

300 000 KILOMETRIN RADIOTELESKOOPPI

Kirkkonummen Metsähovissa on tehty radioastronomista tutkimusta vuodesta 1974 lähtien. Nykyisin Aalto-yliopistoon kuuluva tutkimusasema on mukana kansainvälisessä yhteistyössä, jonka tuloksena tutkijoiden käytössä on valtava virtuaalinen radioteleskooppi. Sen läpimittaa ei mitata sadoissa metreissä vaan sadoissatuhansissa kilometreissä.

MARKUS HOTAKAINEN

Miltä kuulostaisi radioteleskooppi, joka mahtuisi vaivoin Maan ja Kuun väliin? Vaikuttaa tieteistarinalta, mutta on silti täyttä totta ja jopa täydessä toiminnassa.

European VLBI Network eli EVN on vuonna 1980 perustettu yhteenliittymä, jossa on tällä hetkellä mukana 21 radioteleskooppia etupäässä Euroopasta, mutta myös Pohjois-Amerikasta, Afrikasta ja Aasiasta. Suomessa havaintoja tehdään Metsähovin 14-metrisellä radioteleskoopilla. Ideana on käyttää hyväksi radioastronomiassa tehokasta pitkäkantainterferometriaa (*Very Long Baseline Interferometry*, VLBI), jolla päästään useita kertaluokkia parempaan erotuskykyyn kuin optisen tähtitieteen alueella.

Maanpäällistä VLBI-tekniikkaa rajoittaa planeettamme koko: vastakkaisilla puolilla maapalloa olevien radioteleskooppien välimatka on – avaruudesta katsottuna – ”vain” vajaat 13 000 kilometriä. Mutta ei hätää, sillä avaruustekniikalla saadaan välimatka kasvatettua monikymmenkertaiseksi.

Vuonna 2011 Venäjä laukaisi avaruuteen RadioAstron-satelliitin, joka oli ollut työn alla jo 1980-luvulta lähtien. Se kiertää Maata hyvin soikealla radalla, jonka alin piste on 600 kilometrin ja ylin peräti 350 000 kilometrin etäisyydellä, siis melkein yhtä kaukana kuin Kuu.

”VLBI-yhteistyömme lähtökohtana oli juuri RadioAstron-satelliitti. Metsähovia pyydettiin 80-luvulla mukaan hankkeeseen ja silloin alettiin kehittää havaintoyhteistyöhön soveltuvaa laitteis-

toa. Satelliitti kuitenkin myöhästyi ja myöhästyi – ja sitten Neuvostoliittokin romahti”, Metsähovin radiotutkimusaseman johtaja **Joni Tammi** kertaa.

Kun RadioAstron saatiin vihdoon avaruuteen, Metsähovi oli edelleen mukana. Tässä välissä ehdittiin kuitenkin aloittaa yhteistyö myös EVN-verkoston kanssa.

”Ensimmäiset VLBI-mittaukset tehtiin meillä 1980-luvun lopussa ja hanketta palkattiin vetämään Turusta nuori tohtori **Esko Valtaoja**. Suomi liittyi EVN-verkoston liitännäisjäseneksi vuonna 1999 ja on edelleen mukana samalla statuksella.”

VLBI-tekniikka perustuu nimensä mukaisesti interferometriaan sekä apertuurisynteesiin. Jos eri radioteleskooppeihin tuleva säteily eli sähkömagneettinen aaltoliike on samassa vaiheessa, interferenssin seurauksena säteily voimistuu. Apertuurisynteessissä puolestaan pystytään parantamaan erotuskykyä yhdistämällä kaukana toisistaan sijaitsevilla teleskoopeilla tehdyt havainnot. Tuloksena on ”virtuaali-instrumentti”, jonka laskennallinen läpimitta vastaa kauimpana toisistaan sijaitsevien teleskooppien välistä etäisyyttä. Ja erotuskyky on sen mukainen.

