

Vuoden 2001 alusta Geodeettisessa laitoksessa aloitti kaksi uutta osastoa. Mitä näiden osastojen toimintaan sisältyy? Mikä on geodesian rooli nyky-yhteiskunnassa? Vieläkö geodeetteja tarvitaan? Seuraavassa geodesian ja geodynamiikan osaston johtaja, prof. Markku Poutanen ja navigoinnin ja paikannuksen osaston johtaja, prof. Ruizhi Chen kertovat meneillään olevista tutkimuksista ja osastojensa tulevaisuuden suunnitelmista.

Markku Poutanen ja Ruizhi Chen

GEODEETTINEN LAITOS

– PERINTEITÄ JA UUSINTA TUTKIMUSTA

Geodeettinen laitos on toiminut koko itsenäisen Suomen ajan Maa- ja metsätalousministeriön alaisena tutkimuslaitoksena. Ensimmäinen puoli vuosisataa oli maamme geodeettista perusmittausta kolmioverkkoineen ja tarkkavaaituksineen. Vuosikymmenien saatossa tehtävät ovat muuttuneet. Kolmiomittaus on vaihtunut satelliitteihin ja toiminnot ovat monipuolistuneet niin, että nykyinen Geodeettinen laitos on laaja-alainen kartastoalan tutkimuslaitos.

Geodesia on aina ollut hyvin kansainvälinen tiede. Yhteydet sekä naapurimaihin että kansainvälisiin tutkimusryhmiin ovat kiinteät. Kotimaisia yhteistyötahoja ovat mm. Maanmittauslaitos, useat valtion tutkimuslaitokset, kunnat, kaupungit ja yksityiset yritykset.

Geodeettisessa laitoksessa on neljä osastoa, geoinformatiikan ja kartografi-an, kaukokartoituksen ja fotogrammetri-an, geodesian ja geodynamiikan sekä navigoinnin ja paikannuksen osastot. Vuoden 2001 alussa perustettiin geodesian ja geodynamiikan osasto yhdistämällä geodesian osasto ja painovoimaosasto ja uutena toimintansa aloittanut navigoinnin ja paikannuksen osasto.

Vakinainen henkilöstömäärä on n. 45. Noin 90 % rahoituksesta tulee valtion budjetista, loppu mm. Suomen Akatemian, TEKESin ja EU:n tutkimusrahoituksen. Lakisäateisiin tehtäviin kuuluvat mm. Suomen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien ylläpito, tarkkavaaitukset, valtakunnallinen painovoimaverkko sekä niihin liittyvät tieteelliset tutkimukset.

Toimintansa aloittaneessa navigoinnin ja paikannuksen osastossa on tällä hetkellä vain osastonjohtaja, mutta toiminta laajenee lähivuosina voimakkaasti. Geodesian ja geodynamiikan osastos-

sa on 13 tutkijaa ja vuosittain parikymmentä tilapäistä kenttätöapulaista.

Geodesian ja geodynamiikan osaston toimialue käsittää niin perinteisiä geodeettisia mittauksia kuin uusimpia avaruusgeodeettisia menetelmiä. Nykyiset työt voidaan jakaa viiteen eri osaamisalueeseen: koordinaattijärjestelmät ja korkeus, painovoima, geodynamiikka, metrologia ja avaruusgeodesia.

EUREF-FIN – valtakunnan uusi koordinaattijärjestelmä

Koordinaattijärjestelmät, korkeus mukaan lukien, on merkitykseltään geodesian ja geodynamiikan osaston tärkein tutkimusalue. Kyseessä ovat koko maata koskevat ratkaisut, joiden vaikutus ulottuu vuosikymmenien päähän. GPS on luonut tarpeen uudelle satelliittipohjaiselle koordinaatistolle, joka on mahdollisimman lähellä GPS:n käyttämää WGS-84 -järjestelmää. Euroopanlaajuinen järjestelmä tunnetaan nimellä ETRS-89 (European Terrestrial Reference System 1989). Tähän järjestelmään mitattujen kiintopisteiden koordinaatit eivät muutu ajan mukana, kuten globaaleissa järjestelmissä, joissa kiintopisteet liikkuvat toistensa suhteen mannerlaattojen mukana. ETRS:n realisoivat kiintopisteet ovat yksinomaan Euraasian mannerlaattalla.

