'ancien régime*) Ranskassa vallitsi mittojen ja painojen runsaus. Eri puolilla Ranskaa oli käytössä paikallisesti pari sataa erilaista mitta ja painoa. Aikojen kuluessa kaikki yritykset yhtenäisen mittajärjestelmän aikaan saamiseksi olivat olleet turhia. Viimeisen yrityksen painojen ja mittojen uudistamiseksi ennen vallankumousta teki valtionvarainministeri Turgot<sup>1</sup> vuonna 1775 (Alder, 2002, s. 93; Henry, 1882, s. XXV). Tämäkään uudistus ei toteutunut; tarvittiin suuri vallankumous.

### Kuninkaallisen maatalousseuran katsaus

Markiisi de Bonnay<sup>2</sup>, kansalliskokouksen maatalous- ja kauppa-asioiden komitean puheenjohtaja, oli pyytänyt Kuninkaallisen maatalousseuran (*La Société royale d'agriculture*) mielipidettä herra de Villeneuve<sup>3</sup> muistiosta, joka koski mittayksiköiden yhdenmukaistamista koko valtakunnassa. Seuran jäsenet Tillet<sup>4</sup> ja Abeille<sup>5</sup> saivat tehtäväkseen perehtyä muistioon. Heidän katsaustaan (Tillet ja Abeille, 1790) käsiteltiin kansalliskokouksen istunnossa 6. helmikuuta 1790. Katsauksessaan Tillet ja Abeille ehdottivat otettavaksi koko valtakunnassa käyttöön Pariisin painot ja mitat.

Tillet ja Abeille pohtivat myös mittayksikön perustamista sekuntiheilurin<sup>6</sup> pituuteen, joka oli ollut jo Turgot'n ehdotuksessa, mutta hylkäsivät sen siihen liittyvien epävarmuuksien takia. Sekuntiheiluri ei nimittäin ole oikea heiluri vaan matemaattinen malli heilurille, jonka yhden heilahduksen kesto alkuasennosta toiseen ääriasentoon on tyhjiössä yksi sekunti. Lisäksi oletetaan, että nivelessä ei ole kitkaa, heilurin varsi on massaton ja varren päässä on pistemäinen massa, jonka etäisyys nivelestä määrittää heilurin pituuden. Koska heilahduksen keston perimmäisenä syynä on painovoima, joka vaihtelee leveysasteen mukaan,

tarkka pituus vaihtelee myös leveysasteen mukaan.

Tillet'n ja Abeillen katsauksen liitteenä oli otteita astronomi Lalanden<sup>7</sup> tutkielmasta *Mémoire sur la nouvelle mesure qu'on propose d'établir en France*<sup>8</sup>, jossa hän toi yksityiskohtaisesti esille kaikki vaikeudet määrittää tarkasti sekuntiheilurin pituus havainnoimalla oikeaa heiluria. Lalande kannatti Pariisin sylimitan (syli, ransk. *toise*, noin 195 cm) määrittämistä yhteiseksi perusmitaksi koko Ranskan valtakuntaan.

### Talleyrandin ehdotus painojen ja mittojen uudistamiseksi

Kuukautta myöhemmin painojen ja mittojen uudistus todella käynnistyi, kun Talleyrand<sup>9</sup> teki Condorcet'n<sup>10</sup> kehotuksesta kansalliskokouksen istunnossa 9. maaliskuuta 1790 esityksen painojen ja mittojen uudistuksesta (De Talleyrand-Périgord, 1790). Hän aloitti perustelunsa ytimekkäästi<sup>11</sup>:

Hyvät herrat, lukemattomat erilaiset painomme, mittamme ja niiden omituiset nimellisarvot herättävät hämmennystä mielissä ja kaupankäynnissä. Mutta se, mikä erityisesti on virheiden ja epäluottamuksen lähde, ei ole niinkään tämä monimuotoisuus sinänsä, vaan nimien yhtenäisyyden alla olevat sisällölliset erot. Tällainen vaihtelu, joka on jatkuva riita-asioiden ansa hyväuskoisille, on paljon yleisempi kuin uskommekaan, koska jopa nimet, kuten jalka, kyynärä yms., joiden käyttöön näyttää liittyneen ajatus kiinteistä mitoista, sisältävät joukon hyvin todellisia eroja.

Väitteesä tueksi Talleyrand esitti pitkän listan paikkakuntia, joilla käytetään samannimisiä mutta hyvinkin erisuuruisia mittoja. Lisäksi hän kaunopuheisesti kuvaili uudistuksen aikaansaamaa tulevaisuutta, jolloin erityisesti kaupankäynti ja muu taloudellinen toiminta tulee yksinkertaisemmaksi ja luotettavammaksi. Lisäksi maanomistus, kulttuuri ja teollisuus sekä päivittäinen kulutus hyötyvät huomattavasti uudistuksesta.

Talleyrand pohti esityksessään kahta vaihtoehtoa uuden mitan perustaksi. Ensimmäinen vaihtoehto oli leveysasteiden 44,5 ja 45,5 välisen pituuspiirin eli meridiaanikaaren pituuden kuudeskymmenestuhannes osa. Toinen vaihtoehto

1 Anne-Robert-Jacques Turgot (1727–81). Valtionvarainministerinä (*Contrôleur général des finances*) 1774–76.

2 Charles-Françoise de Bonnay (1750–1825). Ranskalainen sotilas, diplomaatti ja poliitikko.

3 Jérôme Pétion de Villeneuve (1756–94). Ranskalainen asianajaja ja vallankumouksellinen, Pariisin pormestari 1791–92.

4 Mathieu Tillet (1714–91). Ranskalainen kasvitieteilijä ja hallintovirkailija.

5 Louis-Paul Abeille (1719–1807). Ranskalainen taloustieteilijä.

6 Tunnetaan myös nimillä yksinkertainen heiluri ja matemaattinen heiluri.

7 Joseph-Jérôme Lalande (1732–1807). Astronomi ja filosofi.

8 Suom. *Tutkielma uudesta mitasta, joka ehdotetaan otettavaksi käyttöön Ranskassa*.

9 Charles-Maurice de Talleyrand-Périgord (1754–1838)

Ranskalainen poliitikko ja diplomaatti.

10 Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, Condorcet'n markiisi (1743–94). Ranskalainen filosofi ja matemaatikko. Ranskan tiedeakatemian jäsen ja vaikutusvaltainen pysyvä sihteeri.

11 Kirjoittajan suomennos.

perustui sekuntiheilurin pituuteen 45. leveysasteella. Talleyrandin ehdottama 45. leveysaste on pohjoisnavan ja päiväntasaajan puolivälissä, mikä selittää sen molemmissa ehdotuksissa olevan keskeisen aseman. Esityksensä lopuksi Talleyrand päätyi ehdottamaan, että uusi pituuden mittayksikkö tulisi perustaa sekuntiheilurin pituuteen 45. leveysasteella.

Talleyrandin asetusehdotus hyväksyttiin lähes sellaisenaan kansalliskokouksessa 8. toukokuuta 1790 (Décret, 1790). Asetuksessa annettiin määräys, että pituuden perusmitta perustetaan sekuntiheilurin pituuteen. Asetuksessa heilurin pituus ehdotettiin määritettäväksi 45. leveysasteen kohdalla, pohjoisnavan ja päiväntasaajan puolivälissä. Asetuksessa jätettiin kuitenkin mahdollisuus määrittellä se jollakin muullakin leveysasteella, mikä voi heijastella varautumista siihen, että Britannialla ja Yhdysvalloilla saattaisi olla halua vaikuttaa tähän yksityiskohtaan, sillä hankkeen keskeinen tavoite oli saada aikaan universaali kansakuntia yhdistävä mittayksikkö. Käytännön kannalta leveysasteen valinnalla ei ole suurta vaikutusta. Vaikka sekuntiheilurin pituus riippuu leveysasteesta, erot ovat muutamia millimetrejä.