Maata kiertävän Hubble-avaruusteleskoopin erotuskyky on noin 0,015 kaarisekuntia eli 1/250 000 astetta. Sillä olisi mahdollista erottaa Kuusta noin 27 metrin läpimittaisia yksityiskoh- tia. EVN-verkostolla päästään noin tuhatkertaiseen erotuskykyyn eli sillä voisi ”nähdä” Kuun pinnalla 2,7 senttimetrin kokoisia kappaleita – kahden

euron kolikon Kuun pinnalla. Paitsi että EVN-verkostolla ei tehdä havaintoja Kuusta.

VLBI-teknikassa ja sitä hyödyntävässä EVN-verkostossa huippuerotuskyky perustuu siihen, että jokainen yksittäinen radioteleskooppi muodostaa tavallaan pienen palasen jättimäisestä virtuaalisesta teleskoopista.

”Kun normaalisti kaikki teleskoopin havaitsemat fotonit kerätään yhteen polttopisteessä olevaan kameraan tai vastaanottimeen, VLBI-teknikassa ne kerätään hajautetusti kunkin teleskoopin omaan vastaanottimeen. Vasta myöhemmin fotonien välittämä signaali yhdistetään ikään kuin yksi suuri radioteleskooppi olisi koonnut ne yhteen ainoaan vastaanottimeen.”

Temppu on helpommin sanottu kuin tehty. Kun havaintoja tehtäessä yksittäinen teleskooppi suunnataan kohtisuoraan kohteen suuntaan vastaan, jotta fotonit saapuvat peilipinnasta vastaanottimeen samaan aikaan, VLBI-teknikassa se on mahdotonta, kun teleskoopit ovat eri puolilla maailmaa, EVN-verkoston ja RadioAstron-teleskoopin tapauksessa jopa avaruudessa.

”Vaikka radiosäteily etenee valonnopeudella, teleskooppien välinen viive on suurimmillaan sekunnin luokkaa. Se on otettava huomioon yksittäisillä teleskoopeilla tehtyjä mittauksia yhdistettäessä”, Tammi mainitsee.

Virtuaalisella radioteleskoopilla päästään siis huimaan erotuskykyyn. Jos kerran erillisistä, kohtuullisen kokoluokan teleskoopeista saadaan mitaukset yhdistämällä huippuluokan erotuskyky, mitä etua olisi teleskoopista, joka todella olisi lämpimältä 300 000 kilometriä?

”Se lisäksi tuntuvasti herkkyyttä. Virtuaaliteleskooppi kerää säteilyä täsmälleen sen verran kuin sen yksittäisten teleskooppien pinta-ala tekee mahdolliseksi, ei sen enempää. Siksi herkkyys laahaa erotuskyvyn perässä.”

Sinänsä virtuaaliteleskooppi päihittää herkkyydessä maailman suurimmatkin yksittäiset instrumentit, sillä sen laskennallinen pinta-ala on yhtä suuri kuin siihen kuuluvien teleskooppien yhteenlaskettu pinta-ala. Mutta herkkyyden kannalta ei aivan yhtä suuri, sillä VLBI-teknikka ei kuitenkaan ole periaatteiltaan niin suoraviivaista.

Silti EVN-verkoston laajentaminen parantaa tilannetta, vaikka erotuskyky ei enää kasvai-

sikaan. Jokainen uusi radioteleskooppi tuo oman lisänsä yhteenlaskettuun pinta-alaan ja parantaa siten koko järjestelmän herkkyyttä sekä muodostettavan kuvan laatua.

European VLBI Network oli alkuun nimensä mukaisesti eurooppalainen hanke, mutta melko pian se laajeni myös muille mantereille. Ensimmäisenä mukaan lähti Kiina, ja tällä hetkellä verkostoon kuuluvia antennoja on idän lisäksi myös lännessä ja etelässä. Etelä-Afrikan Hartebeesthoek ja Puerto Ricon Arecibo liitettiin verkostoon vuonna 2001 ja venäläisten radioteleskooppien Quasar-järjestelmä pari vuotta myöhemmin.

”Suomen rooli on suhteellisen pieni, koska meillä tehdään havaintoja vain tietyillä taajuuksilla. Metsähovi osallistuu EVN-mittauksiin ainoastaan 22 ja 43 gigahertsin taajuuksilla, ja suurin osa havainnoista tehdään matalammilla taajuuksilla.”

