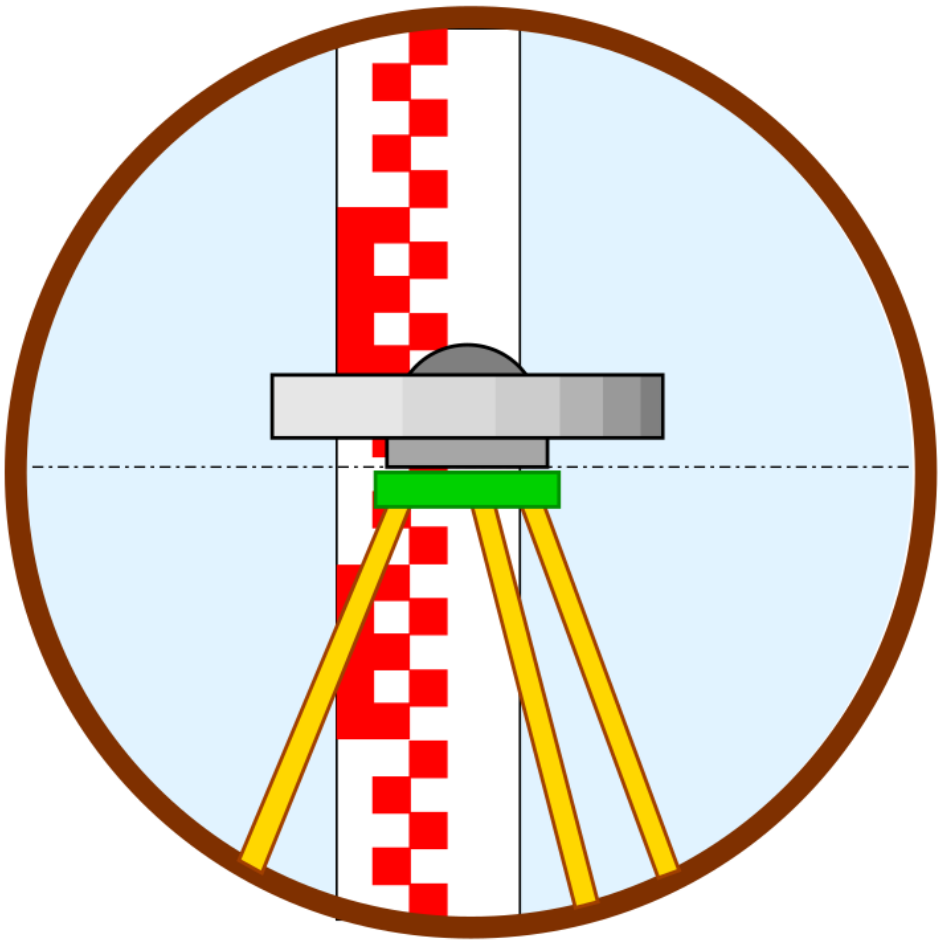
# Korkeuden lyhyt historia

Martin Vermeer

Marraskuu 2006

# Sisältö




1. Muinaisaika
2. Vaaituskojeet
3. Muut menetelmät
4. Korkeus ja energia
5. Teoriaa. . .
6. Kansalliset vaaitusprojektit
7. Lopuksi anekdootti

# Korkeudet muinaisajassa:

1. Aikanaan korkeuksia tarvittiin lähinnä merenkulun yhteydessä: vesiasteikkoja. Korkeusjärjestelmät olivat paikallisia (satamat, kanavat)
2. Hollannissa syntyi ensimmäiseksi tarve luoda korkeusjärjestelmä suuremmalle alueelle, vesien hoidon yhteydessä
3. "Amsterdams Peil" (AP) jo olemassa v. 1684 lähtien, mutta käytössä aluksi vain paikallisesti
4. v. 1818 AP hyväksyttiin lailla valtakunnalliseksi korkeusjärjestelmäksi, vuodesta 1875 nimellä NAP, Normaal Amsterdams Peil.
5. Myöhemmin NAPia alettiin käyttää myös muualla Euroopassa, ainakin tieteellisiin tarkoituksiin.