Asetuksen antamisen aikaan kuningas<sup>12</sup> oli vielä valtionpäämies, joten asetuksen toimeenpano edellytti kuninkaan toimenpiteitä. Asetuksessa mm. mainittiin, että kuninkaan tulee kirjoittaa Britannian majesteetille sekä esittää Englannin parlamentin ja Ranskan kansalliskokouksen yhteistä kokousta painojen ja mittojen luonnollisen mittayksikön kiinnittämiseksi. Sen jälkeen molempien kansakuntien valvonnassa kokoontuisi yhtä monta Pariisin tiedeakatemian (*L'Académie des Sciences de Paris*) ja Lontoon kuninkaallisen seuran (*The Royal Society of London*) jäsentä yhdessä päättämään, millä paikkakunnalla heilurin pituus määritetään. Lopuksi kehitettäisiin pysyvä malli, jonka mukaan saadaan lopulliset painot ja mitat. Lisäksi asetus määräsi, miten mitat ja painot otettaisiin käyttöön koko Ranskassa.

## Condorcet'n vaikutus

Aikaisemmin mainittu Turgot'n suunnitelma vuonna 1775 mittajärjestelmän uudistamiseksi oli

myös perustunut sekuntiheilurin pituuteen 45. leveysasteella. Suunnitelman mukaan Tiedeakatemian jäsenen Messier'n<sup>13</sup> piti olla vastuussa heilurin pituuden mittaamisesta. Ohjeen oli kirjoittanut Condorcet. Valitettavasti heiluri, jolla sekuntiheilurin pituus oli tarkoitus mitata, vaati korjausta. Sitä piti odottaa kuusi kuukautta, minkä aikana Turgot määrättiin jättämään eroanomuksensa. Niinpä mittaus jäi tekemättä (Henry, 1882, s. XXV; Baker, 1975, s. 65–67).

Talleyrand otti Turgot'n suunnitelman esille ehdotuksessaan ja velvoitti kansalliskokousta tekemään sen, mistä Turgot joutui luopumaan. Huomaamme, että sekä Turgot'n että Talleyrandin suunnitelmien taustalla on vaikuttanut samainen Condorcet tieteellisenä asiantuntijana. Condorcet ja Turgot olivat ystäväystyneet jo vuonna 1771 mademoiselle de Lespinassen<sup>14</sup> salongissa. Turgot auttoi Condorcet'ta saamaan ylitarkastajan paikan (*inspecteur des monnaies*) rahapajasta (*la monnaie*), missä toimessa hän joutui perehtymään painojen ja mittojen standardoimiskysymyksiin (Baker, 1975, s. 65; Stén, 2019, s. 313).

Condorcet ja Talleyrand olivat myös ystäviä ja Vuoden 1789 seuran (*La Société de 1789*) jäseniä. Seuran perustivat vuonna 1790 maltilliset vallankumoukselliset siinä vaiheessa, kun radikaalit jakobiinit olivat jo omansa muodostaneet. Talleyrand, joka oli myös Atunin<sup>15</sup> piispa, oli kansalliskokouksen jäsen ja Condorcet'n mielestä ilmeisen sopiva henkilö tekemään ehdotuksen mittauudistuksesta arvovaltansa takia. Talleyrandin esitys lienee ollut Condorcet'n laatima. Myös Talleyrandin hyvät suhteet Britanniaan ja Amerikan Yhdysvaltoihin saattoivat vaikuttaa siihen, että juuri hän teki esityksen painojen ja mittojen uudistamisesta.

## Paino- ja mittakomission raportti

Asetuksen antamisen jälkeen paino- ja mittakomissio (*Commission des poids et mesures*), jonka muodostivat tiedeakatemian jäsenet Condorcet,

13 Charles Messier (1730–1817). Ranskalainen astronomi.

14 Jeanne Julie Éléonore de Lespinasse (1732–76). Ranskalainen salongin pitäjä ja kirjeiden kirjoittaja.

15 Atun on kaupunki Ranskassa Burgundin alueella.

12 Ludvig XVI (1754–93). Ranskan kuningas 1774–92.

Lavoisier<sup>16</sup>, Laplace<sup>17</sup>, Borda<sup>18</sup> ja Legendre<sup>19</sup> (Alder 2002, s. 89), ryhtyi viemään mittauudistusta eteenpäin. Komissio julkaisi raportin mittayksikön valinnasta (Borda, 1791), joka luettiin tiedeakatemian kokouksessa 19. maaliskuuta 1791.

Komissio ei suinkaan ollut rajoittanut itseään asetuksessa mainittuun heilurin pituuteen, vaan ryhtyi pohtimaan mittayksikön valintaa alusta alkaen uudelleen. Komissiolla oli ylevät periaatteet. Uuden mittayksikön piti olla luonnollinen ja yleinen. Se ei saanut sulkea mitään kansakuntaa pois. Jonkin kansakunnan jo käyttämän mittayksikön omaksuminen olisi muiden kansakuntien mielestä jäljittelyä ja niin ollen alentavaa, eikä sellaiseen suostuttaisi. Pariisiin *toise*-mittayksikkö ei selvästikään täyttänyt tätä vaatimusta.

Komissio otti pohdittavakseen kolme luonnolliselta näyttävää vaihtoehtoa: ensimmäinen vaihtoehto oli asetuksessa mainittu sekuntiheilurin pituus, toinen päiväntasaajan eli ekvaattoriympyrän neljännes ja kolmas meridiaanikaaren neljännes.

Komission raportin mukaan heilurin pituuteen perustuvaa mittaa puolsi sen helppo määrittäminen ja se, että kuka tahansa pätevä asiantuntija saattoi sen tarkistaa. Edelleen todettiin, että mahdollinen virhe olisi helposti havaittavissa ja korjattavissa. Heilurin pituus tosin riippuu leveysasteesta, mutta jos pituus määritetään 45. leveysasteella, niin tämän sekuntiheilurin pituus on myös keskiarvo<sup>20</sup> kaikista mahdollisista eri leveyksillä mitatuista heilureiden pituuksista. Mikään paikkakunta ei siis olisi erityisasemassa.

Koska sekuntiheiluri on matemaattinen malli, käytännön mittaukset pitää tietysti mitata jollakin oikealla heilurilla. Oikean heilurin pituuteen vaikuttavat mittaushetken lämpötila ja ilmanpaine, joten mittaukset piti korjata vastaamaan veden jäätymlämpötilaa tyhjiössä. Mitkään käytännön vaikeudet, joiden perusteella Lalande oli heiluriin perustuvan mittayksikön hylännyt, eivät kuitenkaan vaikuttaneet komission päätökseen luopua heilurin pituudesta.

Komission mielestä heilurin pituuteen perustuva mittayksikkö ei sittenkään ollut luonnollinen. Komissio totesi nimittäin, että sekuntiheilurin valintaan sisältyi yksi mielivaltainen asia. Komission mielestä vuorokausi, Maan yksi kierros akselinsa ympäri, oli luonnollinen yksikkö, mutta sen jako sekunteihin oli mielivaltainen babylonialainen keksintö. Komissio pohti vielä, voisiko yksikön perustaa heiluriin, joka heilahtaisi kerran vuorokaudessa. Tällainen teoreettinen heiluri olisi tavattoman pitkä, mutta sen kymmenesmiljaridisosa (noin 73 cm) olisi sopiva käytännön mita. Tämäkin vaihtoehto kuitenkin hylättiin, koska ei haluttu kytkeä pituusmittaa toiseen mittayksikköön, ajan yksikköön.