Metsähovilla on puolellaan kuitenkin se etu, että siellä pystytään tekemään havaintoja nimenomaan näillä taajuuksilla. Isommilla radioteleskoopeilla havainnot korkeilla taajuuksilla eivät onnistu niin hyvin ja muutenkin suomalaisten anti on pieneltä tuntuvasta osuudesta huolimatta merkittävä. Ensinnäkin 43 gigahertsin taajuuteen päästään vain kolmella muulla verkoston radioteleskoopilla, minkä lisäksi Metsähovissa ollaan eturintamassa tekniikan kehitystyössä.

EVN-verkoston tehokkuutta on rajoittanut huomattavasti havaintoaineiston suuren määrän ja sen siirron verkkaisuuden ristiriita. Datakasetteja on haalittu ympäri maailmaa laskentakeskukseen Alankomaihin, mikä on hidastanut tulosten saamista ja jatkohavaintojen suunnittelua.

Nyt ollaan ottamassa käyttöön Metsähovissa kehitettyä Flexbuff-järjestelmää. Sen avulla data on siirrettävissä tehokkaasti ja nopeasti internetin kautta. Lisäetuna on, että tarvittava laitteisto on mahdollista rakentaa edullisesti kussakin observatoriossa kaupallisesti saatavista komponenteista.

”Nopeutta lisää se, että dataa ei ensin tallenneta observatorion omille kovalevyille ja lähetetä seuraavalla viikolla postilla, vaan se siirretään suoraan useamman gigan sekuntinopeudella eurooppalaisille keskussereverille. Metsähovissa on tässäkin suhteessa perinteitä, sillä täällä tehtiin jo kymmenisen vuotta sitten nopeusennätys: dataa siirrettiin eri puolille maailmaa kahdeksan gigan

sekuntinopeudella”, Tammi toteaa.

Tuolloisen saavutuksen ennätysellisyydestä kertoo jotain, että kokeen aikana Metsähovin osuus koko Suomen tietoliikenteestä oli noin 40 prosenttia.

Nopeus sinänsä ei kuitenkaan takaa uusia, mul-listavia havaintoja. VLBI-mittauksia tehdään kohteista, jotka eivät ole kovin aikakriittisiä, ja havainnoista voi helposti kulua puoli vuotta ennen kuin tutkijat saivat käsitellyn aineistonsa takaisin. Dakeskuksessa eri teleskooppien havaintoja tahditava korrelaattori jauhaa koko ajan, mutta jono on pitkä. Oleellista on juuri havaintojen käsittelyn nopeutuminen.

”VLBI-tekniikasta on eniten hyötyä kohteissa, joissa on pieniä yksityiskohtia. Esimerkiksi optisella alueella pystytään tutkimaan supermassiivisten mustien aukkojen suihkuja, radiopuolella päästään kertymäkiekon sisäosiin ja siellä tapahtuviin liikkeisiin eli jo melkein tapahtumahorisonttiin saakka.”

Siinä missä optisella alueella nähdään satojen valovuosien kokoluokkaa olevia ”yksityiskohtia”, radiopuolella ollaan jo valominuuttien detaljeissa. Radiohavaintojen avulla voidaan tutkia esimerkiksi kertymäkiekon magneettikentän ominaisuuksia.

VLBI-mittausten kannalta ideaalikohteita ovat siis supermassiiviset mustat aukot ja niihin liittyvät ilmiöt. Niillä pystytään kuitenkin ratkomaan myös uusia arvoituksia. Vastikään EVN-verkoston havaintojen avulla saatiin ensimmäisen kerran määritettyä nopeisiin radiopurkauksiin lukeutuvan signaalin alkulähde.

”Arizonassa sijaitsevalla VLA-teleskoopilla määritettiin ensin toistuvan purkauksen summittainen suunta ja EVN-verkoston avulla sitten tarkempi paikka. Purkaus osoittautui olevan peräisin noin kolmen miljardin valovuoden etäisyydellä sijaitsevasta kääpiögalaksista, jossa tällaisia purkauksia ei aiempien käsitysten mukaan pitäisi tapahtua”.