# Korkeusjärjestelmät kansainvälisesti

Muualla otettiin käyttöön paikallisia järjestelmiä. Nykytilanne:

- Saksa: DHHN92; Amsterdam
- Itä-Saksa: SSN76; Kronstadt
- Ranska: NGF-IGN69; Marseille
- Italia: *metri sul livello del mare*; Genova 1942
- Puola: *metry nad poziomem morza*; Kronstadt 1986
- Itävalta: *Meter über Adria*; Trieste
- Sveitsi: LN02; Marseille 1902
- Ruotsi: RH70; Amsterdam 1970
- Espanja: *metros sobre el nivel del mar*; Alicante
- Iso-Brittannia: Ordnance Datum Newlyn 1915-1921
- Australia: AHD; 30 mareografin keskiarvo 1966-68

# Korkeusjärjestelmät kv., jatkuu...

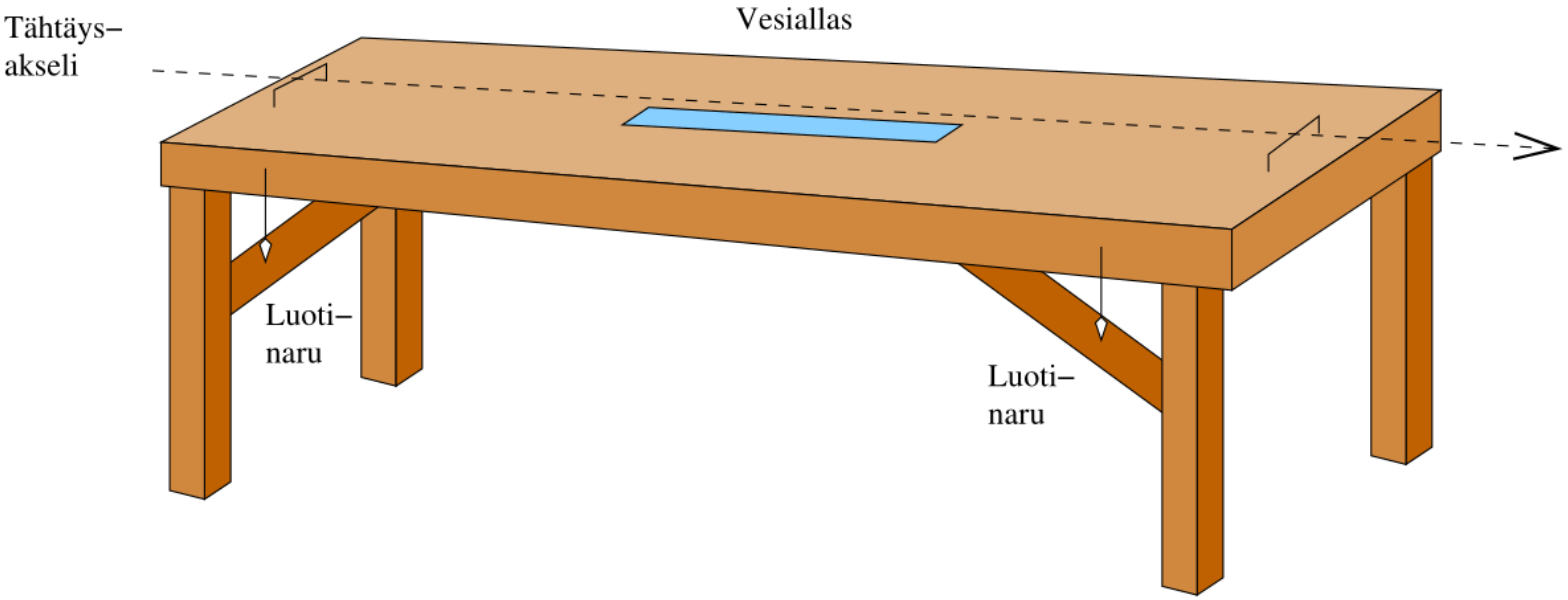
- USA, Kanada: NAVD88; Father Point/Rimouski, Quebec, Kanada
- Japani: *Mean Sea Level of Tokyo bay*; Tokyo
- Kiina: *National Height Datum of 1985*; Qingdao mareografi
- Portugali: Cascais 1938
- Irlanti: Malin Head
- Norja: NN1954, Tregde
- Viro: BHS77, Kronstadt
- Slovenia: Trieste 1875
- Etelä-Afrikka: *South African Land Leveling*; Cape Town Harbour
- jne...