ETRS-89-realisaatioita ovat mm. Euroopan laajuinen EUREF-89 ja useat kansalliset realisaatiot, kuten Geodeettisen laitoksen Suomeen luoma EUREF-FIN. Kansallisten realisaatioiden väliset erot ovat korkeintaan muutamia senttimetrejä, joten hyvällä syyllä voimme sanoa Euroopassa olevan yhden yhtenäisen koordinaattijärjestelmän, jonka kansallisten realisaatioiden erot eivät käytännössä ole merkitseviä.



Suomen kiinteän GPS-verkon 12 asemaa (mustat ympyrät), EUREF-FIN-koordinaatiston määrittelevät sata I-luokan kolmiopistettä (mustat kolmiot) ja 350 tihennyspistettä (harmaat ympyrät).



**Painovoimamittausta Etelämantereella.
Kuva M. Ollikainen / Geodeettinen laitos.**

Suomen uuden EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän perustana on 12 kiinteän GPS-aseman verkko. Neljä pisteistä on mukana maailmanlaajuisessa järjestelmässä, jonka ratkaisut saadaan viikoittain. Vuosina 1996–1997 Geodeettinen laitos mittasi lähinnä I-luokan kolmioverkon pisteistä muodostuvan 100 pisteen verkon. Tämä on EUREF-FIN-koordinaatiston määrittelevä pisteistö. Vuosina 1998–1999 mitattiin 350 käyttö pisteen tihennys, joka sidottiin sadan pisteen verkkoon. EUREF-FIN on nyt helposti siirrettävissä mihin tahansa uuteen GPS:llä tehtävään paikalliseen mittaukseen.

Muunnos esimerkiksi nykyisin käytettävän ksj:n ja EUREF-FINin välille voidaan laskea mittaamalla muutamia yhteisiä pisteitä ja laskemalla näiden avulla muunnoskertoimet kyseiselle alueelle. Jos vaatimattomampi tarkkuus (desimetri–metri) riittää, voidaan käyttää laajempaa aluetta tai jopa koko maata varten valmiiksi laskettuja muunnoskerroimia. Absoluuttisen tarkkaa muunnosta ei yksinkertaisesti ole mahdollista laskea, sillä vanhan verkon homogeenisuus ja sisäinen tarkkuus on kertaluokkaa tai kahta heikompi kuin mihin GPS-tekniikalla nykyisin päästään. Muunnos paljastaakin armotta vanhan verkon virheet ja mittauserpätkyyden.

Korkeusjärjestelmä uudistuu

Maannousu muuttaa korkeuksia. Vuoden 1960 jälkeen Merenkurkun–Perämeren rannikolla nousu on ollut lähes 40 senttimetriä merenpintaan nähden. Jo tämä on riittävän suuri käytännön syy korkeusjärjestelmän uudistamiseen. Uudistamispaiteita tulee myös ulkoapäin, ennen kaikkea yhtenäisen korkeusjärjestel-

män suuntaan. Jokaisella maalla on ollut oma korkeusjärjestelmänsä. Korkeudenmääritys GPS:n avulla on yhä tavallisempaa, ja tapahtuu usein kansallisista rajoista riippumattomasti. Kansallisesta järjestelmästä toiseen siirtyminen lisää virhetulokinnan riskiä.

Suomen korkeusjärjestelmä perustuu tarkkavaaituksen avulla mitattuun kiintopisteistöön. Vuonna 1978 Geodeettinen laitos aloitti yli Suomen ulottuvan kolmannen tarkkavaaituksen. Kesällä 2002 saadaan mitatuksi viimeiset linjat Lapissa. Neljännesvuosisadan kestäneen suururakan päätteeksi voidaan laskea uudet tarkennetut maannousuarvot ja luoda uusittu korkeusjärjestelmä.

