



NLS
FINNISH GEOSPATIAL
RESEARCH INSTITUTE
FGI

Metsähovin geodeettinen tutkimusasema

Markku Poutanen

Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus

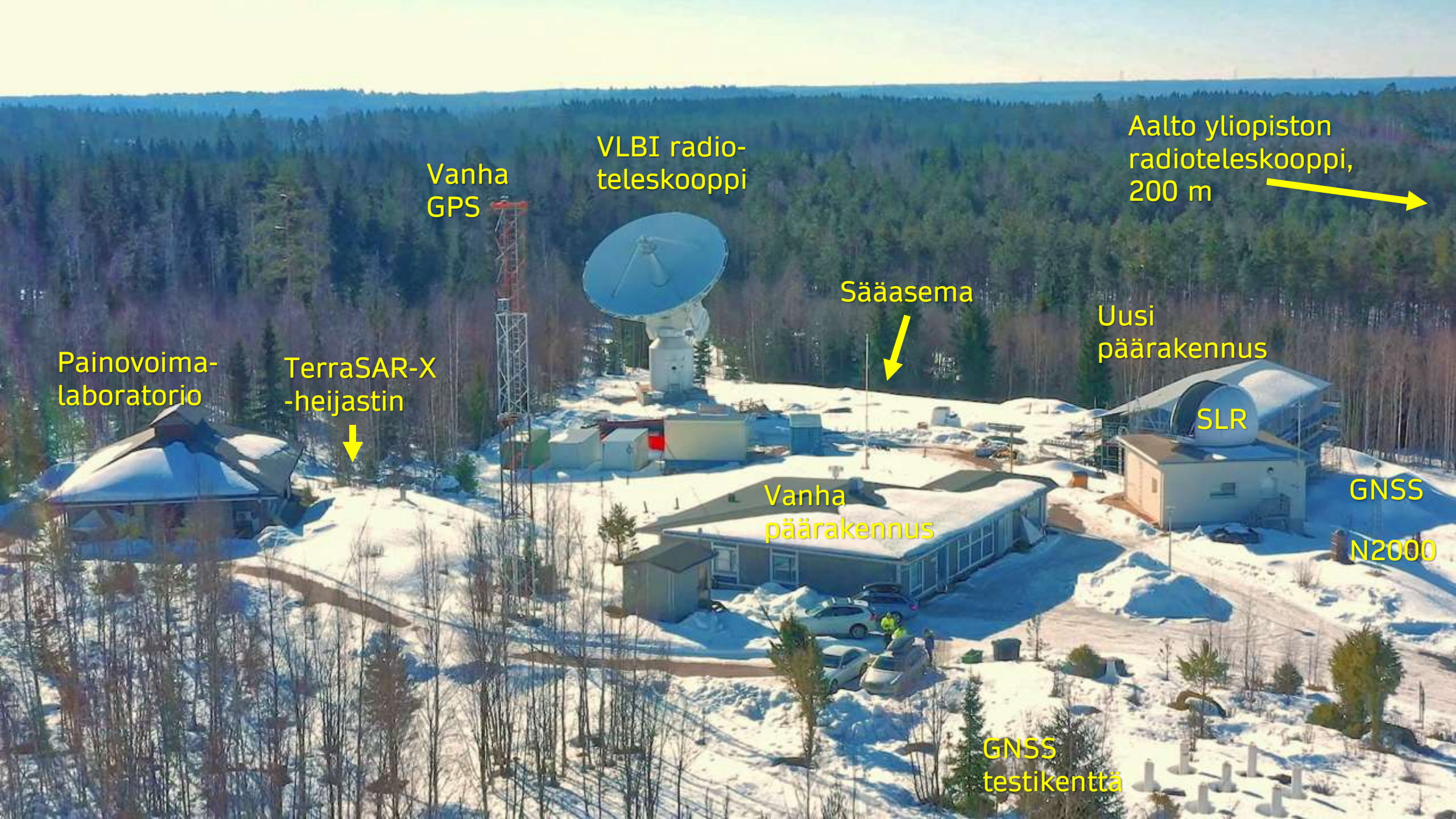
Metsähovin geodeettinen tutkimusasema

Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen Metsähovin geodeettinen tutkimusasema Kirkkonummella on toiminut vuodesta 1975. Se on nykyisin monipuolinen geodeettinen observatorio, jonka havaintoja käytetään koordinaattijärjestelmien ylläpidossa, satelliittien ratojen määrittämisessä, maapallon asennon seuraamisessa ja monissa tutkimushankkeissa.

Metsähovi on kansallisten koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien peruspiste ja yksi maailman geodeettista perusasemista.

Metsähovi on maailmanlaajuisesti ainutlaatuinen pitkän historiansa ja monipuolisen havaintolaitteistonsa vuoksi.





Painovoima-
laboratorio

TerraSAR-X-
heijastin

Vanha
GPS

VLBI radio-
teleskooppi

Sääsema

Aalto yliopiston
radioteleskooppi,
200 m

Uusi
päärakennus

SLR

Vanha
päärakennus

GNSS

N2000

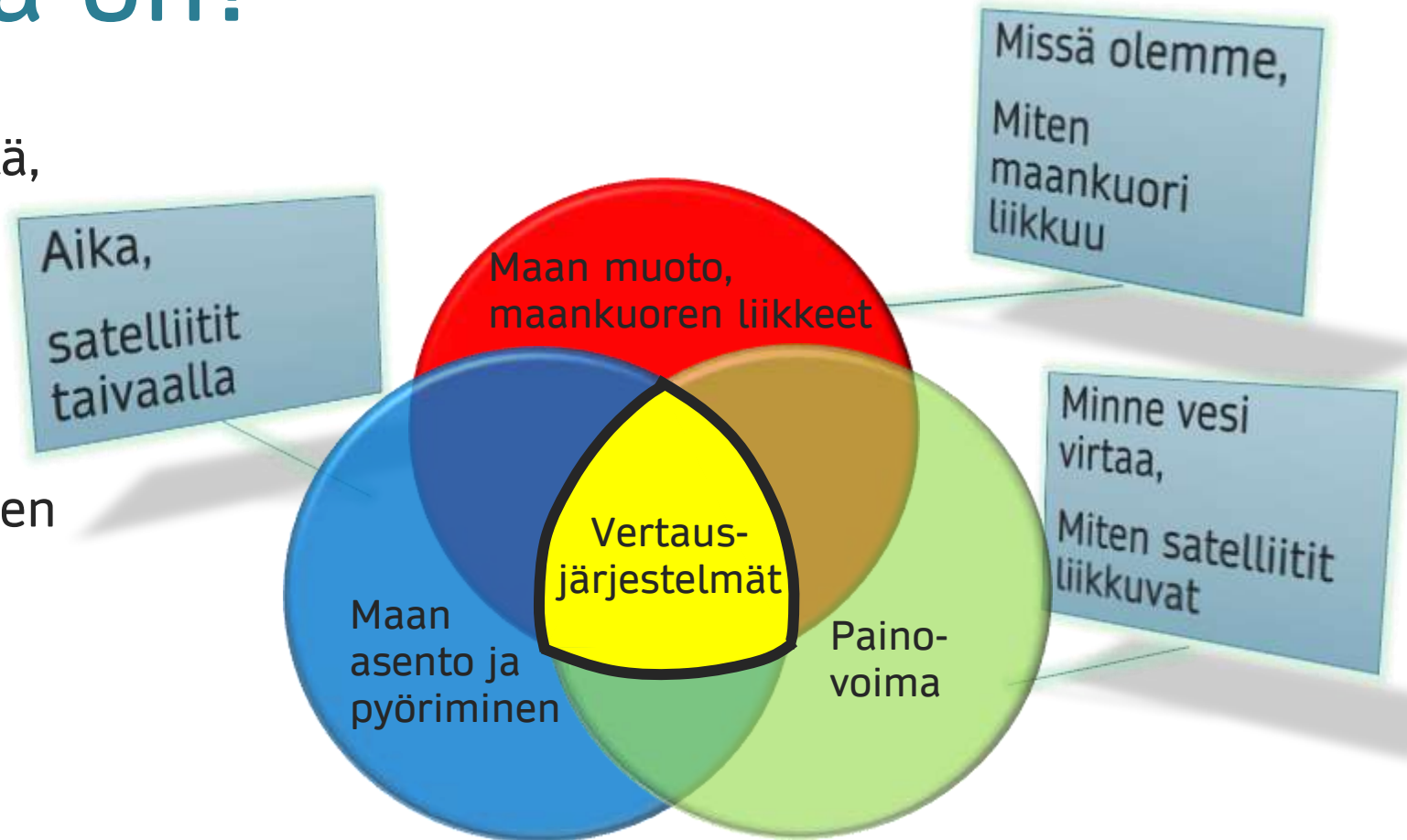
GNSS
testikenttä

Mitä geodesia on?

Geodesia tutkii Maan kokoa, muotoa, maankuoren liikkeitä, painovoimaa ja näiden muutoksia.

Koordinaattijärjestelmät, satelliittipaikannus, globaalimuutosten vaikutusten havaitseminen tarvitsevat geodeettisia mittauksia.

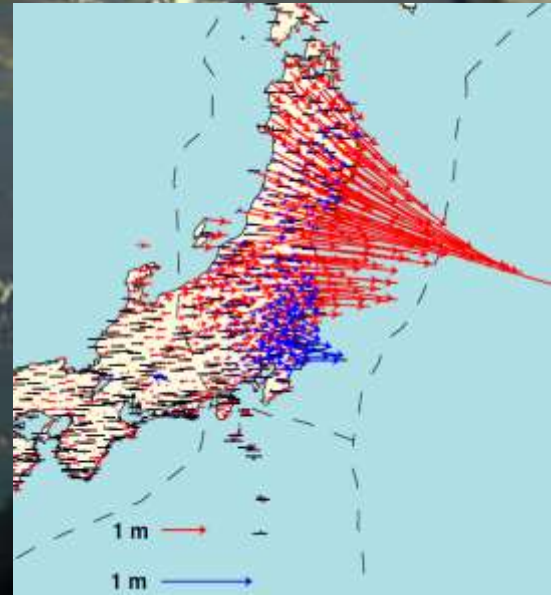
Globaalit havaintoverkot perustuvat Metsähovin kaltaisiin asemiin, jotka tekevät jatkuvia havaintoja.



