



Kuva Markku Poutanen

Kuva 1. Nesteheliumin siirto kuljetussäiliöstä suprajohettavaan gravimetriin. Kylmä kaasu aiheuttaa vesihöyryn tiivistymisen pilveksi havaintohuoneeseen.

Heikki Virtanen

Huipputarkkaa painovoiman mittausta

Geodeettisen laitoksen Metsähovin tutkimus- asemalla havaitaan jatkuvasti painovoimassa tapahtuvia muutoksia suprajohtavalla gravimetriellä biljoonasosan tarkkuudella. Mihin tällaisia mittauksia oikein tarvitaan?

GEODEETTISELLÄ LAITOKSELLA on Metsähovissa valikoima mittausrakenteita, joilla voidaan havaita kaikkia geodesian tutkimia perusuureita: Maan asentoa ja pyörimistä maan muotoa ja maankuoren liikkeitä, sekä painovoimaa ja sen muutoksia. Näiden avulla voidaan määrittää ne vertausjärjestelmät, joita tarvitaan koordinaatistojen luontiin ja ylläpitoon. Metsähovissa on erityisesti painovoimatutkimuksiin suunniteltu laboratorio. Laboratoriossa on kaksi havaintohuonetta, joista toinen on tarkoitettu suprajohtavalle gravimetrielle ja toinen painovoiman absoluuttimittauksiin.

Suprajohettava gravimetri on ollut yhtäjaksoisesti toiminnassa elokuusta

1994 lähtien ja sillä on saavutettu yksi pisimmistä havaintosarjoista maailmassa. Laite on numeroltaan T020 ja sen valmistaja on San Diegossa oleva suprajohtaviin gravimetreihin erikoistunut yhtiö GWR. Vastaavia laitteita on toiminnassa eri puolilla maailmaa tällä hetkellä 24 kappaletta Etelämantereen ja Huippuvuorten välillä.

Metsähovissa on suprajohtavan gravimetrien lisäksi myös Suomen painovoiman peruspiste, joka on mitattu absoluuttisella gravimetriellä. Asema on ainoa laatuaan pohjoismaissa ja se on yksi geodeettisen maailmanverkon peruspisteistä. Vastaavia asemia on maailmassa vain kuusi joissa on yhtä monipuolinen laitteisto.

Metsähovin pohjoinen sijainti on myös tärkeä sekä maailmanverkon että satelliittien ratamittausten kannalta. Metsähovin mittaukset ovat mukana useissa kansainvälisissä geodesian projekteissa. Suprajohtava gravimetri on mukana kansainvälisen geodeettisen yhteisön (IAG) GGP-projektissa (Global Geodynamic Project).

Gravimetri 200 litran termospullossa

Absoluuttigravimetrillä havaitsemme painovoimaa muutaman miljardisosan tarkkuudella. Laite perustuu pudotuskokeeseen, jossa mitataan putoavan testikappaleen kiihtyvyyttä ja tätä kautta saadaan painovoiman absoluuttinen arvo. Suprajohtavalla gravimetrillä on noin tuhat kertaa parempi erotuskyky kuin absoluuttigravimetrillä, mutta sillä mitataankin vain painovoimassa tapahtuvia muutoksia. Emme siis tiedä tarkkaa numeroarvoa. Siksi onkin tärkeää että molempia laitteita voidaan käyttää samassa paikassa. Absoluuttigravimetri antaa mittakaavan suprajohtavalle gravimetrille.

Suprajohtavan gravimetrin toimintaperiaate on samankaltainen kuin perinteisellä jousivaa'alla, missä jousen venymän avulla voidaan määrittää painovoiman arvo. Suprajohtavassa gravimetrissä jousivoima on korvattu sähkömagneetilla. Testimassa on 2,5 cm:n läpimittainen ontto metallipallo, joka leijuu magneetikentässä. Pallo ja sähkömagneetin käämi on tehty niobiumista. Tämä metalli on suprajohtava kun lämpötila on alle 9 astetta absoluuttisesta nollapistestä (-273° C). Suprajohtavuus tarkoittaa sitä että sähkövastus on nolla.