Nykyisen N60-järjestelmän nollapisteenä on Helsingin keskimääräinen vedenkorkeus vuonna 1960. Uudessa järjestelmässä tämäkin tulee vaihtumaan. Kovin dramaattisia muutoksia ei kuiten-

kaan ole odotettavissa; maannousun aiheuttamat korkeuslukemien muutokset ovat nollapisteen vaihdoksen vaikutusta huomattavasti suurempia. Mahdolliset EU-direktiivikään eivät tuo apua korkeusjärjestelmämme vanhenemiseen: aina muutaman vuosikymmenen välein joudumme maannousun takia päivittämään korkeuslukemat todellisuutta vastaaviksi.

Geoidi on merenpinnan laskennallinen jatke mannerten kohdalla, ja se voidaan määrittää painovoimahavainnoista. GPS-korkeudenmäärityksen myötä myös geoidimääritys on tullut tärkeäksi. Vaaituksella saadaan suoraan ”korkeuksia merenpinnasta”, mutta GPS:llä saamme korkeudet Maata likimain kuvaavasta vertausellipsoidista. Uusin Geodeettisessa laitoksessa laskettu geoidimalli FIN2000 antaa suoraan N60-korkeuden, kun mallin mukainen geoidinkorkeus



**EUREF-järjestelmän ensimmäiset perustavat mittaukset. Siirrettävä VLBI-laitteisto Metsähovin Sjökillan pisteellä v. 1988.
Kuva M. Poutanen / Geodeettinen laitos.**

vähennetään GPS:n antamasta ellipsoidikorkeudesta.

Kymmeniätuhansia painovoimapisteitä

Painovoimahavaintoja tarvitaan paitsi geoidin määrittämisessä, myös geodynaamiikan (mm. maannousun mekanismin) tutkimuksessa ja esimerkiksi malmivarojen kartoittamisessa. Geodeettisessa laitoksessa on kolme erityyppistä painovoiman mittaukseen tarkoitettua laitetta: jousivoimaan perustuvia helposti siirrettäviä relatiivigravimetrejä, putoamiskiihtyvyyttä suoraan mittaava absoluuttigravimetri ja erittäin herkkä suprajohdava gravimetri.

Siirrettävin gravimetrein on puolen vuosisadan aikana mitattu yli maan ulottuva, nykyisin yli 30 000 pistettä käsittävä painovoimaverkko, jossa pisteet ovat keskimäärin n. viiden kilometrin välein. Joillakin alueilla verkkoa on tihennetty niin, että niillä on 1–2 pistettä neliökilometriä kohti.

Absoluuttigravimetrillä painovoimapisteitä on mitattu lähes kahteenkymmeneen maahan; pohjoisin paikka on Huippuvuorilla ja eteläisin Etelämantereella. Absoluuttigravimetri on ainoa laite, jolla putoamiskiihtyvyyden arvo voidaan suoraan mitata, muut gravimetrit havaitsevat vain eroja tai muutoksia.

Metsähovin tutkimusasemalle sijoitettu suprajohtava gravimetri on eräs tarkimpia mittalaitteita, sillä se pystyy seuraamaan muutoksia, joiden suuruus on vain kymmenesmiljardiosia itse ilmiön suuruudesta. Laitteessa on nesteheliolla suprajohtavaan tilaan saatu käämi, jossa kiertää muuttumaton sähkövirta. Virran synnyttämässä magneettikentässä leijuu pieni pallo, jonka paikkaan vaikuttaa vain painovoiman muutokset. Muutaman metrin päässä seisovan ihmisen tai rakennuksen katolle sataneen lumen aiheuttama vetovoima näkyy gravimetrin havainnoissa. Huippuherkkä laite on korvaamaton painovoiman vaihteluiden tutkimuksessa.

kompien elektronisten etäisyysmittarien kalibroinnissa. Viiva mitataan aina muutamien vuosien välein **Yrjö Väisälän** kehittämällä valkoisen valon interferenssiin perustuvalla komparaattorilla. Nummelan 864-metrinen viivan pituus voidaan palauttaa metrin määritelmään n. 0,08 mm tarkkuudella, johon millään muulla menetelmällä ei päästä kenttäolosuhteissa näin pitkällä matkoilla.