Geodesia on mukana kaikessa missä tarvitaan tarkkoja ja luotettavia mittauksia

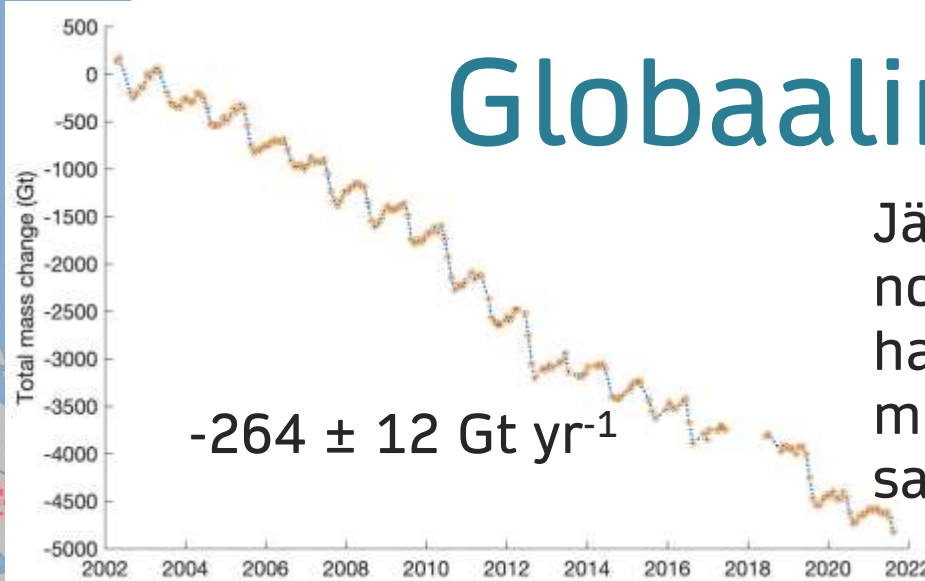
Kansalliset koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät, kuntien ja kaupunkien mittausjärjestelmät, tiet, satelliittipaikannus (GNSS), ...

Globaalimuutos, merenpinnan nousu, jäätiköiden sulaminen, maankuoren liikkeet, maanjäristykset, mannerlaattojen liikkeet, Maan asento avaruudessa, ...

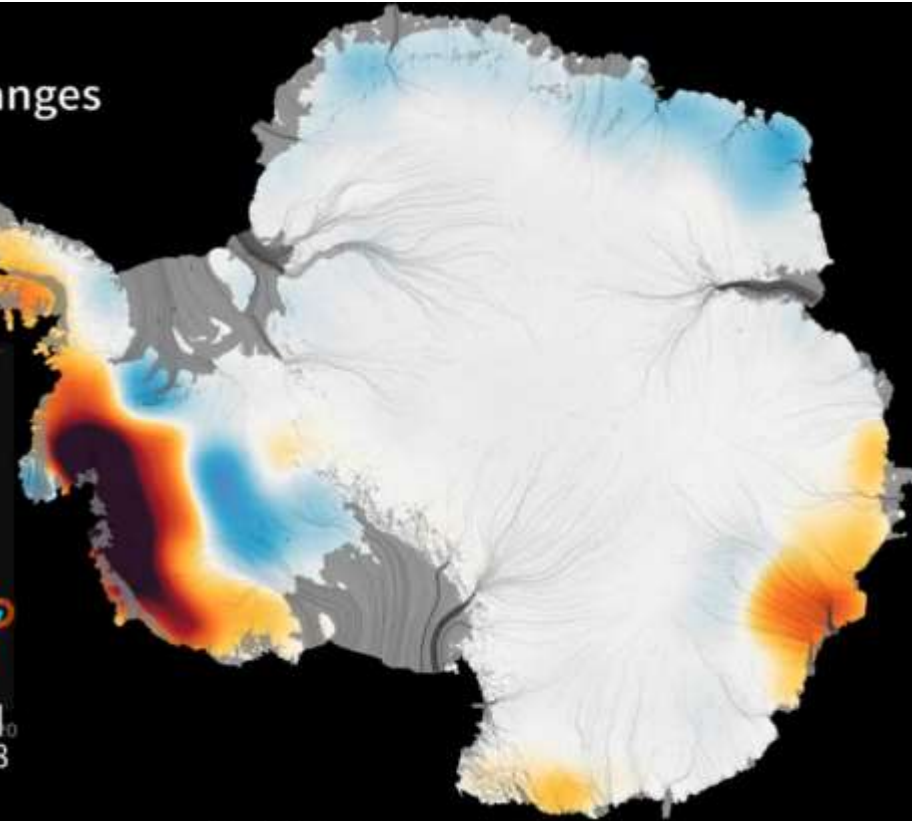
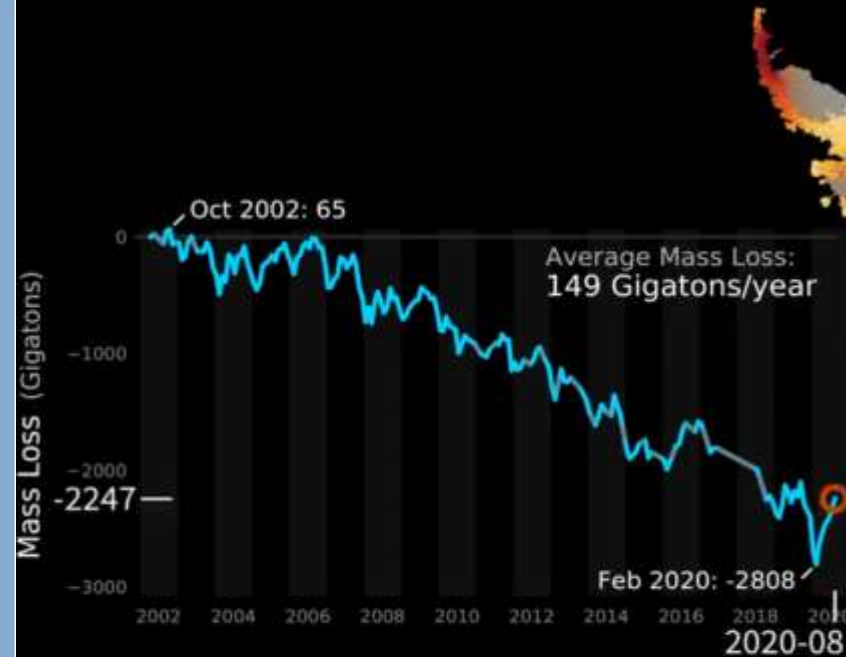


Globaalimuutokset

Jäätiköiden sulamisen, merenpinnan nousun ja maankuoren liikkeiden havaitsemiseen tarvitaan geodesian mittausmenetelmiä, mm. painovoima-satelliitteja, altimetriaa, GNSS, ...



GRACE AND GRACE-FO Observations of Antarctic Ice Mass Changes



Antarctic Ice Loss

NASA

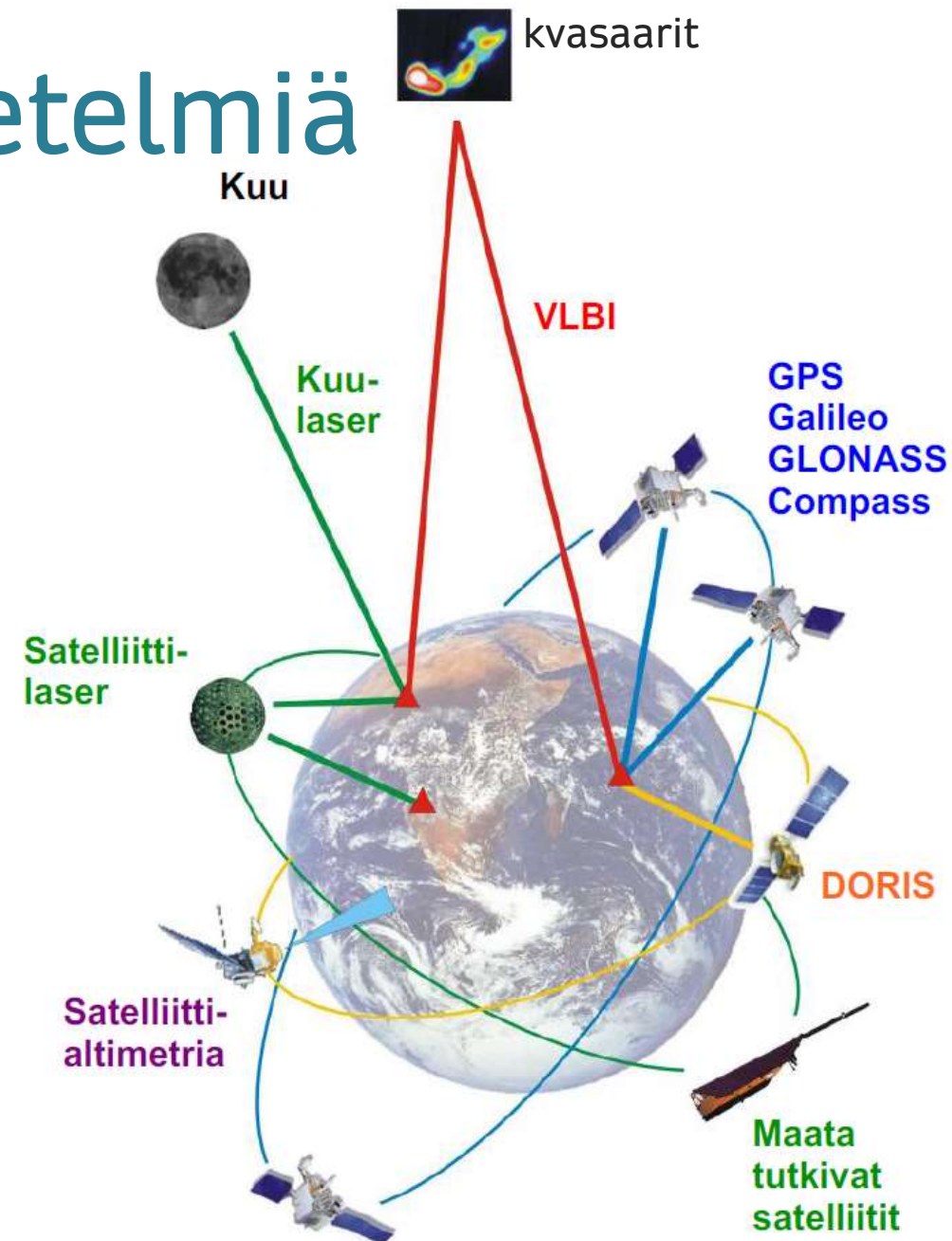
Geodesian mittausmenetelmiä

Avaruusgeodesian mittausmenetelmiä

- Satelliittipaikannus
- Satelliittilaser
- Pitkäkantainterferometria VLBI
- Satelliitti-altimetria
- Painovoimasatelliitit
- InSAR-heijastimia

Maanpäällisiä mittauksia

- Vaaitus (korkeudenmääritys)
- Painovoimamittaus
- Tarkat etäisyydenmittaukset, perusviivat yms.
- Kulmanmittaus, kolmioverkot