Pituusmitta haluttiin liittää sen luonnolliseen yhteyteen eli pituuksien tavanomaiseen mittamiseen. Jäljelle jäivät siis ekvaattorin neljännes ja meridiaanin neljännes. Ekvaattorin neljännes hylättiin ennen kaikkea sen takia, että sen mittamisen kulut olisivat suhteettoman suuret etuihin nähden. Mittauksethan pitäisi tehdä joko Etelä-Amerikassa, Afrikassa tai Aasian saarilla. Näin perustellen päädyttiin meridiaanikaaren neljännekseen. Verrattuna heilurin pituuden määrittämiseen meridiaanikaaren pituuden mittaaminen oli paljon työläämpää. Se voitiin kuitenkin ratkaista kolmiomittausmenetelmän avulla, joka oli ollut kartantekijöille tuttua jo parin sadan vuoden ajan. Alderin mukaan (Alder, 2002, s. 95) Borda mittakomission puheenjohtajana oli se, joka oli muotoillut perustelut heilurin pituuden korvaamiseksi meridiaanin pituudella. Alder lainaa edellä mainitussa kohdassa myös kaunopuheista Laplacea, mistä näkee tämänkin mielihyvin kannattaneen uuden mittayksikön perustaksi meridiaanin pituutta. Alder mainitsee lisäksi, että Borda vakuutti kansalliskokoukselle mittausoperaation tulevan valmiiksi yhden vuoden aikana (Alder, 2002, s. 96).

Raportin päättely näyttää tarkoitushakuiselta meridiaanikaaren pituuden suosimiselta. Syitä sen suosimiseen oli ainakin kaksi. Borda oli juuri kehittänyt tarkan laitteen kulmien mittaamiseksi. Laitteen englanninkielisen nimen (*repeating circle*) voisi suomentaa toistomittauskehäksi. Nimi viittaa siihen, että laitteella voitiin kätevästi mitata samaa kulmaa useamman kerran. Alder esittelee kirjasaan laitteen periaatteen (Alder, 2002, s. 58–59).

16 Antoine Laurent Lavoisier (1743–94). Ranskalainen kemisti.

17 Pierre Simon Laplace (1749–1827). Ranskalainen matemaatikko ja fyysikko.

18 Jean-Charles Borda (1733–99). Ranskalainen fyysikko.

19 Adrien-Marie Legendre (1752–1833). Ranskalainen matemaatikko.

20 Tulos seuraa siitä, että sekuntiheilurin pituus  $p$  saadaan kaavasta  $p = c_0 + c_1 \sin^2 \lambda$ , missä  $\lambda$  on leveysaste,  $c_0$  on pituus päiväntasaajalla, ja  $c_0 + c_1$  on pituus pohjoisnavalla.

Toistomittauksilla voidaan vähentää yhteen mittaukseen liittyvää epävarmuutta korvaamalla yksittäinen mittaus usean mittauksen keskiarvolla.

Laplacen innostusta meridiaanikaaren mittaukseen selittää hänen pitkään jatkuneet Maan muotoon ja suuruuteen liittyvät tutkimuksensa. Vaikka Maa olikin litistynyt, Laplace vakuutti, että se silti teki täydellisen metrin määrittelyn mahdolliseksi. Tämä sai myös Condorcet'n mielen muuttumaan ja hyväksymään meridiaanikaaren pituuden mittayksikön perustaksi heilurin pituuden sijasta (Alder, 2002, s. 100).

Käytännön toimenpiteenä mittakomissio ehdotti, että mitattaisiin välittömästi meridiaanikaari Englannin Kanaalin Ranskan puoleisen rannan Dunkerquestä Välimeren rantaan Barcelonaan. Tämän kaaren pituus on hiukan yli yhdeksän ja puoli astetta, mitä pidettiin riittävän pitkänä. Siinä olisi suunnilleen kuusi astetta pohjoiseen ja kolme ja puoli etelään keskimääräisestä 45. leveysasteesta. Näiden etujen lisäksi sen kaksi ääripistettä ovat myös merenpinnan tasolla, mitä pidettiin tärkeänä.

Meridiaanikaaren mittauksia oli jo käytetty myös ratkaisemaan kiista Maan muodosta. Kiista oli virinnyt, koska Newton<sup>21</sup> oli painovoimateoriaansa vedoten väittänyt, että Maa on navoiltaan litistynyt ("tomaatti"). Ranskalaiset astronomit Cassini<sup>22</sup> vetosivat puolestaan Ranskassa tehtyihin astemittauksiin perustuen, että päinvastoin maa on ekvaattoriltaan litistynyt ("sitruuna"). Kiista ratkesi tunnetusti Newtonin painovoimateorian eduksi astemittausten avulla, joista toisen Maupertuis'n<sup>23</sup> retkikunta teki Lapissa Tornionjoen laaksossa (1736–37) ja toisen La Condaminen<sup>24</sup> retkikunta päiväntasaajalla Perussa (1735–43). Itse asiassa Maupertuis'n retkikunnan mittaustulokset, jotka saatiin huomattavasti aikaisemmin kuin tiedot Perusta, ratkaisivat koko kiistan.

21 Isaac Newton (1642–1727). Englantilainen matemaatikko ja fyysikko.

22 Isä Cassini oli italialais-ranskalainen matemaatikko ja astronomi Giovanni Domenico (Jean-Dominique) Cassini (1625–1712) ja poika Jacques Cassini (1677–1756). Nämä Cassinit mainitaan historiassa myös nimillä Cassini I ja Cassini II.

23 Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759). Ranskalainen matemaatikko ja astronomi.

24 Charles Marie de La Condamine (1701–74). Ranskalainen luonnontieteilijä, matemaatikko ja löytöretkeilijä.

Tarkkoja mittauksia varten oli Lapin ja Perun retkikuntien käyttöön vuonna 1735 valmistettu kaksi kopiota vanhasta Châtelet'n mittatangosta. Kopioista käytettiin vastaavasti nimiä *Toise du Nord* ja *Toise de Pérou*. Vuonna 1766 kuninkaallinen asetus määräsi jälkimmäisen viralliseksi pituusmittaksi. Siitä valmistettiin 80 kopiota, jotka lähetettiin Ranskan tärkeimpiin kaupunkeihin (De Talleyrand-Périgord, 1790). Operaatiosta vastasi edellä mainittu Tillet<sup>25</sup>. Arkielämän mittayksikköä siitä ei kuitenkaan koskaan tullut. Sen sijaan tieteellisissä mittauksissa siitä tuli kansainvälisesti tunnustettu standardi. *Toise de Pérou* oli myös se mitta, jota Lalande oli ehdottanut yleiseksi mittayksiköksi.

Kansalliskokous katsoo, että painojen ja mittojen yhdenmukaisuuden saavuttamiseksi 8. toukokuuta 1790 annetun asetuksen mukaisesti on tarpeen vahvistaa luonnollinen ja muuttumaton mittayksikkö, ja että ainoa tapa laajentaa tätä mittojen yhdenmukaistamista ulkomaille ja kehottaa niitä sopimaan samasta mittajärjestelmästä, on valita yksikkö, jonka määrittäminen ei sisällä mitään mielivaltaista tai erityistä minkään maailman kansan sijainnin suhteen. Kun lisäksi otetaan huomioon, että tiedeakatemia tämän vuoden 19. maaliskuuta antamassa lausunnossa ehdotettu yksikkö täyttää kaikki nämä ehdot, kansalliskokous määrää ottamaan meridiaanin neljänneksen uuden mittajärjestelmän perustaksi. Tästä seuraa, kuten akatemian lausunnossa todetaan, että tämän perustan määrittämiseksi tarvittavat toimenpiteet, erityisesti meridiaanin kaaren mittaaminen Dunkerquesta Barcelonaan, toteutetaan välittömästi. Tästä syystä kuningas ohjeistaa tiedeakatemiaa nimitämään kuusi komission jäsentä, jotka huolehtivat näistä operaatioista viipymättä, ja neuvottelee Espanjan kanssa niiden puolesta, joiden on työskenneltävä sen alueella. (Perustuslakia säätävän kansalliskokouksen päätös 26. maaliskuuta 1791<sup>26</sup>; Décret, 1791).