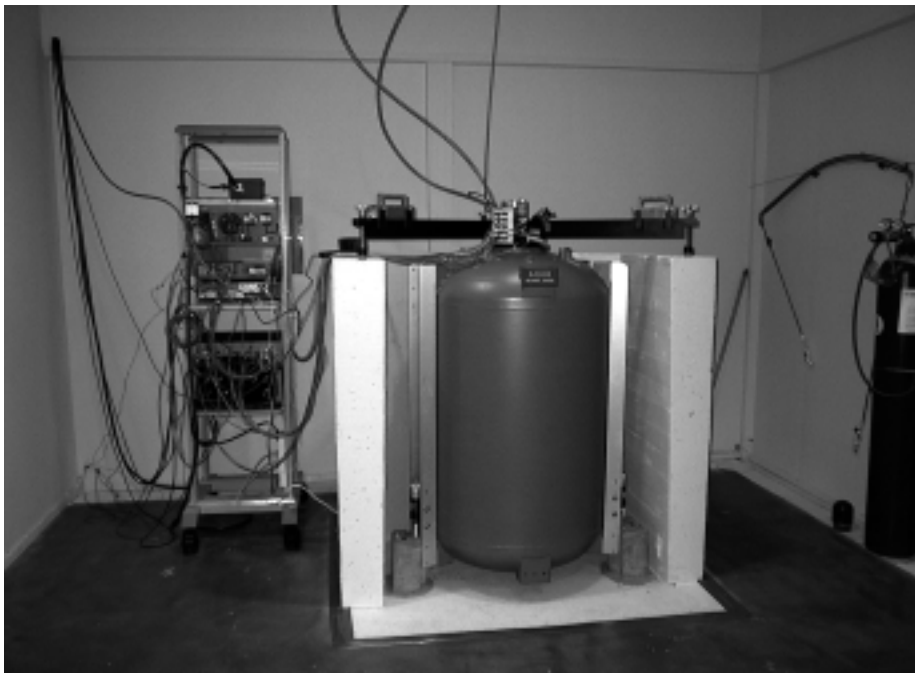
Metrologiaan liittyy myös laitoksessa rakennettu automaattinen vaaituslattojen kalibrointiin tarkoitettu laserinterferometriin perustuva komparaattori. Sillä voidaan kalibroida niin perinteiset kuin uudet digitaalisten vaaituskoneiden kanssa käytettävät viivakoodilatat. Parhaillaan on kehitteillä digitaalivaaituskoneille tarkoitettu systeemikalibrointi, jolloin vaaituskone voidaan kalibroida yhdessä lattojen kanssa.

Maanpinnalta avaruuteen

Metsähovin tutkimusasemalla on suprajohtavan gravimetrin lisäksi mm. satelliitilaser. Laserilla ammutaan muutaman kymmenen pikosekunnin kestoisia voimakkaita laserpulsseja kohti prismaheijastimin varustettuja satelliitteja. Takaisinheijastuneet pulssit havaitaan metrin läpimittaiseen kaukoputkeen liitetyllä ilmaisimella. Pulssin kulkuajasta saadaan satelliitin etäisyys lasketuksi parin senttimetrin tarkkuudella. Havainnot lähtevät kansainväliseen laskentakeskukseen ja niitä käytetään satelliittien radan määrittämiseen, geodynaamiikan tutkimukseen ja globaalien koordinaatistojen ylläpitoon. Esimerkiksi painovoimaa mittaava CHAMP-satelliitti kuuluu Metsähovin laserin havainto-ohjelmaan.

Parhaillaan on rakenteilla VLBI-laitteisto yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun Metsähovin radiotutkimusaseman kanssa. VLBI on radioaaltoihin perustuva interferometrinen menetelmä, jossa eri mantereilla olevien radioteleskooppien välimatkat voidaan mitata senttimetrin tarkkuudella. Järjestelmä on satelliiteista riippumaton, sillä havaintokohteina ovat satojen miljoonien valovuosien päässä olevat voimakkaat pistemäiset radiokohteet, kvasaarit. VLBI-havaintoja tarvitaan mm. globaalien koordinaatistojen määrittelyssä ja ylläpidossa sekä mannerlaattojen liikkeiden seuraamisessa.