Geodesian mittausmenetelmiä

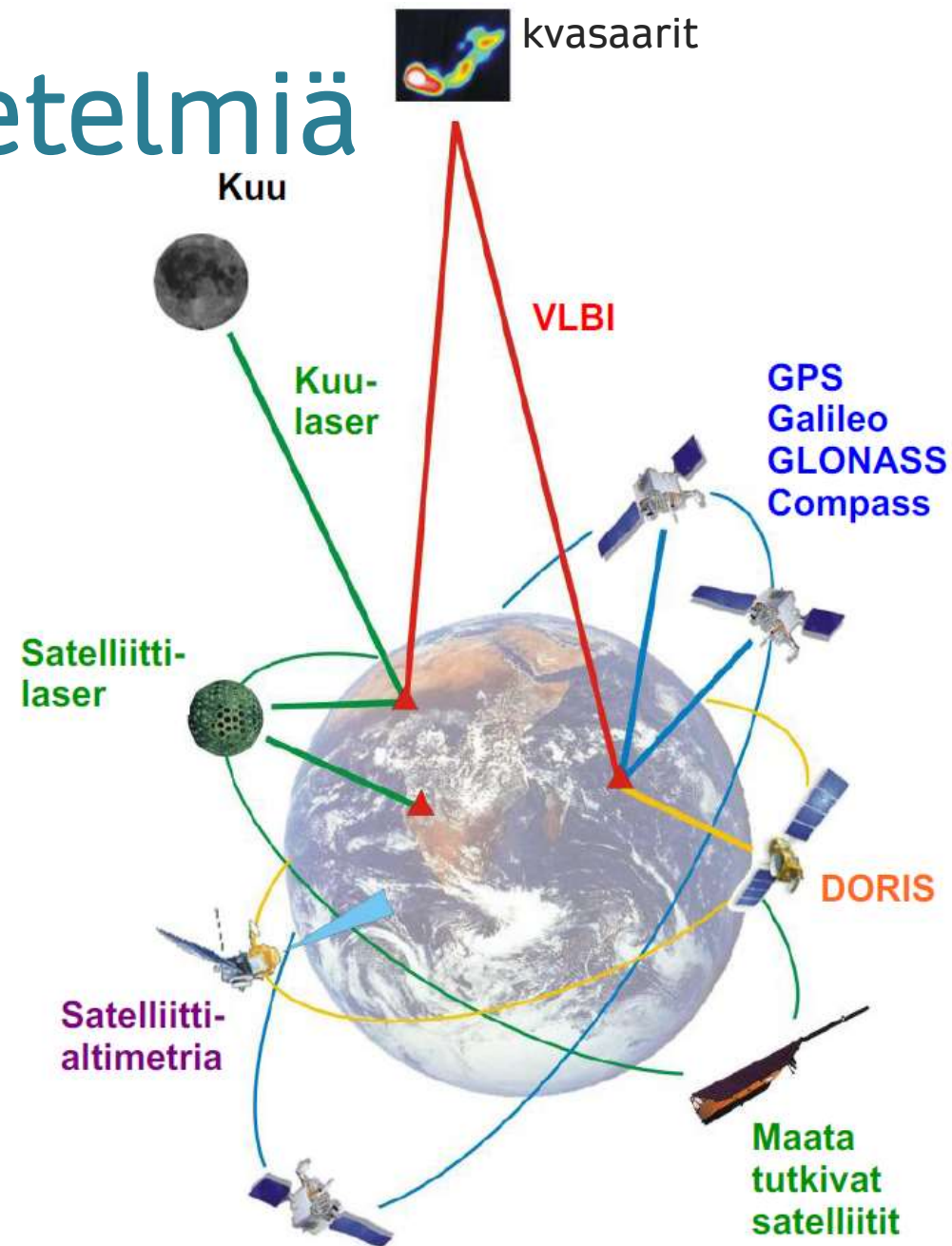
Avaruusgeodesian mittausmenetelmiä

- Satelliittipaikannus
- Satelliittilaser
- Pitkäkantainterferometria VLBI
- Satelliittialtimetria
- Painovoimasatelliitit
- InSAR-heijastimia

Metsähovi

Maanpäällisiä mittauksia

- Vaaitus (korkeudenmääritys)
- Painovoimamittaus
- Tarkat etäisyydenmittaukset, perusviivat yms.
- Kulmanmittaus, kolmioverkot

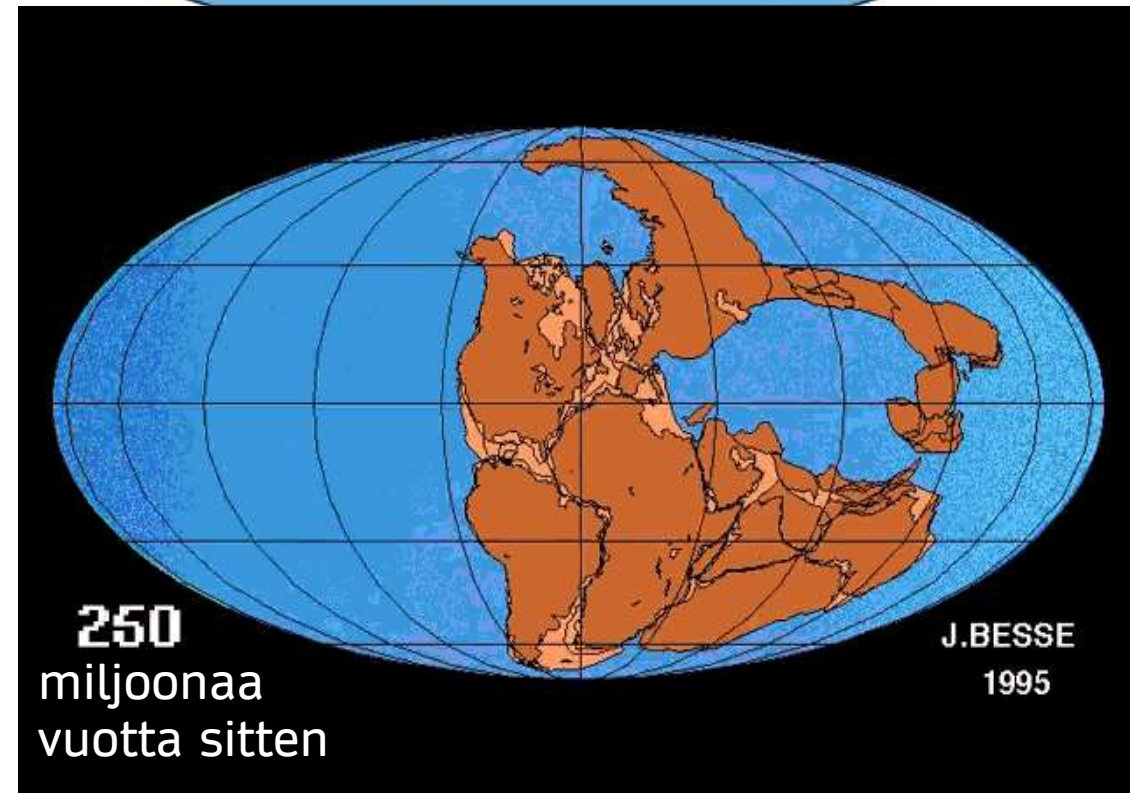
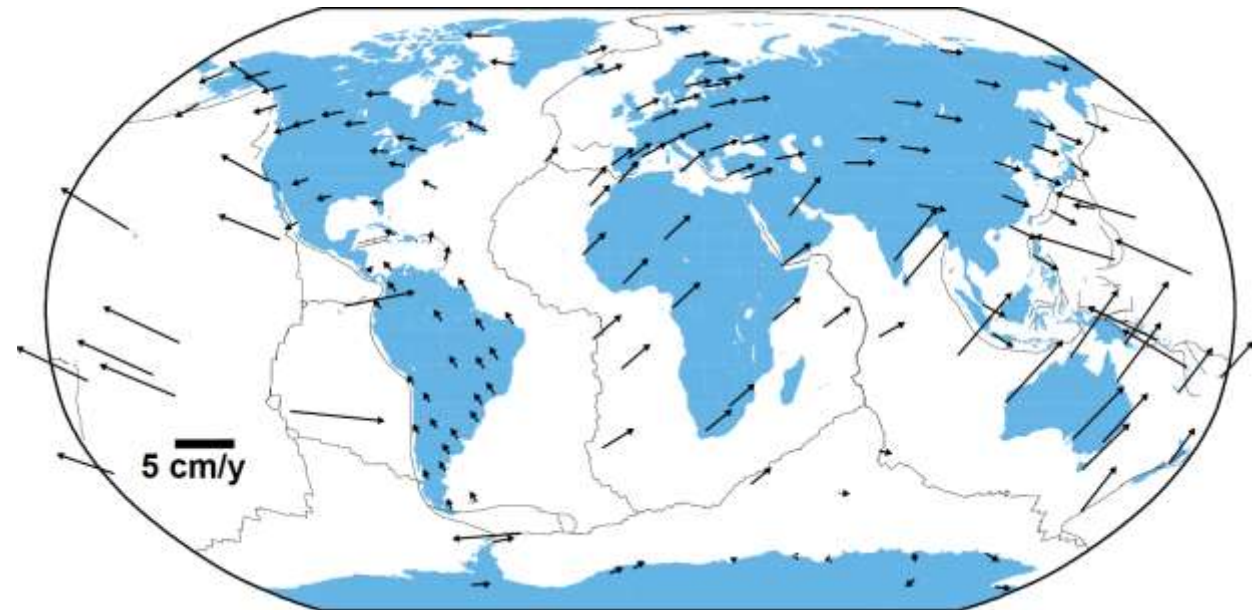


Vertausjärjestelmät

Nyky-yhteiskunta tarvitsee tarkkoja ja ajan-
tasaisia koordinaatteja. Satelliittipaikannus
tuottaa globaaleja koordinaatteja, jotka ovat
käytettävissä kaikkialla.

Mannerlaatat liikkuvat muutamia senttimetrejä
vuodessa. Tämä vaikuttaa globaalien
järjestelmien ylläpitoon koska kiintopisteet
sijaitsevat eri mantereilla.

Tarkan vertausjärjestelmän ylläpitoon tarvitaan
kattava maailmanlaajuinen havaintoverkko,
jossa on satelliittipaikannuksen lisäksi muitakin
geodeettisia havaintolaitteita.