## Iso-Britannia, Saksa ja Amerikan Yhdysvallat

Talleyrand oli yhteydessä Englannin parlamentin jäsenen Sir John Riggs-Milleriin<sup>27</sup>, joka ajoi mittauudistusta kotimaassaan (Alder, 2002, s. 93–95). Hänen perustelunsa olivat samankaltaisia kuin Ranskassa, sillä myös Isossa-Britanniassa vallitsi painojen ja mittojen moninaisuus. Taloudellisen toimeliaisuuden lisääntyminen osoitti selvästi siitä johtuvat haitat. Miller esitteli samoja vaihtoehtoja mittayksikön perustaksi kuin ranskalainen paino- ja mittakomissio: Päiväntasaajan ympärys, leveysasteen pituus ja heilurin pituus, joka oli Millerin suosikki, tietysti Lontoon leveydellä mitattu-

25 Ks. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mathieu\\_Tillet](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mathieu_Tillet)

26 *Kirjoittajan suomennos.*

27 John Riggs-Miller (n. 1744–98). 1. baronetti, syntyisin Irlannista, Britannian parlamentin jäsen.

na. Se vastasi hänen mielestään Euroopan keskiarvoa. (Miller, 1790, s. 41–47).

Saksassa ongelmana oli vielä 1700-luvun lopulla sen jakautuminen moniin itsenäisiin osiin, mutta tiedemiehet kannattivat heilurin pituuteen perustuvaa mittaa (Alder, 2002, s. 253). Sittemmin Saksan yhdistyminen Preussin johdolla muutti tilanteen.

Amerikan Yhdysvalloissa sen ensimmäinen ulkoministeri ja kolmas presidentti Jefferson<sup>28</sup> kannatti myös heilurin pituuteen perustuvaa yleistä mittayksikköä. Hänen mielestään mukavinta oli tehdä mittaus 38. leveysasteella, joka kulki Yhdysvaltain keskikohdalla ja sopiva mittauspaikekin löytyisi hänen kartanonsa Monticellon mailta Virginiasta. Myöhemmin Jefferson muutti mielensä ja olisi hyväksynyt mittauksen 45. leveysasteella. (Alder, 2002, s. 94–95).

Kun päätös hylätä heilurin pituuteen perustuva metrin määrittely tuli englantilaisten ja amerikkalaisten tietoon, he vetäytyivät kaikesta yhteistyöstä uuden mittayksikön kehittämiseksi ranskalaisen kanssa. Lontoossa *The Royal Society of London* ei mitenkään voinut hyväksyä, että universaalinen mittayksikkö perustetaan 9–10 leveysasteen pituisen kaaren mittaukseen Ranskassa. Jefferson huomautti, että jos muiden pitää hyväksyä Ranskassa mitattuun meridiaanikaarenpituuteen perustuva mittayksikkö, heidän pitää myös oskoa pelkästään ranskalaisten matemaatikkojen sanaan sen pituudesta. (Alder, 2002, s. 100).

## Maan muoto

On ehkä syytä pohtia hetki, miten runsaan 9 leveysasteen mittaisen meridiaanikaaren pituudesta voitiin päätellä koko meridiaanikaaren neljänneksen pituus. Se oli mahdollista, kun oletettiin, että vastakkaisiin suuntiin pohjoisnavalta etelänavalle lähtevä meridiaanipari yhdessä muodostaa ellipsin. Kun tällainen ellipsi pyörähtää akselinsa ympäri, syntyy pyörähdysellipsoidi, jollaiseksi Maan muoto oletettiin. Sen määrittämiseen tarvitaan vain kaksi vakiota alkuperäisesti ellipsisistä: päiväntasaajasäde<sup>29</sup>  $a$  ja napasäde<sup>30</sup>  $b$  Maan muodon

ja koon kannalta mukavammat vakiot ovat kuitenkin litistyneisyys  $f = (a-b)/a$  ja yhden leveysasteen keskimääräinen pituus  $s$ . Tiedemiehet tunsivat jo 1700-luvulla matemaattisen kaavan (Laplace 1799, s. 141), jonka avulla mikä tahansa meridiaanikaaren pituus voitiin ilmaista näiden kahden vakion avulla. Kahden erillisen meridiaanikaaren pituuden avulla voitiin siis periaatteessa saada selville edellä mainitut vakiot  $f$  ja  $s$ . Koska  $s$  on keskiarvo kaikista yhden asteen pituuksista pohjoisnavalta päiväntasaajalle kertolasku  $90s$  antaa meridiaanikaaren neljänneksen pituuden ja jakolasku  $90s/10^7$  metrin arvon.

Ongelma oli siis ratkaistavissa, mutta tehty olettaus, että Maa on pyörähdysellipsoidi, ei oikeastaan koske todellista Maata, sillä todellisen Maan pinnan muoto ei ole mitenkään säännöllinen: on vuoria, laaksoja, merenpintaa jne., vaan Maan teoreettista mallia. Niinpä 1700-luvun tiedemiehet pyrkivät palauttamaan mittaukset merenpinnan tasoon, minkä ajateltiin saattavan mitaustulokset teoreettisen mallin mukaisiksi.

Itse asiassa olettaus, että Maa on pyörähdysellipsoidi, takaa, että leveysasteiden 44,5 ja 45,5 välisen kaaren pituus on myös likimäärin<sup>31</sup>  $s$ . Talleyrandin esityksessähän pohdittiin myös tämän kaaren mittausta. Edelleen pitää paikkansa, että jos mitattavan kaaren päätepisteet olisivat yhtä etäällä 45. leveysasteesta eikä kaari ole kovin pitkä, keskimääräinen pituus  $s$  voidaan laskea yksinkertaisesti jakamalla kaaren pituus päätepisteiden leveysasteiden erotuksella. Näillä tiedoilla oli osuutta siihen, että mitattavaksi kaareksi valittiin meridiaanikaari Dunkerquesta Barcelonaan, joka sisältää 45. leveysasteen. Vaikka valitun kaaren päätepisteet eivät aivan yhtä etäällä 45. leveysasteesta sijaitsekaan, pidettiin tärkeänä, että kaari ulottui molemmin puolin 45. leveysastetta ja oli riittävän pitkä.

## Meridiaanikaaren mittaus 1792–98

Huhtikuussa 1791 Tiedeakatemia nimitti kolme jäsentään hoitamaan meridiaanikaaren mittauk-

28 Thomas Jefferson (1743–1826). Amerikan Yhdysvaltojen ulkoministeri (1790–93) ja presidentti (1801–09).

29 Maan keskipisteen etäisyys päiväntasaajalta.

30 Maan keskipisteen etäisyys pohjoisnavalta ja etelänavalta.

31 Yhden asteen meridiaanikaaren pituus  $L$  leveysasteen  $\lambda$  ympärillä saadaan likimäärin kaavasta  $L = L_0 + L_0 \sin^2 \lambda$ , missä  $\lambda$  on leveysaste,  $L_0$  on yhden asteen kaaren pituus päiväntasaajan ympärillä.

sen. Nimitetyt jäsenet olivat Méchain<sup>32</sup>, Legendre ja Cassini<sup>33</sup>. Viimeksi mainittu oli kiihkeä rojalisti, ja hän oli pyytänyt mittausryhmän ja mukaan tulleen mittakomission puheenjohtajan Bordan puolesta audienssin kuninkaan vastaanotolle 19. kesäkuuta 1791. Vastaanotolla kuningas tiedusteli, arveleeko Cassini pystyvänsä parempaan kuin hänen isänsä<sup>34</sup> ja isoisänsä. He molemmat olivat nimittäin tehneet astemittauksia samoilla seuduilla Ranskassa, missä uusi mittauskin oli määrä tehdä. Cassini vastasi kuninkaalle, ettei hän kuvitteleisi siihen pystyvänsä ilman läsnä olleen Bordan uutta kulmien mittauslaitetta eli edellä mainittua toistomittauskehää. (Alder, 2002, s. 20–21.)