Metsähovin suprajohtavan gravimetrin sähkömagneettiin tuotiin virta 13 vuotta sitten, jonka jälkeen yhteys ulkomaailmaan katkaistiin. Sähkömagneetissa kiertää siis sama sähkö ikuisesti. Koska mitään ei muuteta ulkoapäin, on laite äärimmäisen vakaa ja herkkä. Testimassana olevan pallon paikka muuttuu ainoastaan painovoiman muuttuessa. Pallon nousu tai lasku havaitaan, josta voidaan suoraan laskea painovoiman muutos.

Jotta gravimetrin toimintalämpötila olisi riittävän alhainen, se on jäähdytetty nestemäisellä heliumilla. Laite on kokonaisuudessaan noin 140 cm korkea termospullu. Itse gravimetrisia sijaitsee laitteen pohjalla, lähellä lattian tasoa. Nelinkertaisilla seinillä varustettu säiliö sisältää 200 litraa nestemäistä heliumia, jonka lämpötila on -269° C eli neljä astetta absoluuttisen nollapisteen yläpuolella.

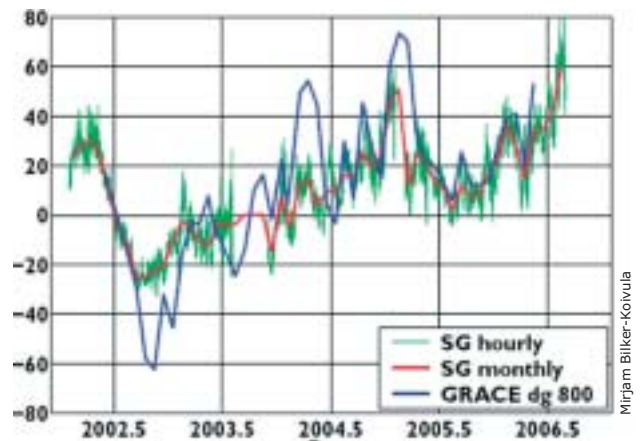
Termospullon korkki on samalla jäähdytyslaite, joka pyrkii pitämään sisällön mahdollisimman kylmänä. Siitä huolimatta heliumia kiehuu vähitellen, joten nesteheliumia on lisättävä noin kymmenen kuukauden välein. Kuvassa 1 on nesteheliumin täyttö meneillään. Kylmä kaasu aiheuttaa pilvimuodostelman laboratoriohuoneeseen.

Maailman tarkimmat painovoimamittaukset

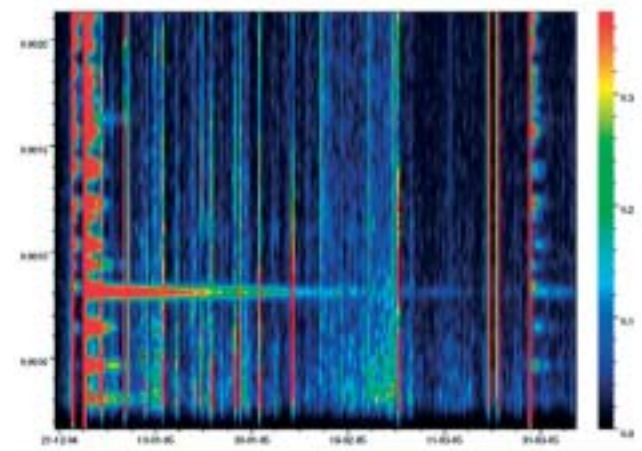
Suprajohtava gravimetri on ollut yli kaksi vuosikymmentä erinomaisen sovelias painovoiman vaihteluiden tutkimukseen. Kuun ja auringon vetovoima vaikuttaa samalla lailla kiinteään maahan kuin valtameriinkin. Maankuori nousee ja laskee vuorovesivoimien vaikutuksesta. Vuorokautisen jaksottaisen liikkeen laajuus on Helsingissä suurimmillaan 0,25 m. Tätä ei voi havaita muuten kuin tarkoilla painovoimamittauksilla. Vuoksen vaikutus on vähemmän kuin miljoonasosa koko painovoimasta.