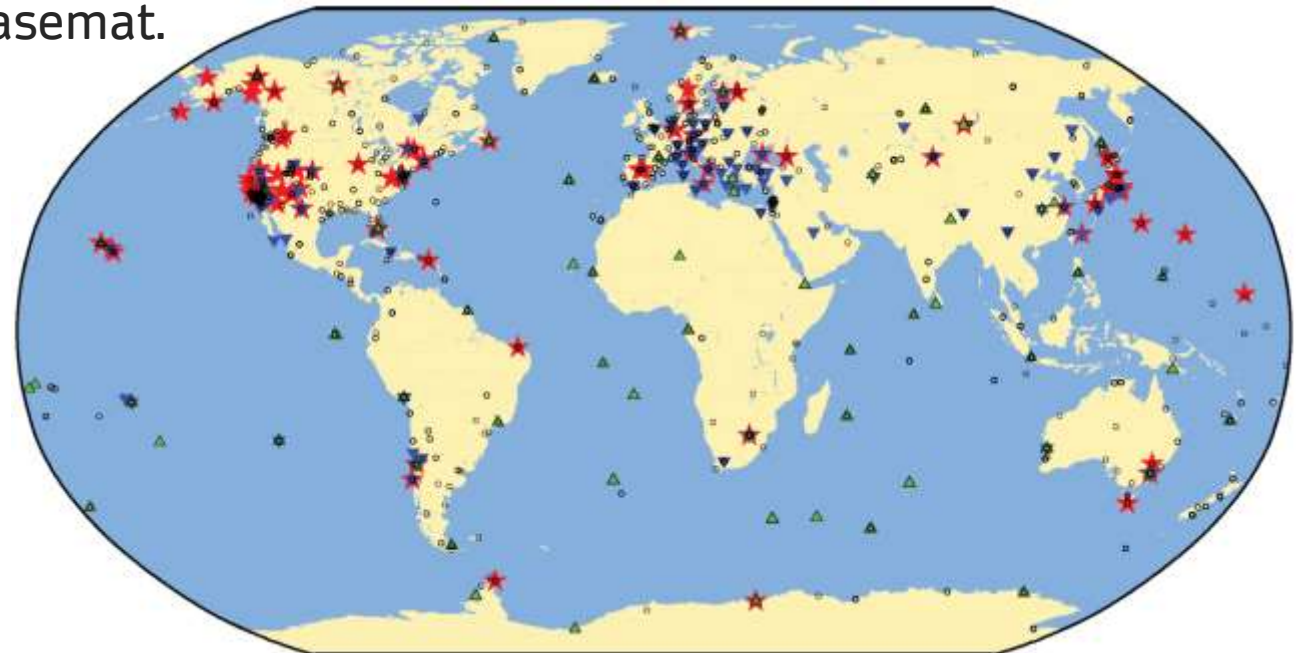
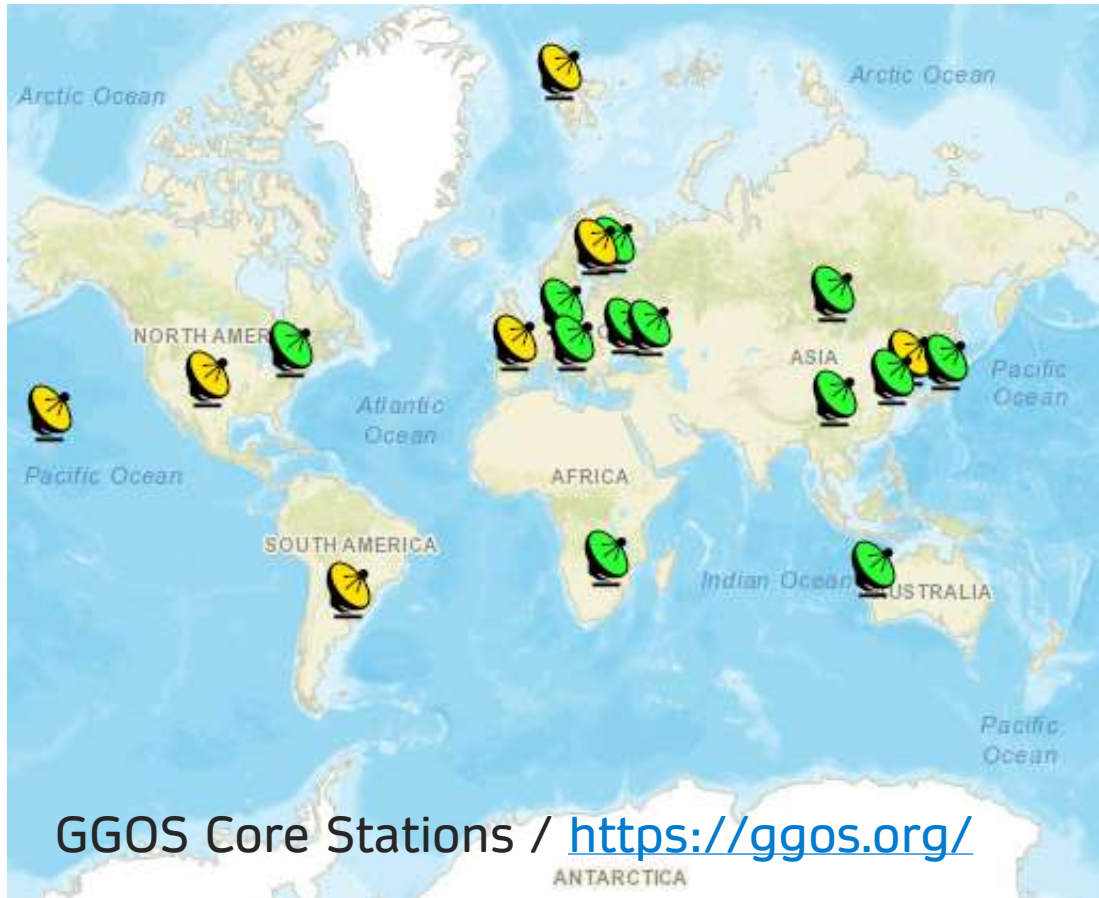


Globaalit geodeettiset perusasemat

Geodeettisia asemia, joilla on vähintään kolme havaintolaitetyyppiä, kutsutaan perusasemiksi (Core Station). Ne ovat perusta globaalien vertausjärjestelmien (koordinaattijärjestelmien) ylläpidolle ja planeetta Maan havaintotoiminnalle.

Havaintoja, laskentaa ja analyysiä koordinoi Kansainvälisen Geodeettisen Assosiaation, IAG, palvelut, mm. IGS, International GNSS Service.

Muut vertausjärjestelmien ylläpitoon osallistuvat asemat.

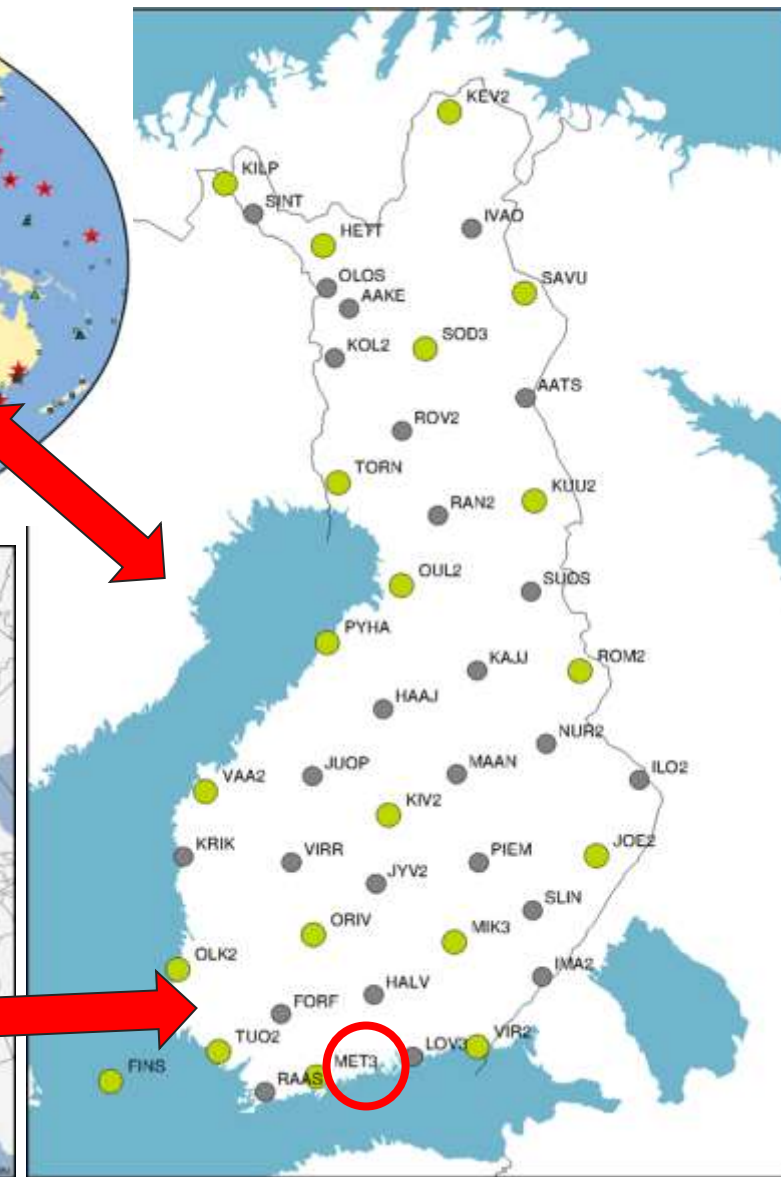
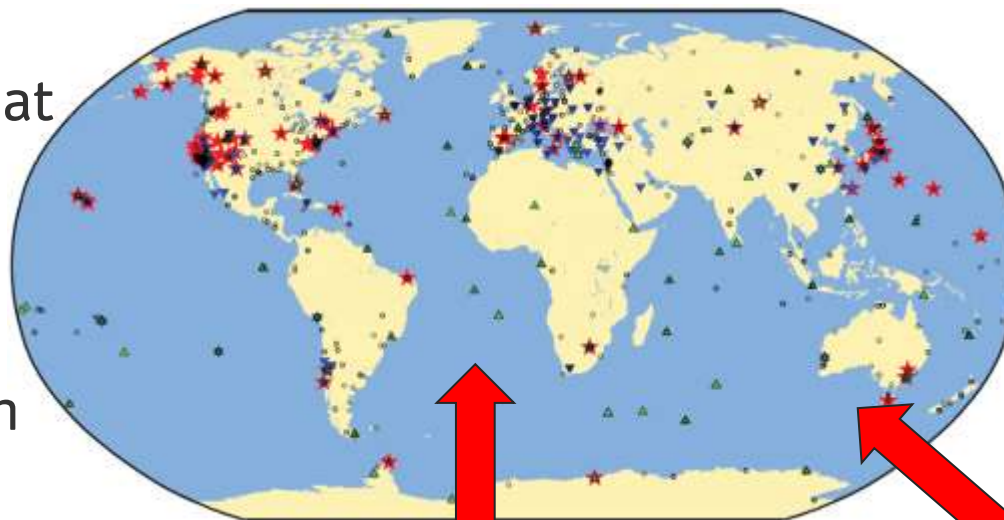


Metsähovi on linkki maailmalle

Suomen geodeettiset asemat ovat osa eurooppalaista asemaverkkoa.

Metsähovi on myös suoraan maailmanverkossa.

Tätä kautta saamme ajantasaiset ja luotettavat vertausjärjestelmät Suomeen.