# Vaaituskojeet

1. Kreikkalaiset/ roomalaiset käyttivät *chorobates*, puinen vaaituspöytä
2. Timpurin vatupassin keksi luultavasti Melchisédech THÉVENOT noin v. 1661
3. Yhdistettynä kiikariin siitä tulee vaaituskoje
4. Automaattivaaituskoje
5. Invar-latta: eliminoi lämpö- ja kosteuslaajenemista
6. KUKKAMÄKI-menetelmä: minimoi ilmakehän vaikutuksen epätasaisessa maastossa
7. Digitaaliset vaaituskojeet, viivakoodilatat.

# Chorobates

Kun maanmittari on maailman toiseksi vanhin ammatti, on vaaitsija varmaan kolmanneksi vanhin...

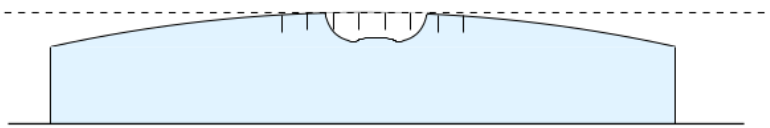



VITRUVIUS keksi pöytätasoon upotetun vesialtaan. Pöytää käytettiin visuaalisesti samalla tavalla kuin modernia vaaituskojeitta, lähinnä rakennustyössä (tiet, akvaduktit)

# Melchisédech Thévenot

1620-1692, vaikutusvaltainen ranskalainen kirjoittaja, fyysikko, matkustaja, kartoittaja, orientalisti, keksijä ja diplomaattii sekä kuninkaallinen kirjastonhoitaja. Häneltä julkaistiin v. 1696 kirja "Uimisen taito". Matkakertomukset vv. 1663-72 sisälsivät uusia lähi-idän karttoja.

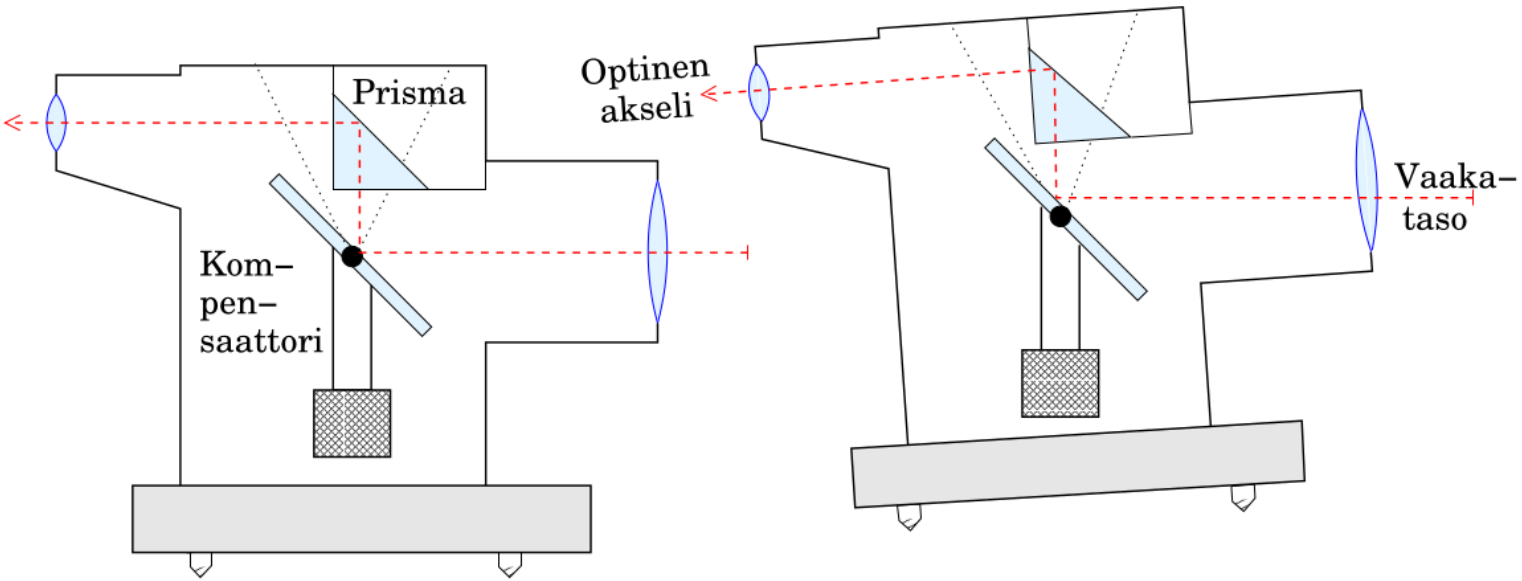
Hän keksi vesivaa'an eli tasainputkea käyttävän timpurivatupassin v. 1661.