Samalla saatiin rajattua purkauksen mahdollisten aiheuttajien joukkoa pienemmäksi. Koska tässä tapauksessa purkaus toistuu, se ei voi syntyä missään yksittäisessä katastrofaalisessa tapahtumassa, kuten mustan aukon luhistumisessa.

”Näyttää siltä, että samassa suunnassa on taasisesti säteilevä radiolähde ja toistuvia purkauksia aiheuttava kohde, esimerkiksi musta aukko ja sitä kiertävä neutronitähti. Edes EVN-verkoston

erotuskyky ei kuitenkaan riitä selvittämään, ovatko ne todella yhteydessä toisiinsa. Silti VLBI-tekniikka on ainoa keino, jolla asiaa voidaan tutkia.”

EVN-verkoston ja minkä tahansa VLBI-tekniikkaa hyödyntävän järjestelmän etuna on erotuskyvyn ohella myös luotettavuus. Jos mittauksia tehdään yksittäisellä teleskoopilla, huono sää tai tekninen vika voi estää havainnot kokonaan.

Kun VLBI-järjestelmässä on useita radioteleskooppeja eri puolilla maailmaa, yksittäisen teleskoopin ongelmat eivät rampauta koko systeemiä. Ja mitä enemmän järjestelmässä on teleskooppeja, sitä enemmän saadaan niiden muodostamia pareja eli teleskooppien välisiä kantaviivoja.

”Jos vaikkapa Metsähovin ja Onsalan havainnot yhdistetään, saadaan yksi kantaviiva. Kun mukaan tulee Effelsberg, muodostuu uusi kantaviiva sekä Metsähovin ja Effelsbergin että Onsalan ja Effelsbergin välille. Ja kun siihen lisätään neljäs teleskooppi, kantaviivojen lukumäärä onkin jo kuu-sinkertaistunut.”

Periaatteessa virtuaaliteleskooppi rakentuu näistä teleskooppien muodostamista kantaviivoista, jotka maapallon pyöriessä ”pyyhkivät” taivaankantta. Vaikka yksittäinen lisäinstrumentti ei paljon kokonaispinta-alaa lisääkään, jokainen uusi kantaviiva parantaa teleskoopin suorituskykyä.

VLBI-havainnot lukuisilla teleskoopeilla ovat kuitenkin huomattavan haastavia. Yhdellä teleskoopilla tehtävissä mittauksissa riittää, että se toimii. VLBI:ssä pitää vähintään kahden teleskoopin toimia täydellisesti. Eikä sekään aina riitä.

”Vastikään yritimme tehdä havaintoja yhdessä Onsalan kanssa. Meillä kaikki toimi moitteettomasti, samoin Onsalassa, mutta jostain syystä mittauksia ei saatu yhdistettyä: interferenssikuviota ei löytynyt.”

Esimerkiksi yksistään Metsähovissa tehtävät kvasaari- tai aurinkohavainnot voidaan pitkälti automatisoida, ja jos jotain menee vikaan, on helpo selvittää, missä vika on. VLBI:ssä muuttujia on niin paljon, että tehtävä on monin verroin vaikeampi.

”Vaikka VLBI-tekniikkaa on sovellettu jo 50 vuoden ajan, ala kehittyy jatkuvasti. Teleskooppeihin tulee koko ajan uudenlaisia osia, ja samaan aikaan kasvaa mahdollisesti pieleen menevien asioiden määrä.”

Toisaalta esimerkiksi sääolosuhteiden vaikutus on VLBI-mittauksissa paljon vähäisempi kuin yhdellä teleskoopilla tehtävissä havainnoissa. Vaikka radioalueella voidaan tehdä tutkimusta kirkaassa päivänvallossakin, pilvet, kosteus ja erityisesti sade haittaavat havaintoja. Siihen VLBI tarjoaa oivan ratkaisun. Jos yhdessä paikassa on kehnompia keliä, mittausten yhdistämisen tuloksena sen vaikutus häviää eikä datassa ole säätilan aiheuttamia häiriöitä. Ja vaikka keli olisi kehnompia useammissakin paikoissa, häiriöt ovat toisistaan poikkeavia ja käytännössä kumoavat toisensa.