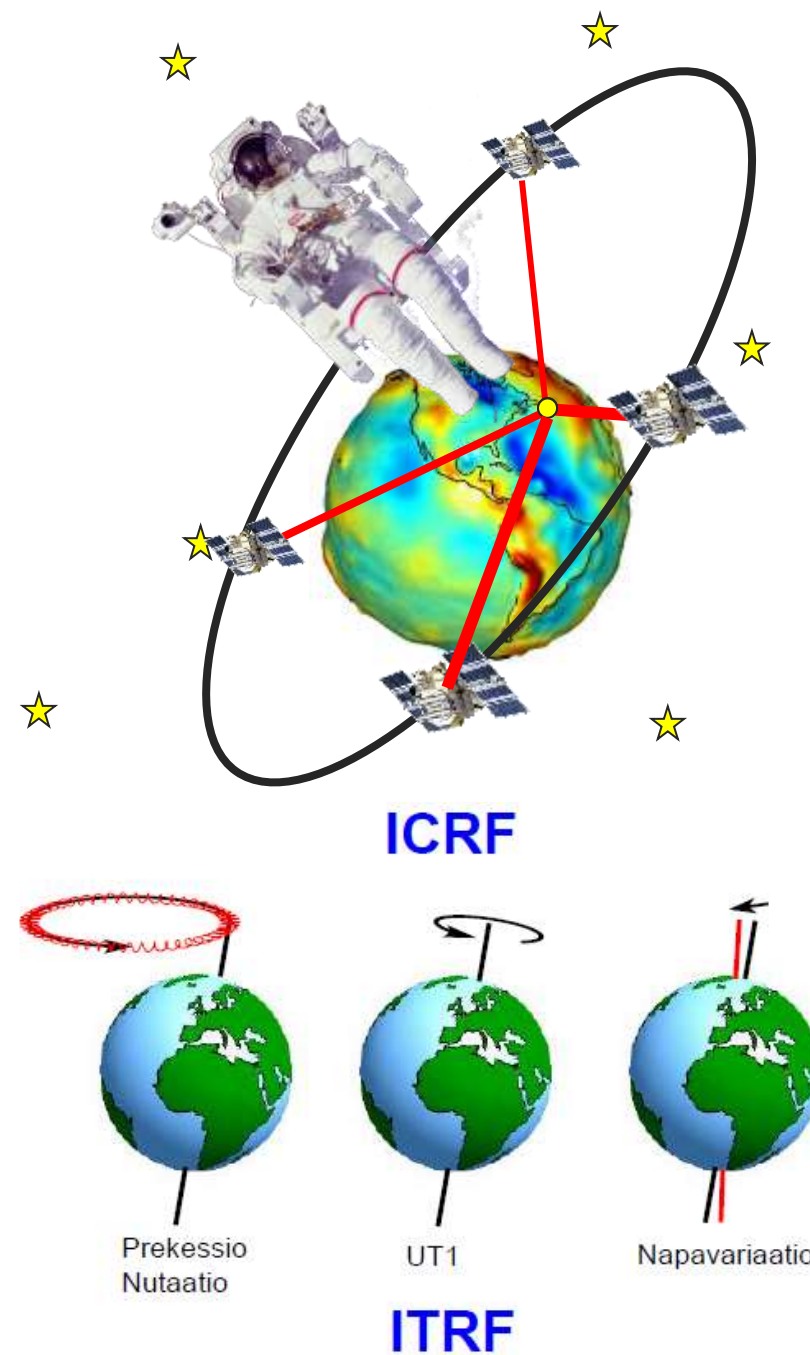


Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus antaa havaitsijan paikan satelliittien suhteen. Jotta saisimme paikkamme Maan pinnalle, meidän täytyy joka hetki tuntea maankuoren liikkeitä, Maan asento avaruudessa ja satelliittien paikat Maan suhteen.

Maan asento muuttuu jatkuvasti. Tarvitaan pysyvien geodeettisten havaintoasemien tuottamia tarkkoja ja jatkuvia havaintoja, jotta paikannus olisi senttimetritarkkaa.

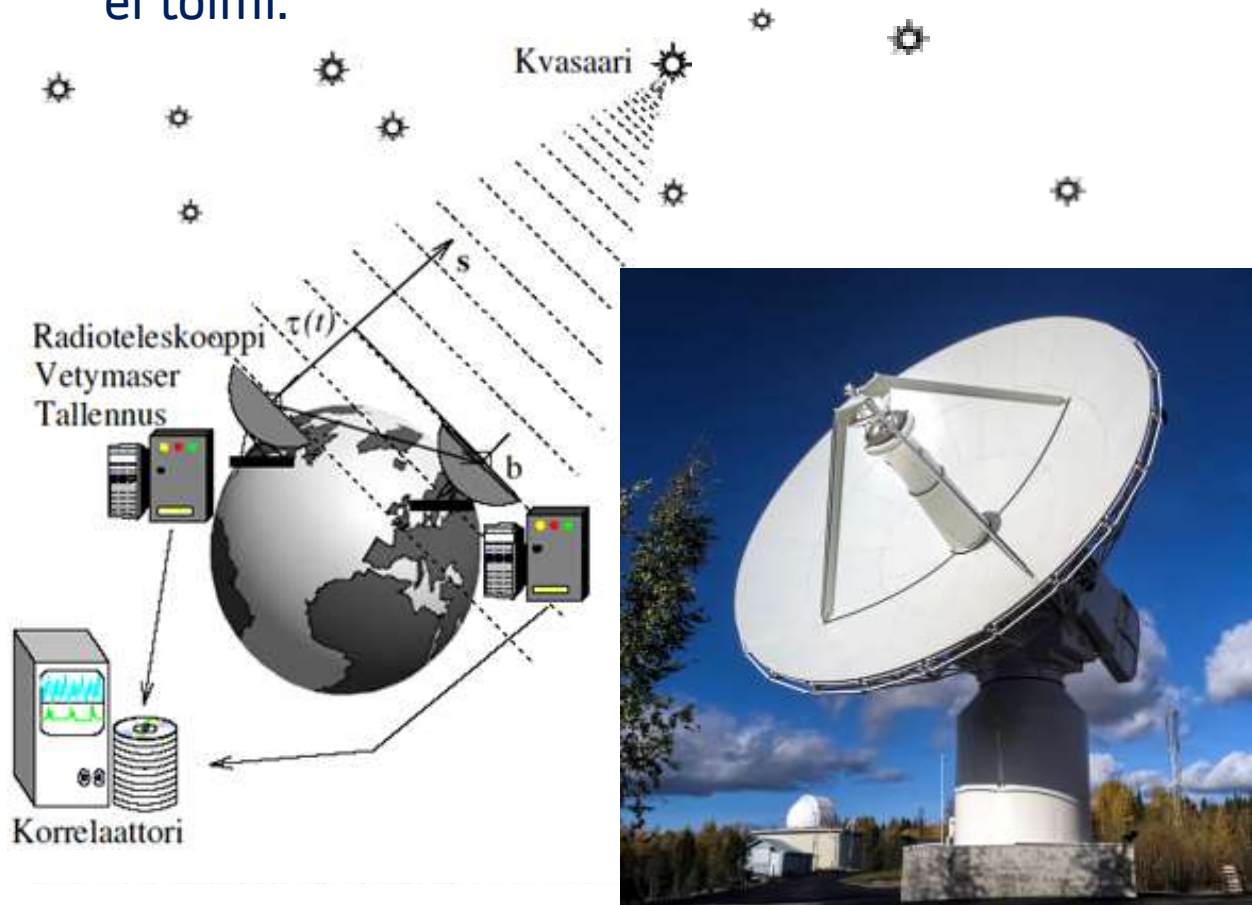
Tärkeimmät havaintomenetelmät Maan asennon havaitsemiseen ja koordinaattijärjestelmien ylläpitoon ovat GNSS, satelliittilaser ja pitkäkantainterferometria VLBI.



Geodeettinen VLBI

VLBI-mittauksin määritetään Maan asento avaruudessa. Kvasaarit ovat kiintopisteitä, joiden suhteen Maan asento saadaan joka hetki radioteleskooppien avulla.

Ilman VLBI-mittauksia satelliittipaikannus ei toimi.



Satelliittilaser SLR

Laserpulssien avulla satelliittien etäisyys saadaan senttimetritarkkuudella. Tätä tarvitaan mm. paikannussatelliittien tarkkojen ratojen ja Maan massakeskipisteen määrittämiseen

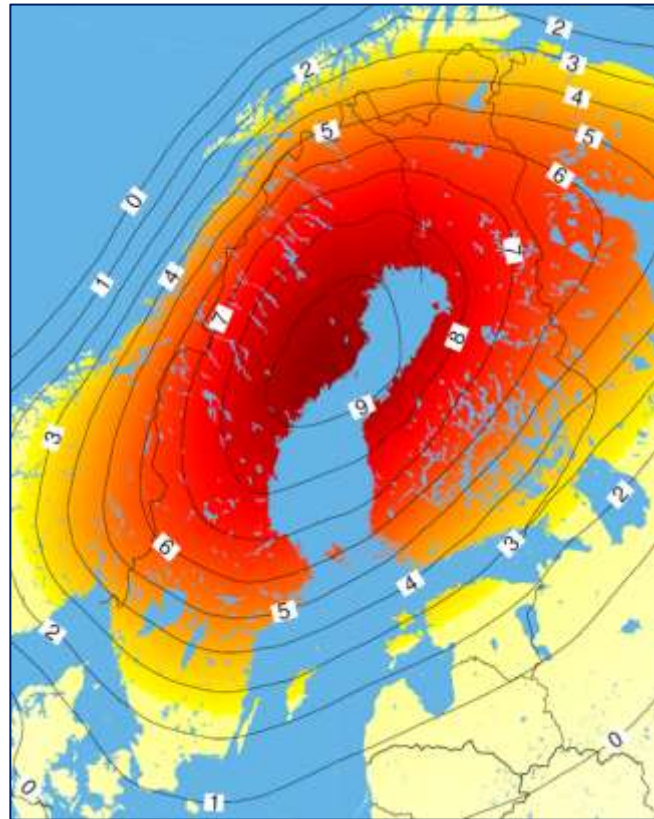
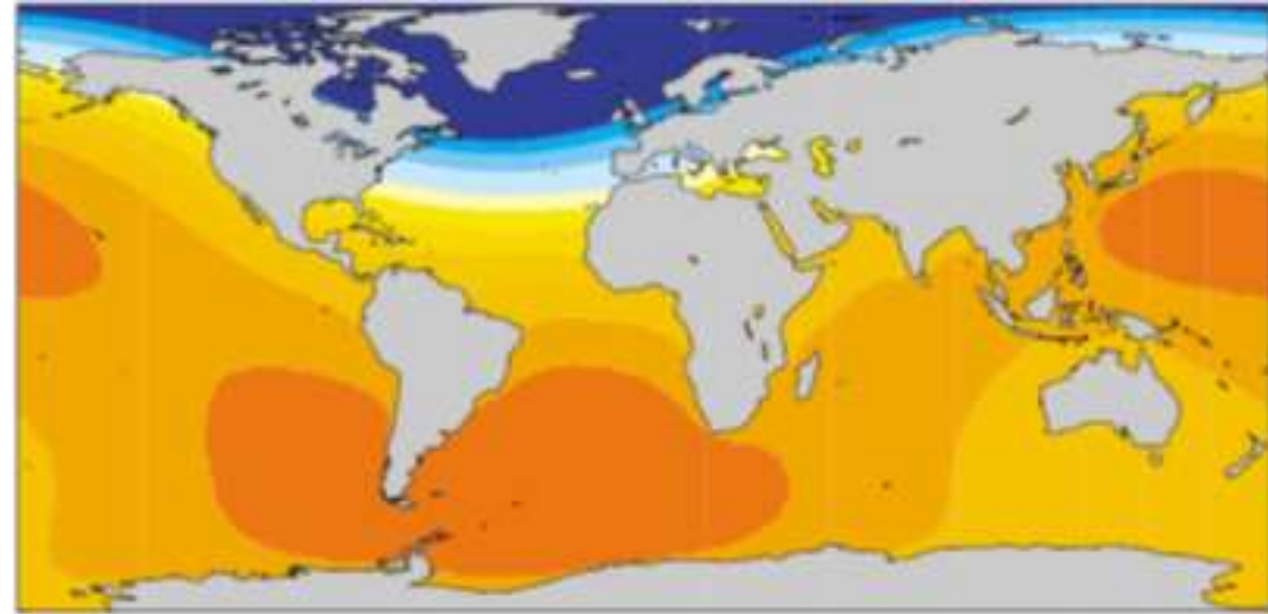


Muuttuva Maa

Maan kuori on jatkuvassa liikkeessä. Myös korkeus muuttuu, esimerkkinä Suomen jääkauden jälkeinen maannousu. Se muuttaa myös painovoimaa.