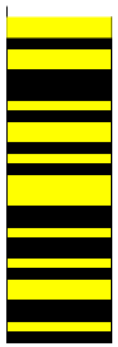


http://en.wikipedia.org/wiki/Melchis%C3%A9dech_Th%C3%A9venot

(Hänestä ei ole säilynyt muotokuvaa)

# Automatisointi vaaituksessa



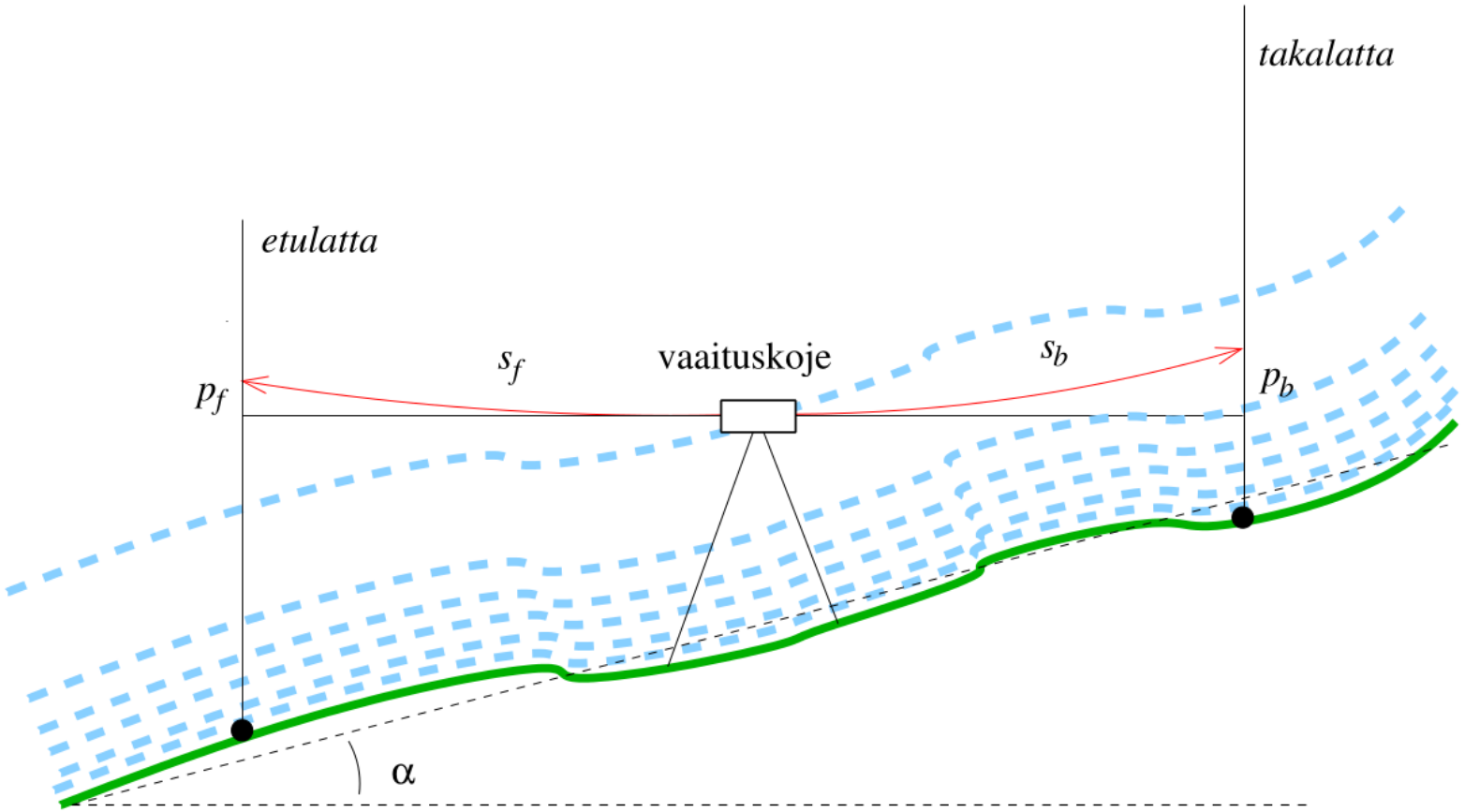
Automatisointi vaaituksessa:

Itsetasaava (automaatti-) vaaituskoje; digitaalinen viivakoodilatta

# Vaaituksen automatisoinnin ongelmat

- Auttomaattikojeen kompensaattorin herkkyys Maan magneettikentälle (Kukkamäki, Lehmuskoski)
- Automaattikojeen parallaksiongelma (kääntyvä okulaari)
- Viivakoodilatta ja valaistus/varjostus/peitto
- Digitaalivaaituskoje on softapohjainen $\rightarrow$ ”musta laatikko -ongelma”
- Yritykset eliminoida refraktio kaksivärimenetelmällä osoittautuneet haastaviksi.

# Vaaitusrefraktio



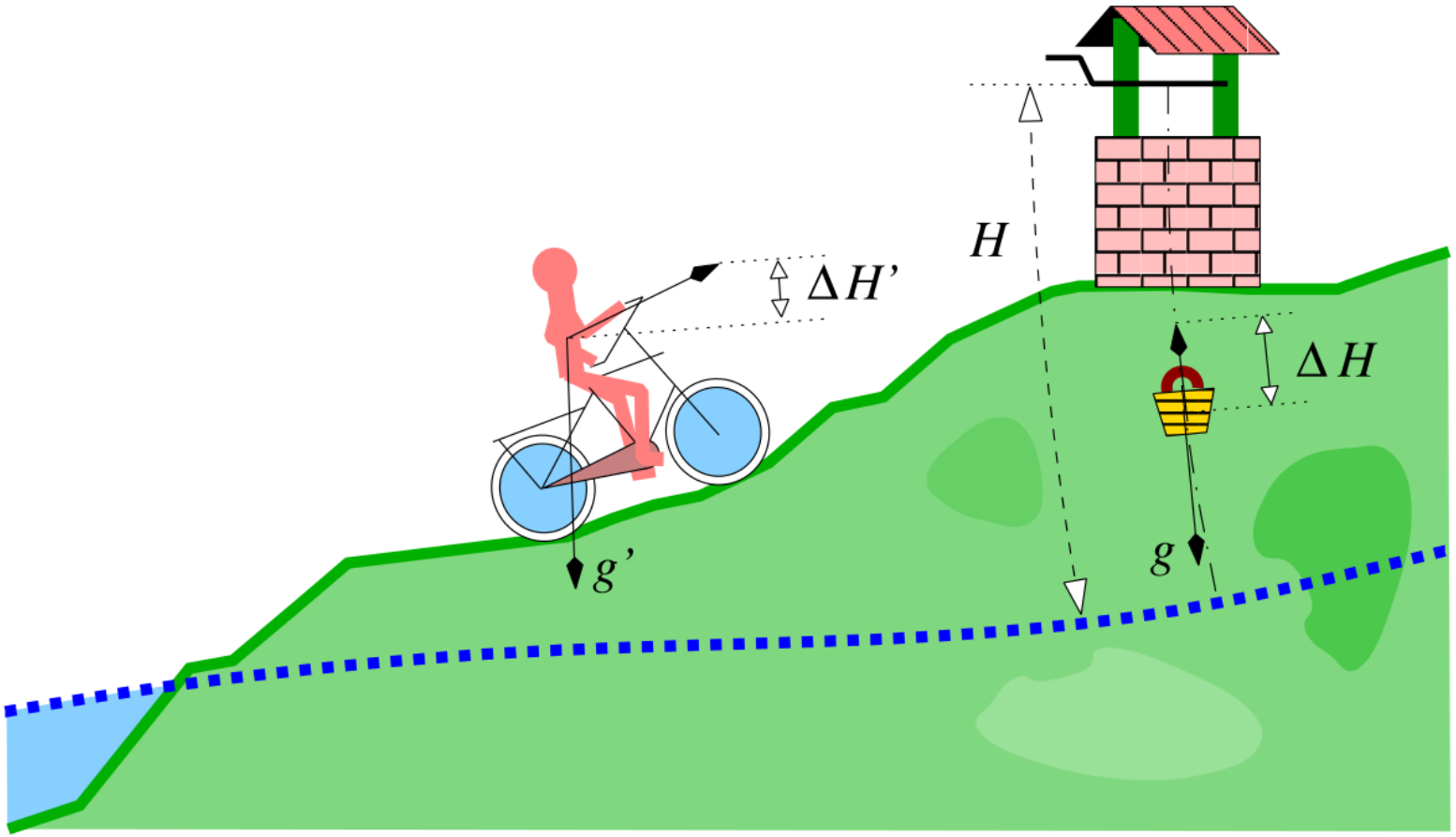

KUKKAMÄKI-korjaus kaltevassa maastossa.