Parhaillaan Maan painovoimakenttää kartoittaa CHAMP-satelliitti ja vuoden 2001 lopussa lähtee GRACE omalle 5-vuotiselle matkalleen. Vuoden 2005 paik-



Metsähovin suprajohtava gravimetri.

Kuva H. Virtanen / Geodeettinen laitos.

Kansallinen mittanormaalitoiminta

Painovoima liittyy myös metrologiaan, sillä Geodeettinen laitos on putoamiskiihtyvyyden kansallinen mittanormaalilaboratorio. Mittanormaalia pidetään yllä absoluuttigravimetrin avulla.

Laitos on myös pituuden kansallinen mittanormaalilaboratorio. Nummelan normaaliperusviivan kautta Suomen I-luokan kolmioverkkoon ja siten myös karttoihin on aikanaan saatu yhtenäinen, metrin määritelmään palautuva mittakaava. Nykyisin viiva palvelee kaikkein tar-

keilla lähetetään vielä kolmaskin painovoimakenttää mittaava satelliitti, GOCE. Äskettäin Geodeettinen laitos on hyväksytty CHAMP-havaintojen käyttäjäksi.

Eräänä tavoitteena on globaali painovoimakentän malli, jonka tarkkuus on yhtä hyvä kuin nykyisten tarkimpien maanpäällisten havaintojen. Pintahavaintoja satelliitit eivät toki kokonaan korvaa, sillä satelliiteista käsin ei nähdä sataa kilometriä pienempiä painovoimakentän yksityiskohtia. Ehkäpä tätä kautta toteutuu kansainvälisesti kuuluisimman suomalaisen geodeetin **Weikko Heiskasen** yli puoli vuosisataa vanha suunnitelma yhtenäisestä globaalista korkeusjärjestelmästä. Tähän saakka havaintojen tarkkuus on monissa maailman kolkissa ollut liian huono suunnitelman toteuttamiseksi. Samoista satelliitihavainnoista selvinnee myös, mitä napajäätiköille tapahtuu, kuinka merenpinta nousee tai mikä on sähän vaikuttavan El Niñon syntymekanismi.

Navigointi ja paikannus – Geodeettisen laitoksen uusin toimialue

Navigoinnin ja paikannuksen osaston toimialueeseen kuuluvat satelliittipohjainen reaaliaikainen paikannus, karttojen ja satelliittipaikannuksen avulla tehtävä navigointi ja näiden tieteellinen tutkimus, alan uusien mahdollisuuksien ja innovatiivisten sovellusten tutkimus ja kansainvälisiin yhteishankkeisiin osallistuminen.

Osaston projektit jakautuvat kolmeen luokkaan: perustutkimus, tieteelliset tutkimusprojektit ja innovatiiviset sovellukset. Maa- ja metsätalousministeriön esittämien tehtävien lisäksi perustutkimukseen kuuluvat uusien navigointi- ja paikannustekniikoiden tuominen navigoinnin käyttäjille ja suomalaiselle teollisuudelle. Tällaisia ovat mm. GPS:n (*Global Positioning System*) modernisointi, EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) ja GALILEO (Euroopan Unionin tuleva navigointisatelliittihanke).

Tieteelliset projektit keskittyvät navigoinnin ja paikannuksen teoreettisiin perusteisiin, kuten uusiin paikannusalgoritmeihin ja navigointitekniikoihin. Uusien menetelmien ja innovatiivisten sovellusten luomisessa käytetään hyväksi uutta ja tulevaa tekniikkaa.

Tulevaisuudessa osaston tutkimusalueisiin kuuluvat myös globaali siviilipaikannusjärjestelmä GNSS (*Global Navigation Satellite System*), inertiaipaikan-