Jäätiköiden sulamisen vuoksi merenpinta nousee. Nousu ei ole tasaista. Avaruusgeodesian mittauksilla (tutkasatelliitit, painovoiman muutoksia mittaavat satelliitit, ...) muutoksia ja muutosten suuruutta voidaan seurata.

Metsähovi on tärkeä pohjoisen sijaintinsa vuoksi (mm. satelliittien ratojen tarkkuus, kalibroinnit, maanpäälliset mittaukset,...)



Metsähövin geodeettinen tutkimusasema

- Ensimmäiset mittaukset satelliittilaserilla 1978
- Pysyvä GPS (GNSS) maailmanverkossa vuodesta 1992
- Jatkuvat painovoimahavainnot vuodesta 1994
- Vuonna 2012 aloitettiin aseman uudistaminen, viimeisetkin valmistuvat tänä vuonna.
- Kaikki havaintoinstrumentit ja infrastruktuuri uudistettu, yksi moderneimmista geodeettisista perusasemista.



Metsähovin infrastruktuuri

- 1) Satelliittilaser (SLR), 1978, uusi aloittaa 2025
- 2) Geodeettinen VLBI, 2004 (Aalto yliopiston radioteleskoopilta havaintoaikaa, oma aloittaa 2025
- 3) Geodeettinen GPS/GNSS 1992, uudistettu 2014
- 4) Suprajohtava gravimetri 1994, uudistettu 2014/16
- 5) Absoluuttigravimetri JILAG 1988, uusi FG5-221 2004, päivitetty FG5X-221 2013
- 6) Pilariverkko paikallissidosten ja kalibrointien tekemiseen, 2014-
- 7) Vetymaser, 2025
- 8) TerraSAR-X heijastin (DLR, TuM) 2013
- 9) (In)SAR heijastimia (Sentinel), 2023-
- 10) DORIS beacon. CNES, Ranska 1992, uudistettu 2013, 2021
- 11) Seismometri (Seismologian Instituutti, Helsingin Yliopisto)
- 12) Absoluuttigravimetrien vertailupaikka
- 13) Suomen painovoimajärjestelmän peruspiste
- 14) Suomen N2000-korkeusjärjestelmän peruspiste
- 15) Ympäristön havainnointijärjestelmiä (mm. pohjavesi, maankosteus, lumen syvyys, sääasema ym.)

Ensimmäistä satelliittilaserit

- Ensimmäiset mittaukset satelliittilaserilla 1978
- 60 cm kaukoputki. Laitteisto ja laserjärjestelmä rakennettu Suomessa.
- Aluksi 1 pulssi/30 sek., mittaustarkkuus desimetrejä
- Uusi teleskooppi 1990-l alussa, 1 metrin peili
- Teleskooppi rakennettu Riiassa, laser Suomessa
- Pulssitaajuus 1 Hz, tarkkuus muutamia senttimetrejä



Uusi satelliittilaserjärjestelmä (2025-)



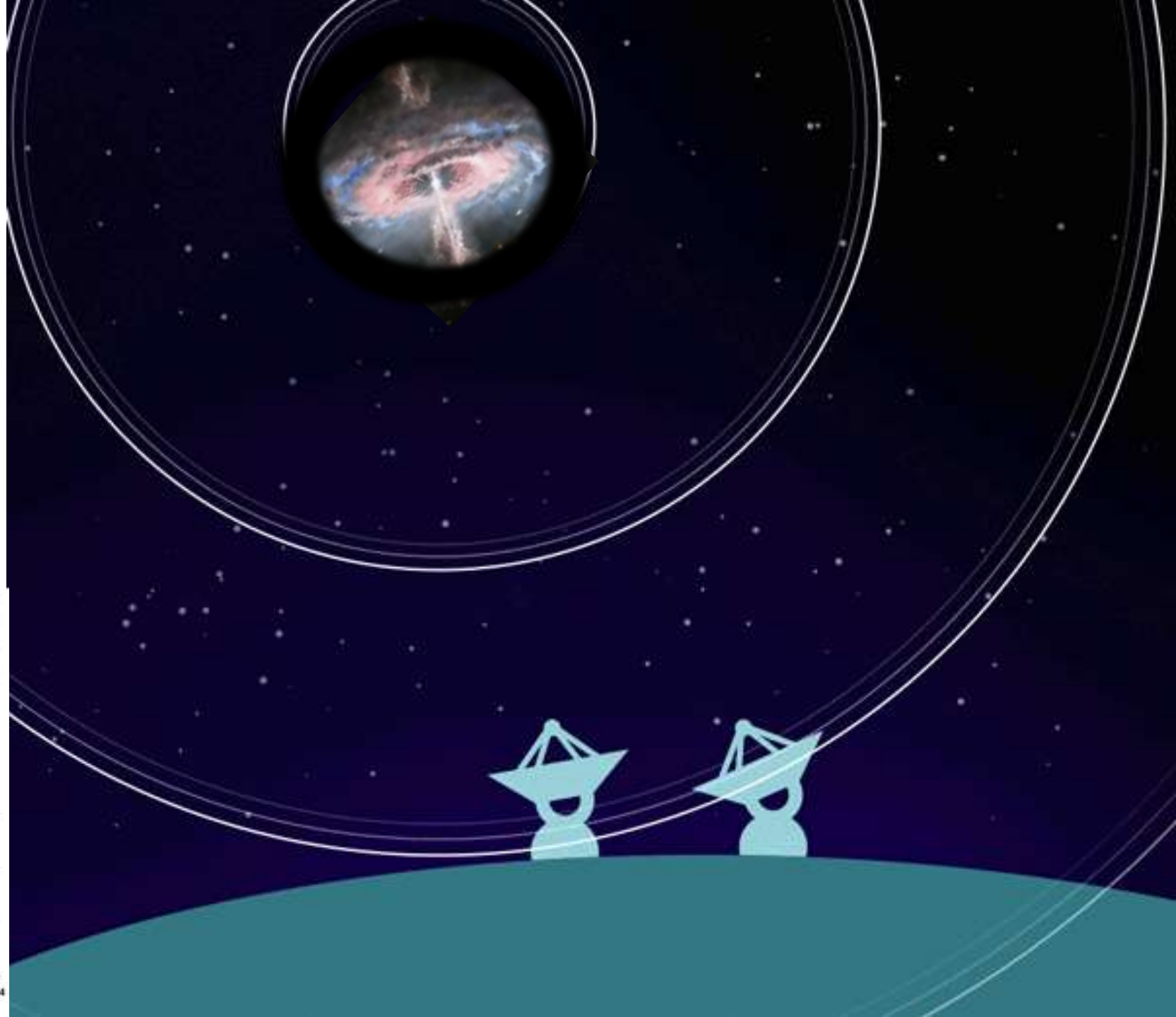
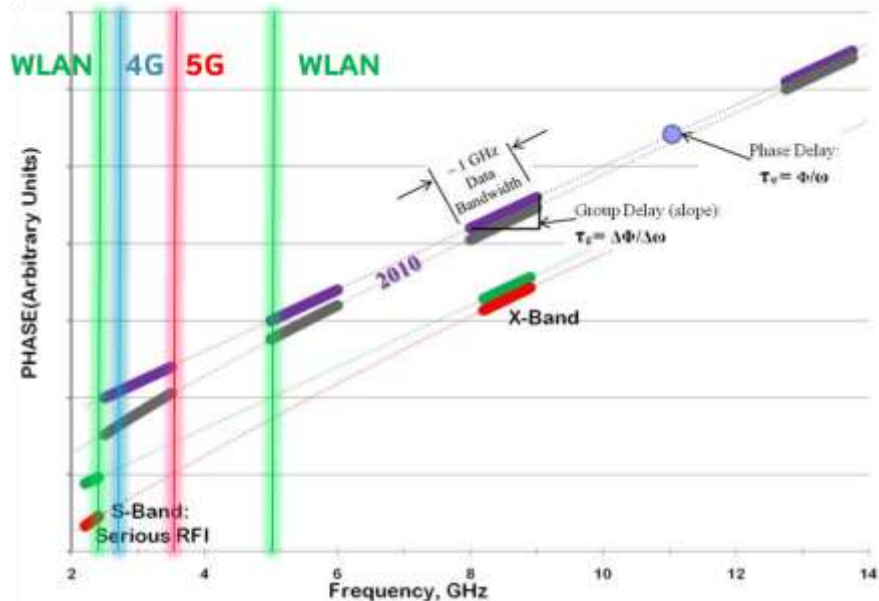
- 3. sukupolven järjestelmä. 50 cm teleskooppi ja laser kaupallisia. Suuntaustarkkuus 1-2 kaarisekuntia.
- HighQ laser, pulssitaajuus 2kHz, 532nm, teho: 0.85W; energia: 0.4mJ; pulssin pituus: ~12 ps
- Etäisyystarkkuus muutamia millimetrejä
- Voidaan tehdä havaintoja myös päiväaikaan
- Nopea teleskooppi, joka siirtyy nopeasti kohteesta toiseen.
- Uusi laser testattavana: 1 kHz, 8 ps 532 nm, 1 mJ, 1W, tai 1064nm, 2 mJ, 2W

SLR



Geodeettinen VLBI

- Vuodesta 2005 lähtien Aalto yliopiston Metsähovin radio-observatorion radioteleskoopilla
- Muutama havaintokampanja vuodessa.
- Siirtyminen jatkuviin havaintoihin (VGOS) -> tarvitaan oma radioteleskooppi



Geodeettinen VLBI

- Uusi vain geodeettiseen VLBI:n tarkoitettu nopea ja tehokas radioteleskooppi (12°/s atsimuutissa, 6°/s elevaatioissa)
- VGOS – VLBI Global Observing System
- 13.2 m antenni valmistui 2019
- 2.1-14 GHz leveäkaistavastaanotin
- Digitaalinen konvertteri, tallennus, siirto korrelaattorille internetin kautta, dataa 8-16 Gbps
- Uusi vetymaser
- Testaus ja järjestelmän rakentaminen menossa, ensimmäiset havainnot 2025