Eri puolilla maailmaa olevien suprajohtavien gravimetrien avulla voidaan tutkia maapallon sisärakennetta. Tämän ns. kiinteän maan vuoksi onkin suurin painovoimaaan vaikuttava vaihtelu. Myös ilmanpaine aiheuttaa painovoiman ajallista vaihtelua, mutta sen vaikutus on vain noin kymmenesosa vuoksen aiheuttamasta muutoksesta. Nämä vaihtelut tunnetaan jo niin hyvin, että ne voidaan poistaa havainnoista. Siten päästään tutkimaan vielä heikompia ilmiöitä.

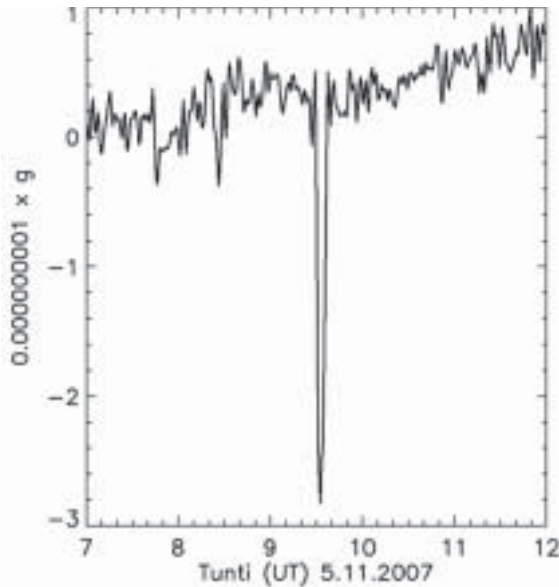
Itämeren pinnan korkeuden vaihtelu vaikuttaa myös maanpinnan korkeuteen. Kohonnut vedenpinta painaa maanpintaa alaspäin. Havainnoista on voitu johtaa että metrin merenkorkeuden muutos Suomenlahdessa vaikuttaa noin 8 mm maan korkeuteen Metsähovissa, vaikka Metsähovi on noin 15 km:n päässä merestä. Maanpinnan painuminen lähentää gravimetria maapallon keskipisteeseen. Kolmen millimetrin muutos korkeudessa aiheuttaa yhden miljardisosan muutoksen painovoimaan. Tämän kuormituskorjauksen huomioon ottaminen vaikuttaa



Kuva 2. Suprajohtava gravimetri Metsähovissa verrattuna GRACE-satelliitin havaintoihin. Pystyakselina on painovoiman muutos (0,00000001 × g). Luku 20 vastaa absoluuttigravimetrin tarkkuutta. Vaaka-akseli on aika vuosina. Vihreällä on merkitty suprajohtavan gravimetrin havainnot ja punaisella on vastaava kuukausikeskiarvo. GRACE-satelliittitulokset ovat sinisellä.



Kuva 3. Sumatran suuren maajäristyksen (26. joulukuuta 2004) aiheuttama maan värähtely. Vaaka-akselilla on aika 21.12.2004–5.4.2005. Pystyakselina on värähtelyn taajuus hertseinä. Maan säteen muuttuminen 20 minuutin jaksolla näkyy hitaasti vaimenevana vaakasuorana palkkina. Muut aaltoliikkeet vaimenevat paljon nopeammin. Punainen kuvaa suurinta vaihtelua, sininen heikompaa. Itse maanjäristyksen ajanhetki näkyy vasemmassa reunassa olevana pystysuorana punaisena palkkina.



Kuva 4. Artikkelin kirjoittajan massan vaikutus maan painovoimaan.

mittaustulosten tarkkuuteen.