Audienssin ajankohta sattui olemaan sikäli erikoinen, että seuraavana aamuna kuningas lähti perheineen pakomatulle, joka tunnetusti päättyi heidän kannaltaan onnettomasti. Heidät otettiin kiinni ja tuotiin takaisin Pariisiin. Pakoyrityksen seurauksena kuningas pantiin perheineen arestiin Tuileries'n palatsiin. Tämän tapahtumasarjan jälkeen Cassini ei enää ollut halukas osallistumaan mittausretkikuntaan.

Koko mittausoperaation vaarantuessa tiedeakatemia päätti jakaa mittauksen kahteen osaan. Pohjoinen osa käsitti osuuden Dunkerquesta Rodeziin<sup>35</sup> ja eteläinen osa osuuden Rodezista Barcelonaan. Pohjoinen osa oli huomattavasti pidempi, mutta sen mittaamisessa voitiin käyttää hyväksi jo aiemmin Cassinien I–III käyttämiä mittauspaikkoja. Cassini IV:n edelleen kieltäytyessä hänen tilalleen valittiin Delambre<sup>36</sup>, jonka osalle tuli mittausten tekeminen pohjoisella osuudella. Eteläinen osuus lankesi Méchainin osalle. Molemmat olivat Lalanden oppilaita, joiden toiminnalle tämä lojaalisti antoi tukensa. Siitä huolimatta Lalande oli edelleen *toise*-mittaan perustuvan yksikön kannalla ja piti koko astemittausoperaatiota kalliina ja turhana.

32 Pierre-Françoise-André Méchain (1744–1804). Ranskalainen astronomi.

33 Jean Dominique Cassini (1748–1845). Ranskalainen astronomi. Tunnetaan myös nimellä Cassini IV. Hän oli edellä mainitun Cassini II:n pojanpoika.

34 César-François Cassini de Thury (1714–84). Ranskalainen astronomi. Tunnetaan myös nimellä Cassini III. Hän oli Cassini II:n poika ja audienssia pyytäneen Cassini IV:n isä.

35 Kaupunki eteläisessä Ranskassa.

36 Jean-Baptist-Joseph Delambre (1749–1822). Ranskalainen astronomi.

Mittausretkikunnat lähtivät suorittamaan tehtäviään kesäkuussa 1792. Mittaukset olivat vaativia, ja lisäksi kesäkuussa 1792 oli syttynyt sota Ranskan ja Preussin välille, mikä haittasi Delambren pohjoista retkikuntaa. Myöhemmin maaliskuussa 1793 syttyi sota myös Espanjan kanssa, mikä tuotti ongelmia Méchainille eteläisellä osuudella. Hänenhän piti tehdä mittauksia myös Espanjan alueella. Alder (2002, luvut 1–4) kertoo yksityiskohtaisesti mittausoperaation vaiheet. Vaikka Borda oli vakuuttanut, että mittausoperaatio saadaan valmiiksi vuodessa, vasta marraskuussa 1798 Delambre ja Méchain palasivat Pariisiin. Operaatio kesti siis yhden vuoden sijasta kaikkiaan yli kuusi vuotta.

Mittausoperaation aikana vallankumous radikalisoitui äärimmilleen. Elokuun 10. päivänä 1792 kuningas pantiin viralta ja päätettiin valita uusi perustuslakia säätävä kokous, kansalliskonventti, joka julisti Ranskan tasavallaksi 21. syyskuuta 1792. Tammikuun 17. päivänä 1793 kuningas tuomittiin kuolemaan ja teloitettiin 21. tammikuuta samana vuonna. Elokuun 8. päivänä 1793 tiedeakatemia lakkautettiin. Viikkoa aikaisemmin, 1. elokuuta, oli jo säädetty asetus väliaikaisen metrin käyttöönotosta, vaikka mittausoperaatio oli edelleen käynnissä (Décret, 1793).

Väliaikaisen metri perustui La Cailen<sup>37</sup> vuonna 1758 tekemiin vanhojen Ranskassa tehtyjen meridiaanikaarien pituuksien vertailuihin. La Caille oli saanut 57 027 syltä yhden asteen kaaren pituudeksi 45. leveysasteen kohdalla. Alder kertoo, että mittaukset oli tehnyt Cassini III (Alder, 2002, s. 106). Kuten edellä todettiin, yhden asteen pituus 45. leveydellä on keskiarvo kaikista yhden asteen pituuksista päiväntasaajan ja pohjoisnavan välillä. Siis La Cailen tulosten perusteella väliaikaiseksi metriksi saatiin  $90 \cdot 57027 / 10^7 = 0,51324$  Pariisin syltä, joka on yhtä kuin 443,44 Pariisin linjaa<sup>38</sup> (Borda, 1795, s. 5; Van Swinden<sup>39</sup>, 1799, s. 26).

Heinäkuussa 1794 vallankumouksen radikaalein vaihe oli ohitettu, kun Robespierre<sup>40</sup> teloitet-

37 Nicolas-Louis La Caille (1713–62). Ranskalainen astronomi. Ranskalainen matemaatikko August-Savinien Leblond (1760–1811) ehdotti ensimmäisenä uuden mitan nimeksi metriä (*mètre*) 12. toukokuuta 1790 (Alder, 2002, s. 92 ja 453).

38 Pariisin syli oli 864 Pariisin linjaa.

39 Jean Henri Van Swinden (1746–1823). Alankomaalainen matemaatikko ja fyysikko.

40 Maximillian François Marie Isidore de Robespierre (1758–94). Ranskalainen asianajaja ja vallankumousmiehi.



tiin ja terrori päättyi. Jo vähän aikaisemmin mallillisemmat vallankumoukselliset olivat saaneet vallan, ja kesäkuussa 1794 he olivat perustaneet merenkulkua ym. varten *Bureau des Longitudes*-laitoksen. Se sai palkkalistoilleen parhaimmat tiedemiehet, jotka palauttivat tiedeakatemia toiminnan (Alder, 2002, s. 157).

### Kansainvälinen paino- ja mittakomissio

Kun Delambre ja Méchain lopulta olivat palanneet Pariisiin, ensimmäinen metrin määrittämistä varten perustettu Kansainvälinen paino- ja mittakomissio aloitti kokouksensa marraskuussa 1798. Kokouksutsu oli lähetetty jo saman vuoden kesäkuussa Alankomaiden, Tanskan, Sveitsin, Espanjan ja Italian tiedemiehille. Tanskaa lukuun ottamatta näillä alueilla vallankumouksellisen Ranskan vaikutusvalta oli suuri. Ketään ei ollut kutsuttu Britannia, Amerikasta eikä Saksasta (Alder, 2002, s. 249). Vaikka osanottajajoukko oli rajoittunut edellä mainittujen maiden tiedemiehiin, joita oli kaikkiaan kymmenkunta, Maurice Crosland perustelee vakuuttavasti, että kokousta voi silti pitää ensimmäisenä kansainvälisenä tieteellisenä konferenssina (Crosland, 1969).

Komission päätöksenteko pitkittyi sen takia, että Delambre ja Méchain viivyttelivät mittausaineistonsa julkistamista. Suurimpana syyinä oli se, että Méchain pelkäsi esittää mittaus tuloksiaan. Ne olivat osin ristiriitaisia ja sellaisia, joita hän oli korjannut muiden havaintojen kanssa yhteensopiviksi. Jos hänen toimensa paljastuisivat, hän saattaisi menettää koko toimintansa uskottavuuden koti-

ja ulkomaisten kollegoiden silmissä. Lopulta riittävän suuri osa Méchainin aineistosta saatiin julki Delambren avustuksella, eikä Méchain menettänyt mainettaan; itse asiassa kävi päinvastoin. Alder kertoo tarkemmin näistä tapahtumista (Alder, 2002, luvut 9–11).