GNSS

- GPS Metsähovissa maailmanverkkoon 1990. Siitä lähtien jatkuvat havainnot. Pitkä aikasarja arvokas.
- Laitteistot uudistettu täydellisesti 2014
- Useita laitteistoja, yhteinen antenni
- Mahdollisuus GNSS-antennien kalibroinnin tarkistukseen



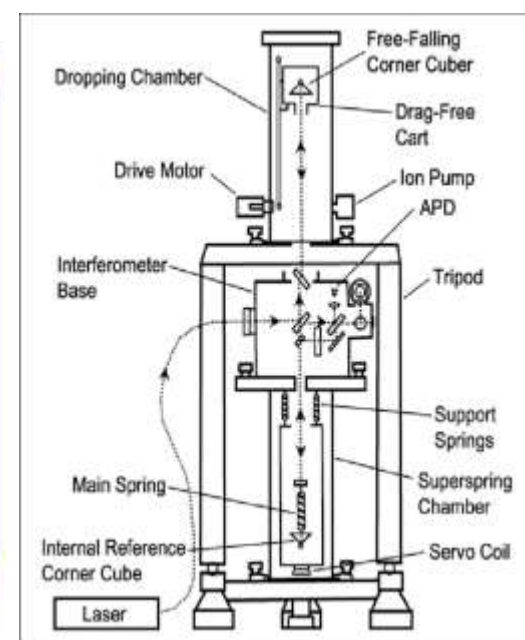
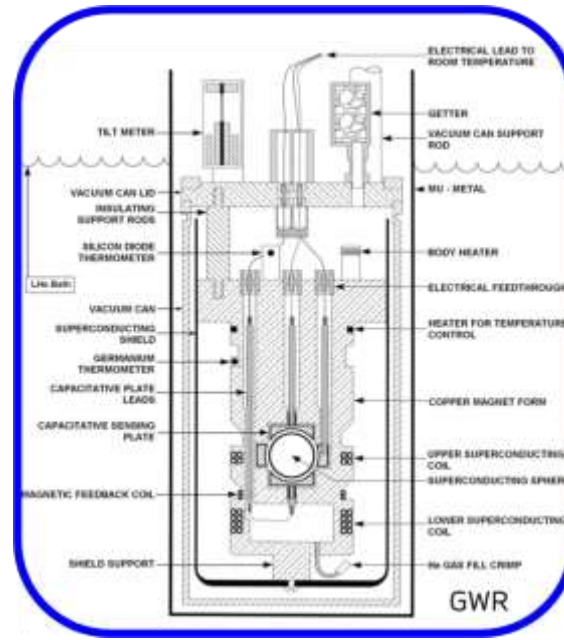
DORIS & REGINA

- Doris (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) vuodesta 1988, uusin 2021 ja laitesuoja 2022.
- Ranskan avaruusviraston (CNES) laitteet, satelliittien radanmäärittäminen, maankuoren liikkeet, vertausjärjestelmät
- Noin 3 km päässä Metsähovista, koska DORIS on radiolähetin. Ei voi olla lähellä radioteleskooppia

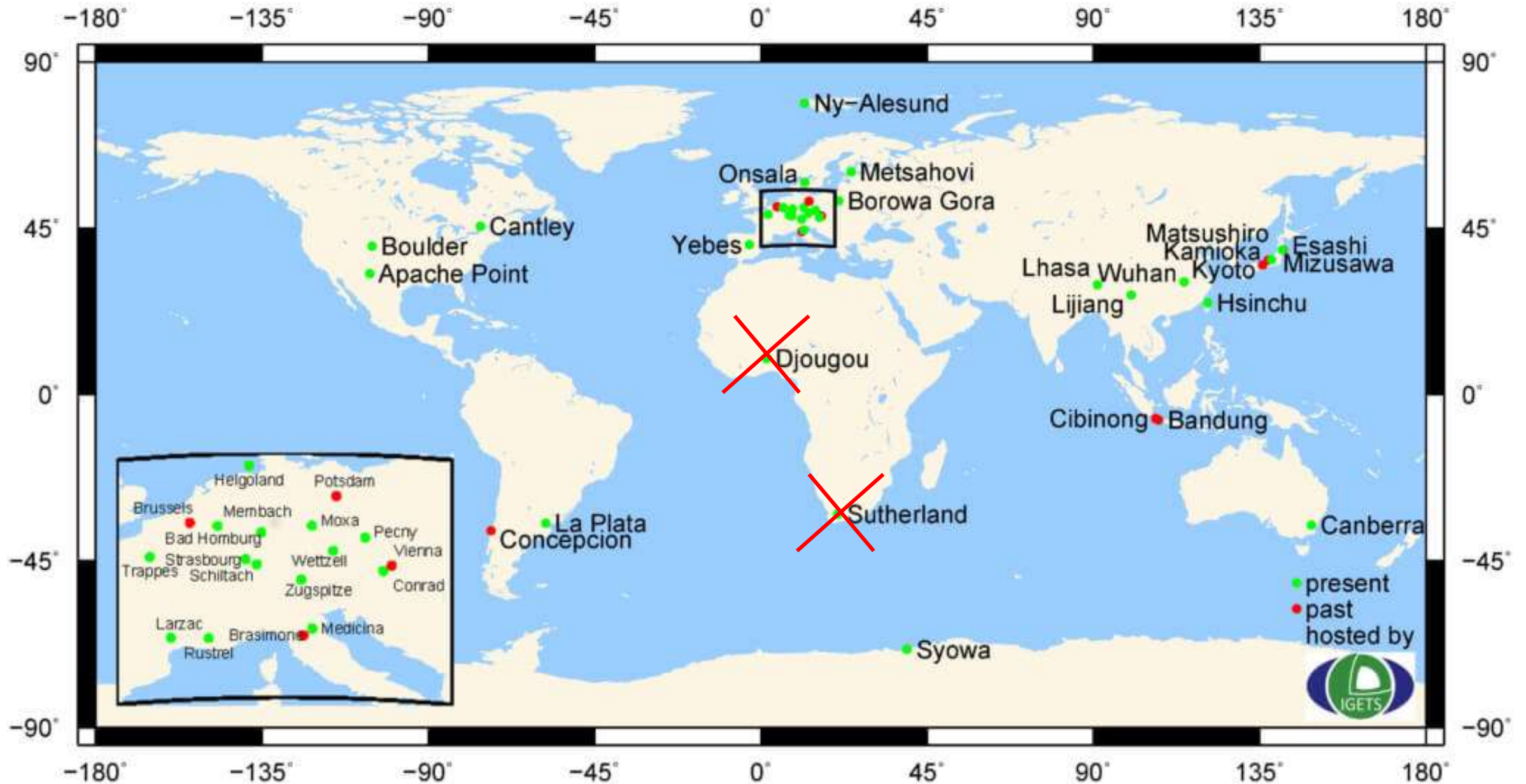


Gravimetrit

- Ensimmäinen absoluuttigravimetri 1988, uusi 2004, päivitetty FG5X-221 2013
- Putoamiskiihtyvyyden kansallinen mittanormaali
- Perustuu laserinterferometrillä mitattuun tyhjiössä putoavan kappaleen kiihtyvyyteen
- Ainoa tapa mitata painovoiman absoluuttiarvoa
- Ensimmäinen suprajohtava gravimetri 1994. Uudet SGs iOSG-022 ja iGrav-013 vuonna 2016
- Lähellä absoluuttista nollapistettä olevassa suprajohtavassa kelassa kiertävä sähkövirta luo magneettikentän, jossa leijuu testikappale. Sen paikkaan vaikuttaa vain painovoiman muutokset. Tarkin painovoiman muutoksia mittaava laite.

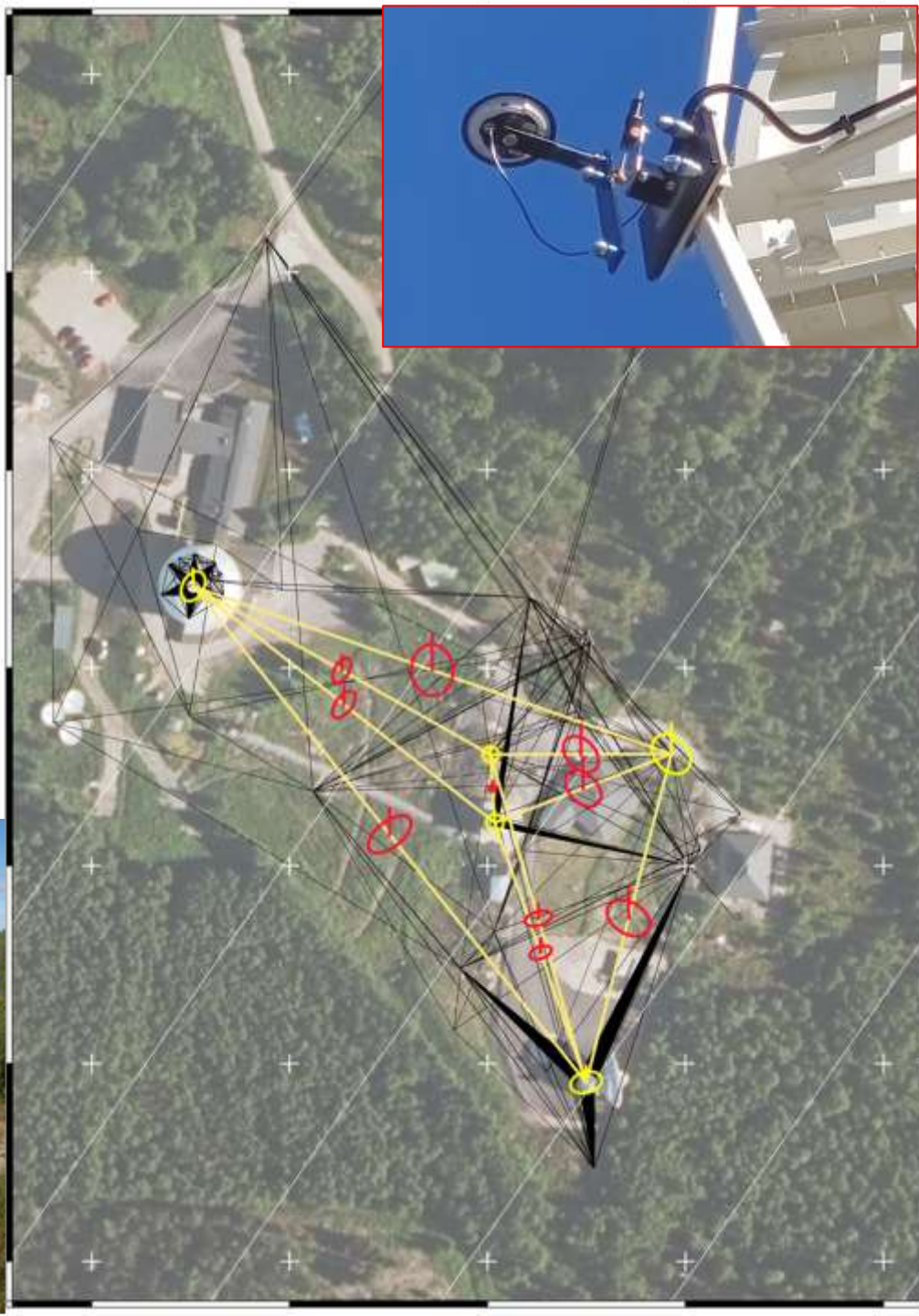
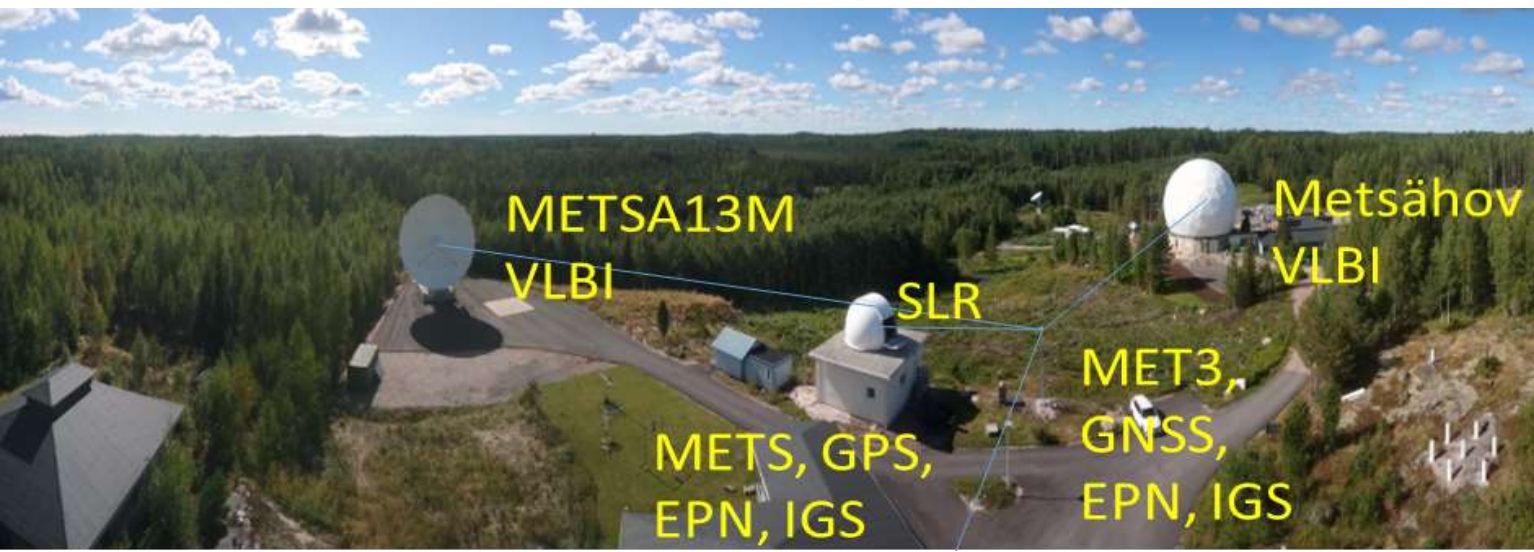