Metsähovin pohjoisella sijainnilla on sekä etunsa että haittansa. Meiltä jää suurin osa tähtitaivaan eteläisestä puoliskosta näkymättömiin, joten monia kiinnostavia EVN-verkoston kohteita on mahdoton havaita Metsähovista. Tärkeämpää on kuitenkin sijainnin tuoma pohjoinen ulottuvuus.

”Kun verkoston eteläisin teleskooppi on Etelä-Afrikassa ja pohjoisin täällä Suomessa, saadaan siinä suunnassa lisää kattavuutta. Metsähovi on osaltaan täydentämässä virtuaaliteleskoopin pinta-alaa ja nimenomaan sen pohjois-etelä-suuntaista mittaa – ja sitä kautta parantamassa myös erotuskykyä.”

Kirjoittaja on tietokirjailija ja tiedetoimittaja.

TUTKAKSEN ASiantuntijapanKKI

Tutkijoiden ja kansanedustajien seura Tutkas on perustanut oman asiantuntijapanKKin, johon Tutkaksen tohtoritutkinnon suorittaneet tai vastaavat akateemiset ansiot omaavat jäsenet voivat ilmoittautua. Kansanedustajat voivat halutessaan ottaa epävirallisesti yhteyttä asiantuntijapanKKissa oleviin asiantuntijoihin ja pyytää tietoa ja/tai mielipidettä esimerkiksi lainsäädäntötyössä esille nousseissa kysymyksessä.

AsiantuntijapanKKin kautta tutkija voi asiantuntemuksellaan olla vaikuttamassa valtakunnalliseen päätöksentekoon. Kevään 2017 aikana eduskunnassa käsitellään esimerkiksi sote-uudistusta sekä kansalaisaloitetta eutanasian laillistamisesta. AsiantuntijapanKKiin on ilmoittautunut jo yli 150 tutkijaa. Toistaiseksi eniten ilmoittautumisia on tullut sivistysvaliokuntaan, tulevaisuusvaliokuntaan sekä sosiaali- ja terveysvaliokuntaan.

AsiantuntijapanKKi on tarkoitettu vain eduskunnan sisäiseen käyttöön ja sen sisältämiä tietoja ei luovuteta eduskunnan ulkopuolelle. AsiantuntijapanKKi julkaistaan eduskunnan sisäisessä intranetissä. AsiantuntijapanKKi on kansanedustajien ja kunkin valiokunnan virkamiesten käytössä. Lisäksi rekisteri on kansanedustajien avustajien, eduskunnan sisäisen tietopalvelun, eduskuntaryhmien kanslioiden ja eduskuntatiedotuksen käytössä.

Tutkas on vuodesta 1970 toiminut seura, jonka tarkoituksena on luoda edellytykset kansanedustajien ja tutkijoiden väliselle yhteydelle. Seuran jäseninä on jäseninä on lähes 700 tutkijaa sekä kaikki kansanedustajat. Seuran tutkijajäseneksi pääsemisen edellytyksenä on akateemisen loppututkinnon suorittaminen ja toimiminen tutkimustehtävissä. Seuran puheenjohtaja on kansanedustaja **Sanna Lauslahti** ja varapuheenjohtaja professori **Ilkka Ruostetsaari** Tampereen yliopistosta.

Tutkaksen ohjelmaan kuuluu eduskunnan täysistuntokaudella kuukausittain järjestettävät aamukuulemiset ja seminaarit. Lisäksi seura järjestää tapaamisia ja opintomatkoja. Tiedot tilaisuuksista löytyvät myös Facebookista. Jäsenyydestä ja asiantuntijapanKKista kiinnostuneet, ottakaa yhteyttä Tutkaksen sihteeriin Ulla Hirvoseen (puh. 050 574 1068 tai ulla.hirvonen@eduskunta.fi).