### Mittausoperaation tulokset

Kun mittausaineisto oli lopulta kansainvälisen komission käytössä, alkoi sen lähempi tutkiminen ja metrin määrittäminen. Taulukon Panthéon viittaa mittaukseen Pariisissa ja Montjouy mittaukseen Barcelonassa. Aineisto tuotti kuitenkin yllätyksen ja järkytyksenkin komission jäsenille (Van Swinden, 1799, s. 50). Kolmannesta sarakkeesta havaitsemme, että odotusten mukaisesti yhden asteen kaaren pituus kyllä kasvaa kuljettaessa kohti pohjoista, mutta kolmas sarake osoittaa, että kasvuvauhti on huomattavan epätasaista. Pariisista pohjoiseen kasvua on vain 5 moduulia astetta kohden, kun taas etelästä kohti Pariisia kasvua on 44 moduulia astetta kohden ja vielä etelämpänä 12 moduulia astetta kohden. Komissio ymmärsi, ettei vaihtelu voinut olla näin suurta 45. leveysasteen ympärillä. Komission jäsenet arvelivat syitä:

1) Kaikki meridiaanit eivät olekaan samanmuotoisia, toisin sanoen Maata ei voikaan pitää pyörähdysellipsoidina.

2) Vuorten vetovoimat ovat vaikuttaneet mittauksiin. Yksi ongelma on nimittäin taivaanlaen (zeniitin) tarkka määrittäminen luotilangan avulla. Paikalliset poikkeamat Maan vetovoimassa voi-

Taulukko. Dunkerquen ja Montjouyn välisen meridiaanikaaren mittaus tulokset.

Kaaren alku - loppu	Leveysasteiden keskiarvo	Yhden asteen kaaren pituus moduuleissa. Yksi moduuli vastasi kahta syltä ( <i>toise</i> ) ja 1728 Pariisin linjaa.	Erotus	Erotus yhtä astetta kohden
Dunkerque Panthéon	49° 56' 30"	28538	5	2
Panthéon - Évaux	47° 30' 46"	28533	44	16
Évaux - Carcassonne	44° 41' 48"	28489	12	7
Carcassonne - Montjouy	47° 30' 46"	28472		

vat vinouttaa luotilankaa.<sup>41</sup>

3) Maan sisäisen rakenteen epähomogeenisuus, joka myös vaikuttaa Maan vetovoiman vaihteluihin.

4) Edellisten erilaiset yhdistelmät ym. mahdolliset mittausvirheet.

Delambren ja Méchainin mittausten perusteella Laplace laski jo aikaisemmin kehittämälleen menetelmällä (Laplace, 1786, s. 3–32) Maan litistyneisyyden arvoksi  $1/150,6$  (Laplace, 1799, s. 142). Hän ei pitänyt ratkaisua uskottavana, koska niin suuri litistyneisyyden arvo on mahdoton. Hänen mukaansa litistyneisyyden pitää olla pienempi kuin  $1/230$ , joka saadaan olettamalla Maa ainekseltaan homogeeniseksi (Laplace, 1799, s. 142). Epähomogeeniseksi tiedetyn Maan litistyneisyyden pitää olla pienempi. Myöhemmin Legendre, joka ei osallistunut varsinaiseen mittauseraatioon, mutta oli mittauskomission jäsen, sai samasta aineistosta litistyneisyydeksi  $1/148$  (Legendre, 1805), joka oli vielä hiukan suurempi kuin Laplacen ratkaisu. Legendre käytti laskuissaan pienimmän neliösumman menetelmää<sup>42</sup>. Itse asiassa tämä hänen julkaisunsa oli ensimmäinen esitys pienimmän neliösumman periaatteesta<sup>43</sup> ja teki sen laajasti tunnetuksi.

## Metrin määrittäminen

Koska mittausoperaation aineisto tuotti litistyneisyydeksi arvon, joka osoittautui käyttökelpottomaksi, avuksi otettiin Bouguerin<sup>44</sup> ja La Condaminen Perussa vuosina 1742–43 tekemät mittaukset. Lisäksi oli käytössä heilurimittauksista saatuja litistyneisyyden arvoja. Kansainväliselle mittakomissiolle esitetty raportti (1. toukokuuta 1799, Delambre, 1810, s. 415–433) sen paremmin kuin Jean Henri van Swindenin tiedeakatemiassa myö-

hemmin lukema raportti 25. toukokuuta 1799 (Van Swinden, 1799) ei kuitenkaan kerro täsmällisesti, miten Perussa tehdyt mittaukset ja uusi Ranskassa tehty mittaus yhdistettiin. Alankomaalainen van Swinden, joka oli Kansainvälisen komission jäsen ja raportin ensimmäinen allekirjoittaja, oli valittu tähän tehtävään sen takia, ettei hän ollut ranskalainen. Sillä haluttiin korostaa mittayksikön määrittämisen kansainvälistä luonnetta. Tavoitteenaahan oli yleinen ja universaali mittayksikkö, jonka tuli olla kaikille kansakunnille yhteinen.

Laplace oli luultavimmin se, jolla oli riittävä arvovalta saattamaan metrin määrittely lopulliseen muotoonsa. Taivaanmekaniikassaan (Laplace, 1799, s. 145) hän kertoo, että edellä mainittu päiväntasaajalla tehty astemittaus on etäisyytensä, sijaintinsa ja huolellisuutensa perusteella asetava etusijalle vertailun tekemiseksi Delambren ja Méchainin tekemien uusien mittausten kanssa. Tämä vertailu tuotti litistyneisyyden arvon  $1/334$ . Lisäksi samassa teoksessa (Laplace, 1799, s. 150) Laplace mainitsee tyytyväisenä, että eri puolilla maailmaa ajan mittaan tehtyjen 15 heilurimitauksen perusteella hän sai litistyneisyyden arvon  $1/335,78$ , joka huomattavan lähellä aikaisemmin valittua arvoa  $1/334$ .

Valittu elliptisyyden arvo ja Dunkerquen ja Barcelonan välisen meridiaanikaaren yhdistelmä tuottaa meridiaanikaaren neljänneksen pituudeksi  $2\,565\,370$  moduulia<sup>45</sup>. Sen kymmenesmiljoonas osa on  $0,256537$  moduulia. Saatu pituus on yhtä kuin  $443,296$  Pariisin linjaa *Toise de Pérou* -mittatangon mukaan, jonka Kansainvälinen paino- ja mittakomissio vahvisti metrin viralliseksi pituudeksi<sup>46</sup>.

Virallisesti päätetyn pituuden mukaan valmistettiin platinatanko, joka juhlallisessa seremoniassa esiteltiin Ranskan lakiasäätävälle kokoukselle 22. kesäkuuta 1799. Delambre kirjoitti myöhemmin (Delambre, 1810, s. 135–38, 299), että parempi litistyneisyyden arvo kuin  $1/334$  olisi  $1/309$ , joka johtaisi metrin arvoon  $443,328$  Pariisin linjaa. Delambre ei myöskään pitänyt tehtyjä mittauksia niin tarkkoina, että metrin määrittämisen kuusi numeroa olisivat oikein. Hän arveli, että neljä numeroa

41 Zeniitin tarkka määrittäminen on tärkeää, koska sen perusteella määritetään leveysaste. Mittauspaikkakunnan leveysaste on mittauspaikan zenitiin ja päiväntasaajan zenitiin välinen kulma.

42 Legendre-menetelmä minimoi havaintojen ja mallin antamien arvojen välisten poikkeamien neliösumman. Sen sijaan Laplacen menetelmä minimoi suurimman poikkeaman itseisarvon.