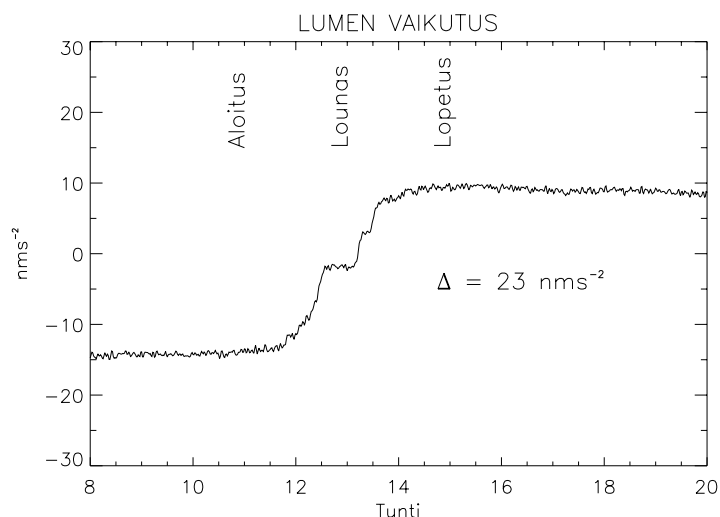
nus INS (*Inertial Navigation System*), verkkopaikannus, älykäs autonavigointijärjestelmä, henkilökohtainen navigointi ja reaaliaikaiseen kartoitukseen liittyvä paikannus.

Useita tekniikoita käyttävässä paikannuksessa integroidaan mm. GPS, inertiaipaikannus ja verkkopaikannus. Näihin liittyvien tutkimusprojektien tarkoituksena on yhdistää useilla ilmaisimilla tehtävät havainnot ja näin taata luotettava ajoneuvopaikannus kaikissa olosuhteissa niin sisällä kuin ulkona. Uuden GNSS-tekniikan projektit sisältävät myös GPS:n modernisointiin, EGNOSiin ja GALILEOon liittyvät tutkimukset.

Älykkään autonavigoinnin projektit keskittyvät autonavigaattoreiden uuden sukupolven laitteisiin. Näiden toimintoihin kuuluvat mm. useiden erityyppisten sensoreiden käyttö paikannuksessa, kaksisuuntainen kommunikointi autosta autoon tai autosta tukiasemalle, navigointitietojen online-yhteydet ja mobiiliin multimedian tuki.

Kartastoalan tutkimus kuuluu laitoksen ydinosaamiseen. Reaaliaikainen kartoitusjärjestelmä vaatii navigoinnilta tarkkaa reaaliaikaista paikka- ja suuntatietoa. Tämän tutkimusalueen projektit keskittyvät uusiin reaaliaikaisen kartoituksen tarvitsemiin navigointiratkaisuihin.

Osasto osallistuu yhteistyössä Euroopan Avaruusjärjestön (ESA) kanssa EGNOS-maa-asemaverkoston luomiseen. Tätä varten on käynnistynyt projekti



Rakennuksen katolla olevan lumen vaikutus painovoimaan. Painovoima muuttuu, kun lumi siirtyy katolta maahan. Lumenluojien pitämä ruokatauko näkyy myös selvästi suprajohdavan gravimetrim havainnoista.

H. Virtanen / Geodeettinen laitos.

RIMS-aseman (*Ranging and Integrity Monitoring Station*) perustamiseksi Suomeen, jotta voidaan taata luotettava EGNOS-palvelu koko Suomen alueella. Projekti on juuri alkanut ja jatkuu huhtikuuhun 2004 saakka.

Markku Poutanen on opiskellut tähtitiedettä ja fysiikkaa Helsingin yliopistossa. Hän on suorittanut FT-tutkinnon geofysiikassa Helsingin yliopistossa. Geodeettisen laitoksen tutkijana hän on ollut vuodesta 1985 lähtien ja osastonjohtajaksi hänet nimitettiin toukokuussa 2001. Sähköposti: markku.poutanen@fgi.fi

Ruizhi Chen on suorittanut FK-tutkinnon Wuhanin Teknillisessä korkeakoulussa Kiinassa (*Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*), DI-tutkinnon tietotekniikasta Teknillisessä korkeakoulussa ja FT-tutkinnon geodesiasta Helsingin yliopistossa. Vuosina 1987–1997 hän työskenteli tutkijana Geodeettisessa laitoksessa. Ennen nimittämistään osastonjohtajaksi kesäkuussa 2001 hän työskenteli vuosina 1998–2001 Nokialla ohjelmistosuunnittelijana ja projektipäällikkönä. Sähköposti: ruizhi.chen@fgi.fi

Lisää tietoja Geodeettisen laitoksen sivuilta www.fgi.fi