IGETS data base



Paikallissidokset

- Alueella on betonipilarien verkko. Maanpäällisin mittauksin voidaan mitata tarkat vektorit eri havaintolaitteiden välille; tavoite 1 mm.
- Tarvitaan, jotta eri havaintotekniikat voidaan tarkasti liittää toisiinsa
- Kehitetty menetelmiä mm. radioteleskoopin paikan mittaamiseen GNSS-antennin suhteen millimetritarkkuudella.



Suomen geodeettinen infrastruktuuri

Metsähovi on Suomen geodeettisen infrastruktuurin peruspiste. Se on myös Suomen kontribuutio YK:n yleiskokouksen vuoden 2015 päätöslauselmaan, jossa jäsenvaltioita kehoitetaan huolehtimaan yhteisestä geodeettisesta infrastruktuurista.

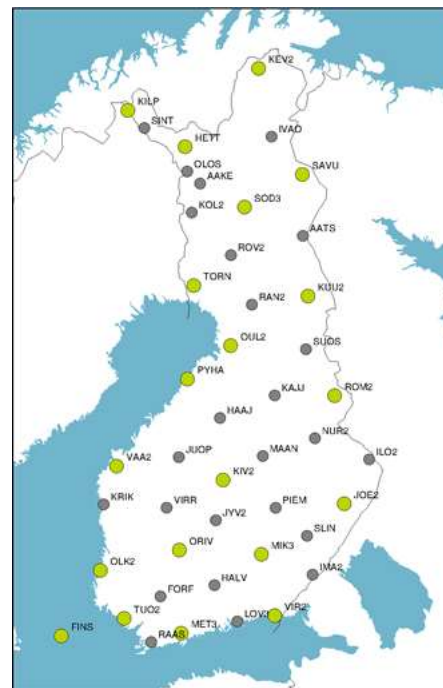
Korkeuden peruspiste,



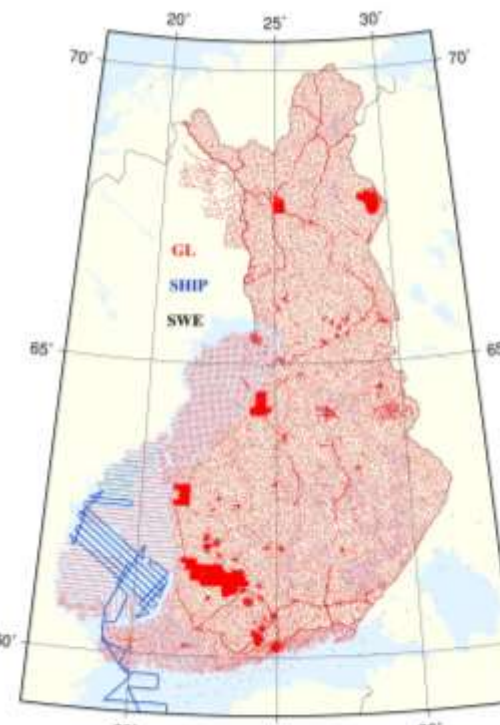
korkeus,



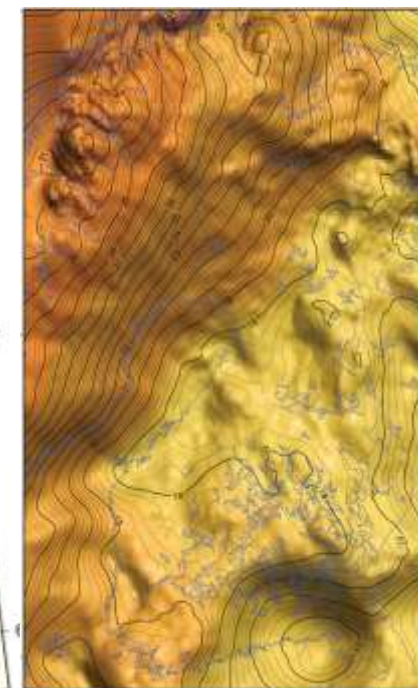
koordinaatti,

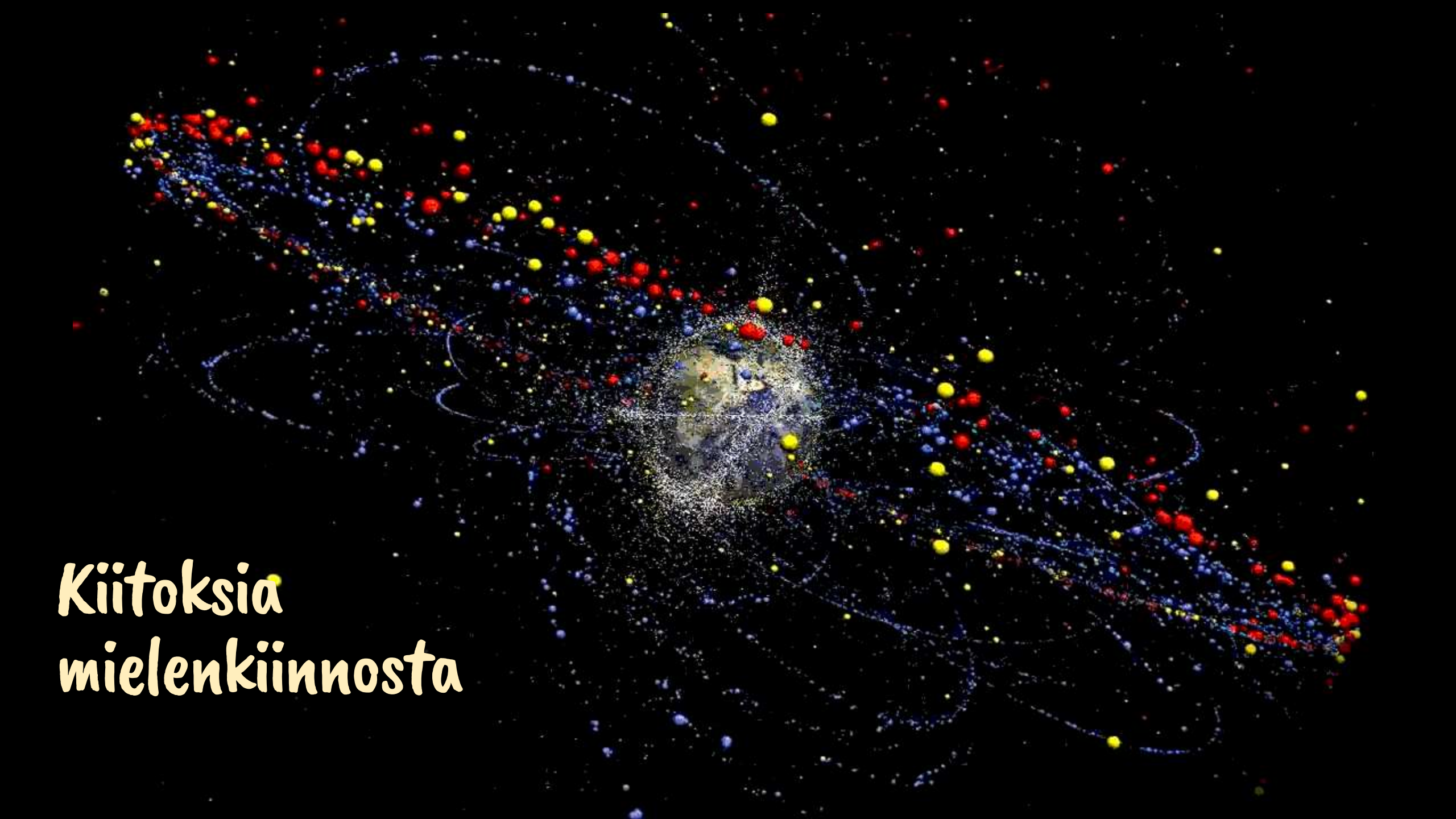


painovoima,



geoidimalli





Kiitoksia
mielenkiinnosta