43 Tosin saksalainen matemaatikko ja fyysikko Karl Friedrich Gauss (1777–1855) väitti käyttäneensä sitä jo 1794–95, mikä aiheutti prioriteetti kiistan hänen Legendren välille. Gaussin väitettä pidetään yleisesti uskottavana, vaikka pitäviä kirjallisia todisteita hänen väitteensä tueksi ei ole löytynyt.

44 Pierre Bouguer (1698–1758). Ranskalainen matemaatikko, fyysikko ja astronomi.

45 Kaava ja meridiaanikaaren neljänneksen pituus, ks. Laplace (1799, s. 142).

46 Minun kästykseni metrin lopullisesta määrittämisestä, ks. Nyblom (2020).

riittäisi ja olisi tyytynyt arvoon 443,3. Se olisi myös helppo muistaa: kaksi nelosta ja kaksi kolmosta.

### Yleisen mittayksikön tarpeellisuus

Lopuksi voidaan vielä palata lyhyesti uuden mittayksikön tarpeellisuuteen. Kuten jo aikaisemmin olen kertonut, ministeri Turgot oli jo 15 vuotta ennen vallankumousta vakuuttunut mittayksikköjärjestelmän uudistamisen tarpeellisuudesta. Häntä pidetään taloushistoriassa yhtenä ensimmäisenä taloudellisen liberalismiin puolustajana, joten on aivan selvää, että hän ymmärsi mittayksiköiden moninaisuuden haittaavan taloudellista toimintaa. Sen takia hän yritti ystävänsä Condorcet'n avulla saada uudistuksen aikaan. Voimme kuitenkin kysyä, kuten Ranskan vallankumouksen historian tutkija K.M. Baker (Baker, 1990, s. 153–166): Miksi Turgot ei ratkaissut mittayksikköä koskevaa *poliittista* ongelmaa *poliittisin* keinoin vaan halusi *tieteellisen* perustelun valinnalle? Hänhän olisi voinut esim. määrätä *Toise de Pérou* -mitan yleisesti käytettäväksi, mitä käytännöllinen Lalandekin ehdotti. Vastaus taitaa olla ilmeinen: Hän ymmärsi sen vastustuksen, minkä tällainen muutos saa aikaan ja lienee ajatellut, että vetoamalla tieteen auktoriteettiin uudistus olisi helpommin toteutettavissa kuin pelkällä poliittisella määräyksellä.

Vallankumouksellinen innostus sai tarpeellisen mittayksikköuudistuksen toteutetuksi usean vuoden meridiaanikaaren mittaushankkeen avulla. Sekään ei kuitenkaan yksinään tuottanut lopullista ratkaisua. Avuksi oli otettava mittaushankkeen Perusa. Uuden synnyttäminen on hidasta ja tuskallista. Uuden ihmisyyksilön syntymiseen kuluu hedelmöityksestä 9 kuukautta, mutta metrin synnyttäminen vei 9 vuotta! Kaiken lisäksi lopullinen metri poikkesi vain 0,014 Pariisin linjaa eli n. 0,032 mm väliaikaisesta metristä, joka olisi voitu ottaa käyttöön välittömästi jo vuonna 1790. Globaalin satelliittipaikannusjärjestelmän (GPS:n) käyttämisen WGS84-ellipsoidin parametrit (Vermeer ja Rasila, 2014, s. 126) antavat meridiaanikaaren neljänneksen pituudeksi numeerisia menetelmiä käyttämällä noin 10 001 966 metriä, joten siihen verrattuna Pariisissa 1799 määritelty metri jäi noin 0,2 mm tavoitettaan lyhyemmäksi.

### Kymmenjärjestelmä

Yksi oleellinen osa uudistusta, jota ei vielä ole mainittu, oli kymmenjärjestelmän käyttöönotto. Metriä pienemmät yksiköt saatiin kymmenesosana suuremmasta. Etuliitteet valittiin latinan kielen mukaisesti: desimetri, senttimetri ja millimetri. Metriä suuremmat yksiköt saatiin kymmenkertaisena pienemmästä ja saivat etuliitteensä kreikan kielestä: dekametri, hehtometri ja kilometri. Kymmenjärjestelmä ulotettiin luonnollisella tavalla pinta-ala- ja tilavuusmittoihin. Painomitat saatiin tilavuusmittojen kautta. Kuutiodesimetri  $1\text{ m}^3$  tislattua vettä määriteltiin yhden kilogramman painoiseksi. Myöhemmin kuutiodesimetri sai myös nimen litra (ransk. *litre*).

Kymmenjärjestelmän etu vanhoihin mittoihin verrattuna on selvä. Aikaisemmin erinimisten mittayksiköiden suhteet toisiinsa vaihtelivat: esim. Pariisissa syli (*toise*) = 6 jalkaa (*pie*), kyynärä (*aune*) = 3 jalkaa, jalka = 12 tuumaa (*pouce*), tuuma = 12 linjaa (*ligne*). Lisäksi oli vielä moduuli (*module*) = 2 syltä.

### Metrin omaksuminen ja uudet määritelmät

Ranska siirtyi käyttämään metriä vuonna 1799, mutta käyttöönotto ei sujunut ongelmitta. Talleyrandin kuvailemasta ruusuisesta tulevaisuudesta ja kuvitellun tieteellisen perustelun vakuuttavuudesta huolimatta tavallisten ihmisten oli vaikeata tottua uuteen mittaan. Keisari Napoleon I<sup>47</sup> määräsi Ranskan luopumaan metristä vuonna 1812 vähän ennen Venäjän sotaretkeään, mutta se herätettiin henkiin vuonna 1837, kun Ranska oli jälleen kuningaskunta. Koko Ranskassa se otettiin käyttöön vuonna 1840. Ranska lienee ainoa valtio, joka on sekä ottanut metrimittaan käyttöön että luopunut sen käytöstä. Ennen kuin Ranska toisen kerran otti käyttöön metrin, se oli ollut käytössä Alankomaissa, Belgiassa ja Luxemburgissa jo pari vuosikymmentä (Alder 2002, s. 347–348). Nämä alueet kuuluivat Ranskaan metrin määrittelyn aikaan. Suomessa siirryttiin metrijärjestelmään vuosina 1889–92. Iso-Britannia otti sen virallisesti käyttöön liittyessään vuonna 1970 Euroopan talousyhteisöön (EEC).

47 Napoléon Bonaparte (1769–1821). Ensimmäinen konsuli 1799–1804, Ranskan keisari Napoleon I 1804–14 ja 1815.

Alkuperäinen mittatanko korvattiin uudella vuonna 1889, jolloin metri määriteltiin siinä olevien kahden viivan väliseksi etäisyydeksi. Vuonna 1927 tarkennettiin, että metri on tämä etäisyys lämpötilassa 0° C. Nykyisen määritelmän mukaan metri on matka, jonka valo kulkee tyhjiössä 1/299792458 sekunnissa. Määritelmä perustuu siis nykyään sekuntiin, jonka paino- ja mittakomissio hylkäsi vuonna 1791. Sekunti puolestaan määritellään nykyään hiukkasfysiikan keinoin.

Keisari Napoleon III:n<sup>48</sup> aikana Ranskan ja Preussin sota päättyi Ranskan tappioon, minkä jälkeen Ranskasta tuli tasavalta kolmannen kerran ja Preussin kuninkaasta Saksan keisari Vilhelm I<sup>49</sup>. Uusi keisarikunta ryhtyi luomaan metristä harmoniaa ja vuonna 1875 laadittiin sopimus *Convention du mètre*, joka loi kansainvälisen organisaation *Bureau International des Poids et Mesures (International Bureau of Weights and Measures)* huolehtimaan kaikista metriin liittyvistä standardeista. Organisaation päämaja sijaitsee Pariisin lähellä Saint-Cloud'n puistoa. Siihen kuuluu nykyisin 62 valtiota. Suomi liittyi siihen vuonna 1923. Yhdysvallat on merkittävin poikkeus, joka ei kuulu järjestöön eikä ole ottanut metriä yleiseen käyttöön.