Metsähovissa on havaittu myös selvä yhteys paikallisen pohjaveden pinnan ja painovoiman vaihteluiden välillä. Vaikutus on samaa luokkaa mikä on absoluuttimittausten tarkkuus. Tällä tiedolla voidaan parantaa absoluuttimittausten tarkkuutta. Metsähovin suprajohdavan gravimetrin ja maata kiertävien painovoimasatelliittien kuten esimerkiksi GRACEn, havaintojen välillä on myös havaittu olevan selvä yhteys (kuva 2). Nämä satelliitit havaitsevat mm. vesivarantojen vaihteluista syntyvät vähäiset painovoiman muutokset. Tästä onkin tullut uusi tutkimusalue tarkoille maanpäällisille painovoimahavainnoille. Metsähovin suprajohdavaa gravimetria käytetään Suomen Akatemian rahoittamassa tutkimusprojektissa Suomen ja Euroopan vesivarantojen vaihteluiden tutkimiseen.

Suprajohdava gravimetri toimii myös seismometrinä, jolla voidaan tutkia hyvin hidaskäyttöisiä maanjäristysaaltoja toisin kuin tavallisella seismometrillä. Suuren maanjäristyksen synnyttämä iskuaalto saa koko maapallon soimaan kellon lailla, tosin hyvin matalilla taajuuksilla, jotka ovat muutamista minuuteista kymmeneen minuutteihin. Taajuudet ja värähtelyjen suunnat riippuvat maapallon sisärakenteesta. Kuvassa 3 nähdään tällainen ilmiö. Sumatralla tapahtui joulukuussa 2004 suuri maanjäristys. Tämän seurauksena koko maapallo alkoi värähdellä. Yksi muoto oli säteen suuntainen värähtely 20 minuutin jaksolla. Se havaittiin Metsähovissa vielä noin neljä kuukautta järistyksen jälkeen. Värähtelyn synnyttämä

maankuoren korkeudenmuutos kuukausi järistyksen jälkeen oli 0,02 mm, joten suprajohdavalla gravimetrillä voidaan havaita äärimmäisen pieniä maan liikkeitä.

Maailman kallein henkilövaaka

Suprajohdava gravimetri soveltuu myös henkilövaaksi, joskin kalliiksi sellaiseksi. Kuvassa 4 on suprajohdavan gravimetrin rekisteröinti 5. marraskuuta 2007 kello 7–12. Artikkelin kirjoittaja on saapunut laitteen viereen pieneksi hetkeksi. Ihmisen massa on testimassan yläpuolella ja näin ollen vetää sitä ylöspäin. Tällöin maan painovoiman vaikutus pienenee ja rekisteröinnissä näkyy muutos, joka on vain kymmenesosa siitä mitä absoluuttigravimetrillä voidaan havaita. Muutoksesta voidaan laskea yksinkertaisella mallilla henkilön massa, joka tästä havainnosta laskettuna on noin 80 kg. Tämä pitäneekin paikkansa 5 %:n tarkkuudella. Ehkä tavallinen henkilövaaka kuitenkin olisi tähän tarkoitukseen käyttökelpoisempi ja ainakin paljon halvempi.

Kirjoittaja on filosofian tohtori ja toimii erikoistutkijana Geodeettisen laitoksen geodesian ja geodynamiikan osastolla. Sähköposti heikki.virtanen@fgi.fi.

Runsasti yksityiskohtia sisältävän 1700-luvun barokkikirkon mittaus on äärimmäisen vaativa tehtävä. Laserkeilauksella työ sujuu huomattavasti perinteisiä menetelmiä nopeammin ja tarkemmin.

Jarmo Jokikokko

Laserkeilauksen käyttö yleistyy nopeasti rakennusten kolmiulotteisessa mallintamisessa helikopterista tehtävän maastomallinnuksen ohella. Latvialaisen Liepajan koristeellisen barokkikirkon laserkeilaus on hyvä esimerkki.