(Historiaa: "Palmdale Bulge",
`http://www.kilty.com/bulge.htm`)

# Muut menetelmät

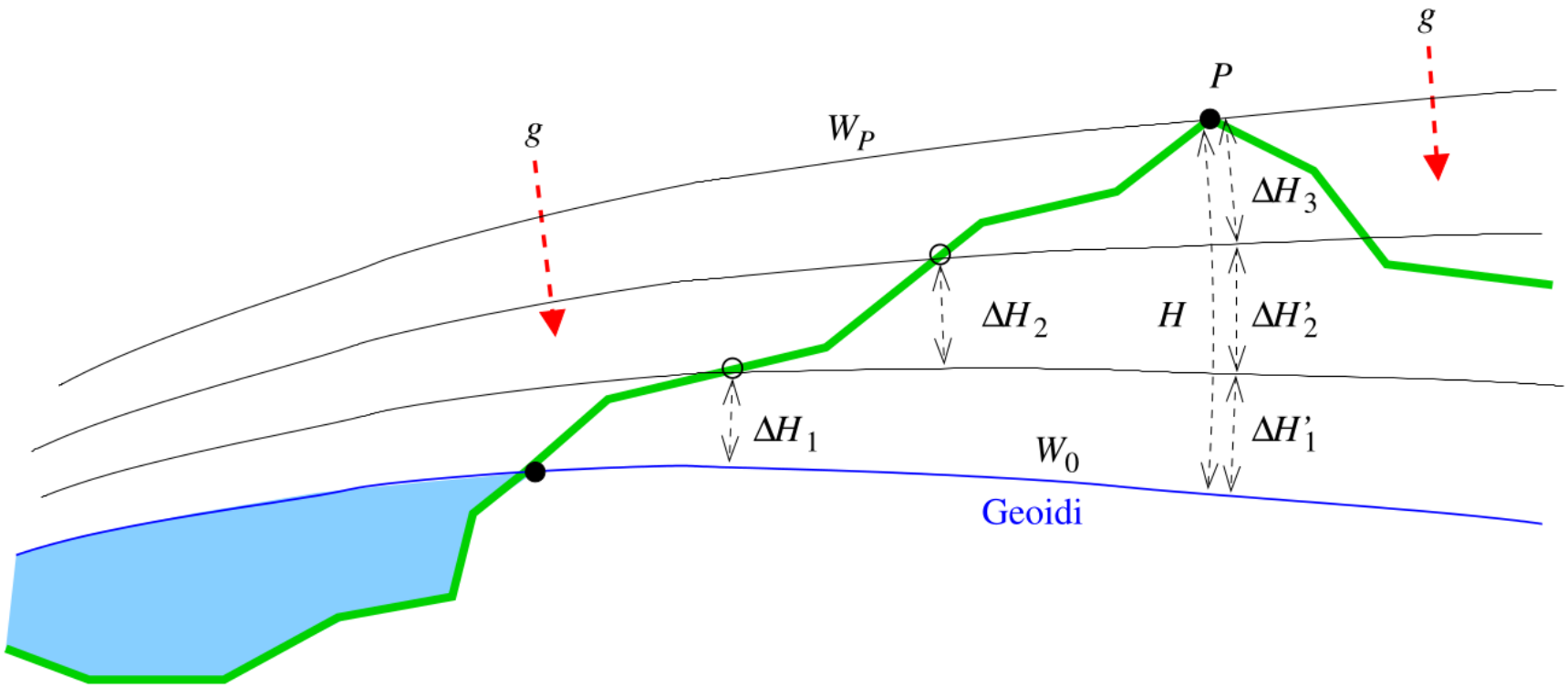
1. Barometrinen korkeusmittaus – edelleen käypä ilmailussa
2. Hydrostaattinen vaaitus: Tanska, Hollanti
3. Viime aikoina on perinteisen vaaituksen lisäksi otettu käyttöön myös trigonometrinen "vaaitus", etenkin maastossa jossa suuret, jyrkät korkeuserot, sekä pitkissä vedenylityksissä
4. Tulevaisuus: GPS-vaaitus?