## Lähteet

Alder, K. (2002). *The Measure of All Things*. Little brown. London.

Baker, K.M. (1975). *Condorcet – From Natural Philosophy to Social Mathematics*. The University of Chicago Press. Chicago.

Baker, K.M. (1990). Science and politics at the end of the old Regime, s. 153–166. Teoksessa *Inventing the French Revolution*. Cambridge University Press. Cambridge.

Borda, J.C. (1791). *Rapport sur le choix d'une unité de mesure*. L'Assemblée Nationale. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k571270?rk=42918;4> (luettu 19.4.2020). Suomennos: <http://users.jyu.fi/~junyblom/Rapport1791-suomeksi.pdf> (luettu 6.5.2020)

Borda, J.C. (1795). *Rapport sur la verification du mètre*. Commissaires des poids et mesures. Paris. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k487746?rk=21459;2> (luettu 15.5.2020)

Crosland, M. (1969). The Congress on Definitive Metric Standards, 1798–1799: The First International Scientific Conference? *Isis* 60, 226–231.

Décret (1790). Décret sur l'unité des poids et des mesures. 8. mai 1790. Collection générale des décrets rendus par l'Assemblée Nationale. [https://www.persee.fr/doc/arcpa\\_0000-0000\\_1883\\_num\\_15\\_1\\_6816\\_t1\\_0443\\_0000\\_4](https://www.persee.fr/doc/arcpa_0000-0000_1883_num_15_1_6816_t1_0443_0000_4) (luettu 19.4.2020). Suomenos: [http://users.jyu.fi/~junyblom/Asetus\\_8\\_5\\_1790.pdf](http://users.jyu.fi/~junyblom/Asetus_8_5_1790.pdf)

Décret (1791). Décret relatif au moyen d'établir une uniformité de mesures. 26. mars 1791. [https://www.persee.fr/doc/arcpa\\_0000-0000\\_1886\\_num\\_24\\_1\\_13089\\_t1\\_0379\\_0000\\_3](https://www.persee.fr/doc/arcpa_0000-0000_1886_num_24_1_13089_t1_0379_0000_3)

48 Charles Louis Napoléon Bonaparte (1808–73). Ranskan ensimmäinen presidentti (1848–52). Ranskan keisari Napoleon III 1852–70.

49 Vilhelm I (1791–1888). Preussin kuningas 1861–88, Saksan keisari 1871–88.

(Luettu 2.5.2020). Suomennos: [http://users.jyu.fi/~junyblom/Asetus\\_26\\_3\\_1791.pdf](http://users.jyu.fi/~junyblom/Asetus_26_3_1791.pdf) (luettu 2.5.2020) [http://users.jyu.fi/~junyblom/Asetus\\_26\\_3\\_1791.pdf](http://users.jyu.fi/~junyblom/Asetus_26_3_1791.pdf)

Décret (1793). Décret sur l'uniformité et le système general des poids et mesures. <https://ia800704.us.archive.org/8/items/archivesparlemen7opariuoft/archivesparlemen7opariuoft.pdf> (luettu 2.6.2020).

Delambre, J.B.J. (1810). Base du système métrique decimal, ou mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone, exécutée en 1792 et années suivantes, par M.M. Méchain et Delambre. Tome III. Baudouin. Paris. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k110604s.texteImage> (luettu 19.4.2020).

De Talleyrand-Périgord, C.M. (1790). Proposition sur les poids et mesures faite à l'Assemblée nationale. Archives Paralamentaires de la Révolution Française, 104–108. [https://www.persee.fr/doc/arcpa\\_0000-0000\\_1881\\_num\\_12\\_1\\_5995\\_t1\\_0104\\_0000\\_6](https://www.persee.fr/doc/arcpa_0000-0000_1881_num_12_1_5995_t1_0104_0000_6) (luettu 19.4.2020).

Henry, C. (1882). Correspondance inédite de Condorcet et de Turgot 1770–1779. Charavay Frères. Paris. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k973351v/f75.image.texteImage> (luettu 11.5.2020).

Laplace, P.-S. (1786). Mémoire sur la figure de la terre. Teoksessa *Oeuvres complètes de Laplace*, Tome XI. 3–32. Gauthier-Villars. Paris. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k77599c/fi1.image> (luettu 24.4.2020).

Laplace, P.-S. (1799). *Traité de Mécanique Céleste*. Tome II. Crapelet. Paris. <https://archive.org/details/traitemcanio2lapl/page/n8/mode/2up> (luettu 7.4.2020).

Legendre, A.-M. (1805). *Nouvelles Méthodes pour la Détermination des Orbites des Comètes*. Appendice: Sur la Méthode des moindres carrés. <http://www.bibnum.education.fr/sites/default/files/legendre-texte.pdf> (luettu 29.5.2020). Suomenos: <http://users.jyu.fi/~junyblom/legendre-suom.pdf> (luettu 8.5.2020).

Miller, J.R. (1790). Speeches in the House of Commons upon the Equalization of the Weights and Measures in Great Britain. Debrett. London. <https://books.google.fi/books?id=XkALSYqPIDYC&pg=PP5&pg=PP5&dq=Speeches+in+the+House+of+Commons+upon+weights+and+measures+in+great+britain&source=bl&ots=G79FKFX3g&sig=ACfU3U2RspXVOoMUTYtQPqRjGk4lBoMfw&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwjQ3a-dnpAhVEpYsKHEAuBfQ6AEwD3oECAoQAQ#v=onepage&q=Speeches%20in%20the%20House%20of%20commons%20upon%20weights%20and%20measures%20in%20great%20britain&f=false> (luettu 29.5.2020)

Nyblom, J. (2020) Metrin määrittäminen. [http://users.jyu.fi/~junyblom/Metrin\\_maaritys.pdf](http://users.jyu.fi/~junyblom/Metrin_maaritys.pdf) (luettu 4.8.2020).

Stén, J. (2019). Condorcet – ihmisjärki ja paradoksi. Teoksessa *Valon aika* (toim. O. Pekonen ja J. Stén). Art House. Tallinna.

Tillet, M. et Abeille, L.P. (1790). Observations de la société royale d'agriculture sur l'uniformité des poids et des mesures. Paris. [https://www.persee.fr/doc/arcpa\\_0000-0000\\_1880\\_num\\_11\\_1\\_5717\\_t1\\_0466\\_0000\\_7](https://www.persee.fr/doc/arcpa_0000-0000_1880_num_11_1_5717_t1_0466_0000_7) (luettu 6.5.2020). Suomenos: <http://users.jyu.fi/~junyblom/LaLande-suom.pdf> (luettu 8.5.2020).

van Swinden, J.H. (1799). Rapport sur la mesure de la méridienne de France, et les résultats qui en ont été déduits pour déterminer les bases du nouveau système métrique. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3217h/f32.image> (luettu 19.4.2020).

Vermeer, M. ja Rasila, A. (2014). *Maailman kartta – johdatus matemaattiseen geodesiaan*. Ursan julkaisuja 140. Vammala.

Kirjoittaja on Jyväskylän yliopiston tilastotieteen professori (emeritus).

*Kenen palveluksessa tieto on?*

Tutustu ohjelmaan osoitteessa [www.tiiteenpaivat.fi](http://www.tiiteenpaivat.fi)

# HYVÄ JA PAHA TIETO

---

TIETEEN PÄIVÄT 13.–17.1.2021

HELSINGIN YLIOPISTON PORTHANIASSA JA TIEDEKULMASSA SEKÄ VERKOSSA

VAPAA PÄÄSY!



Tiiteen päivät®  
Vetenskapsdagarna