# Korkeus ja energia




Pisteen energiataso ei riipu matkasta...

# Korkeus $H$ ei ole konservatiivinen!




Integraali $\oint H\,ds \neq 0$! Kuitenkin $\oint g \cdot H\,ds = 0$.

# Korkeus, energia ja aika

Fysiikassa energia liittyy *aikaan* samalla tavalla kuin liikemäärä (impulssi) liittyy paikkakoordinaatteihin.

Yleisessä suhteellisuusteoriassa aika-avaruuden metrinen tensori $g_{\mu\nu}$ on $4 \times 4$ kokoinen matriisi, jonka elementti $g_{00}$ kuvaa ajan kulkunopeutta. Aika-avaruuden paikkaerovektori $d\mathbf{u}$ koostuu aikakomponentista $dt = du^0$ ja paikkakomponenteista $dx = du^1, dy = du^2, dz = du^3$, ja ”Pythagoras”, eli vektorin pituus, on litteässä aika-avaruudessa

$$||d\mathbf{u}||^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = \sum_{\mu=0}^{3} \sum_{\nu=0}^{3} g_{\mu\nu} du^\mu du^\nu .$$

Siis: $g_{00} = c^2$.

# Korkeus, energia ja aika (II)

Painovoimakentän sisällä sen sijaan on

$$g_{00} = c^2 - W,$$

jossa $W$ on Maan painovoimapotentiaali.

Tämä merkitsee, että Maan pinnalla (Maan mukana pyörivässä koordinaatistossa) kellot kulkevat hieman hitaammin kuin vapaassa avaruudessa. Siis: geopotentiaalia voitaisiin mitata tarkan *kellon* avulla.

Tarvittava suhteellinen tarkkuus $c^{-2}$ eli $1 : 10^{17}$ geopotentiaalin yhden SI-yksikön (n. desimetrin) tarkkuutta varten. Nykyteknologia ei vielä riitä...

# Ortometriset ja normaalikorkeudet, geoidi

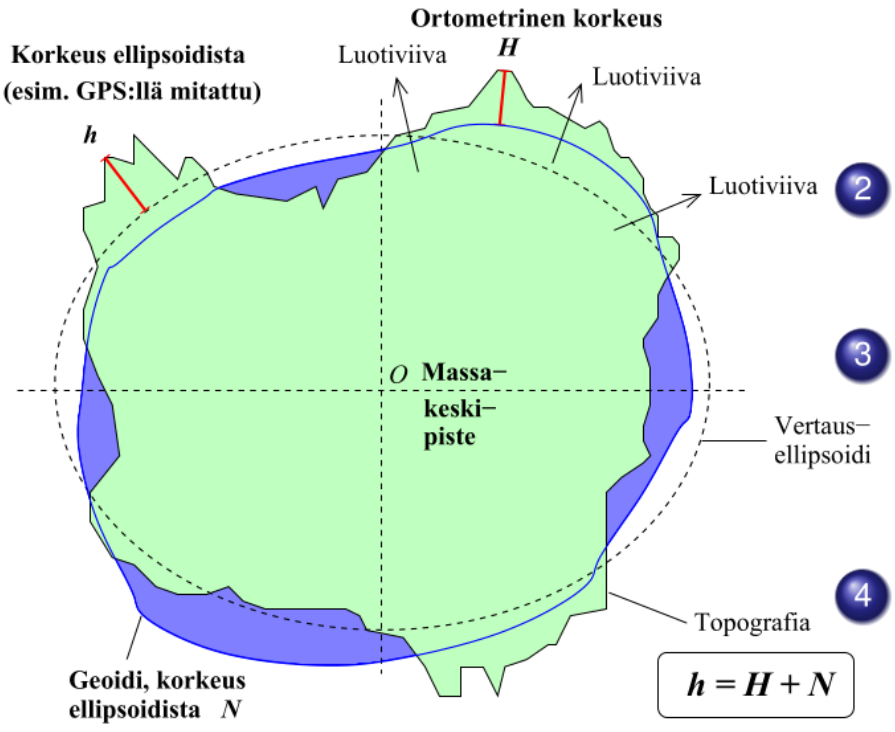
+ Ortometriset korkeudet $H$ ovat fysikaalisia
- Kuitenkin niiden tarkka laskenta vaatii tietoa maaston muodoista ja tiheyksistä

  Voidaan käyttää ”konventionaalista” arvoa $2.67\,\mathrm{g\,cm^{-3}}$ tai lukea geologiselta kartalta $\rightarrow$ HELMERT-korkeudet

  Vaihtoehto: *normaalikorkeudet* $H^*$
+ Hypoteesivapaita
- Ei-fysikaalisia
- - Sekä ortometrisessa että normaalikorkeudessa vesi voi virrata ”ylöspäin”

  Tieteellisessä työssä käytetään aina *geopotentiaalilukuja*.

# Korkeudet ja geoidi




1. geoidi tai kvasigeoidi: $h = N + H = \zeta + H^*$, jossa $H$ ortometrinen, $H^*$ normaalikorkeus, $N$ geoidin, $\zeta$ kvasigeoidin korkeus (”korkeusanomalia”)
2. Geoidimallin laskenta vaatii maaston tiheyshypoteesia
3. ”Kvasigeoidikartta” korreloi maaston kanssa; esitys tiheällä hilalla etenkin vuoristossa
4. GPS antaa $h$; joko $N$ tai $\zeta$ laskettava huolellisesti ”klassisten” (vaaittujen) korkeuksien kanssa yhteensopivalla tavalla, käyttäen samaa maastomallia ja -hypoteesia.

# Geoidin tarkkuudesta

1. Tällä hetkellä Suomessa FIN2000 -geoidi: tarkkuus $\pm 5$ cm. Perustuu NKG-geoidiin
2. Tarkkuusbudjetti [lähde: käynnissä oleva MMM-rahoitteinen projekti]:
   - Painovoimapisteistön ja siis lasketun geoidin äärellinen tiheys (5 km): $\pm 3$ mm
   - Aliasing-virhe: ”lyhytaaltoiset” painovoiman vaihtelut tulevat näkyviin pitemmille aallonpituuksille. Luokkaa 6 – 7 mm.
   - Ulkopuolisten alueiden aiheuttama virhe: tällä hetkellä useita senttimetrejä
   - *Parannus* luvassa uusien satelliittipainovoimamissioiden ansiosta. $\rightarrow$ ”senttimetrigeoidi” kaikkialla paitsi aivan rajan/rannikon tuntumassa
3. Ilmagravimetria kannattaa siellä, missä perinteinen gravimetria hankalaa: Itämeri, Jäämeri, Barents.

# Kansalliset vaaitusprojektit

1. Kansalliset vaaitusprojektit modernissa mielessä tapahtuivat useimmissa maissa vasta 1860-1920 -luvussa
2. Eurooppalainen astemittauskonferenssi 1867 päätti korvata trigonometrisen pääkorkeusverkon *tarkkavaaitusverkolla*
3. (BAEYERIN "Mitteleuropäische Gradmessung" oli IAG:n edeltäjä)
4. (Kuriositeetti: Hollannissa perustettiin v. 1879 "Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing", myöhempi Nederlandse Geodetische Commissie)
5. Suomessa ensimmäinen tarkkavaaitus 1892-1910
6. REUN/UELN: *United European Levelling Network*, IAG. Ensimmäinen yhteiseurooppalainen korkeusverkko 1954, Amsterdam-datum, normaalikorkeudet, laskenta geopotentiaaliluvuissa. Lähinnä tieteelliseen käyttöön.

# Vaaitsijan testaaminen

Tässä kerrotun anekdootin kuulin ensimmäistä kertaa Carl CALVERTILTA kun hän oli vielä Ordnance Survey:n leivissä.

Testi, vaaitusretkikunnan johtajan soveltuvuuskoe, oli silmukkavaaitus OS:n toimitalon ympäri.

Kuitenkin työnhakijoiden tietämättä lähtöpyykki, joka samalla oli loppupyykki, nuijittiin tuuman verran syvemmälle kun porukka oli talon toisella puolella...

(Ne jotka saivat aikaan kauniin pienen sulkuvirheen, *eivät* saaneet paikkaa. Tiede on lahjomaton.)

Kiitos mielenkiinnosta!

(Kysymyksiä?)