

# SUOMI ON AVARUUSSÄÄN TUTKIMUKSEN SUURVALTA

Suomen syysmyrskyt, jopa kaikkein hurjimmat hurrikaanit, ovat pientä tuulenvirettä verrattuna Maan lähistöllä riehuvaan avaruussäähän myllerrykseen. Mikä pahinta, sen vaikutukset tuntuvat maanpinnalla saakka. Mutta mitä avaruussäätä ja sen tutkimus on?

”Se on avaruuden olosuhteiden tuntemista ja niihin varautumista”, kiteyttää **Minna Palmroth**, Helsingin yliopiston laskennallisen avaruusfysiikan professori. ”Määritelmä sinänsä on negatiivinen, sillä avaruussäähän tutkimus on häiriöihin valmistautumista eikä kauniin sään ennustamista.”

Millaista vaaraa avaruussäähän liittyvistä ilmiöistä sitten voi olla terveydelle, tekniikalle, ylipäätään yhteiskunnan toiminnalle? Esimakua siitä saatiin vuonna 1859, kun Maan magneettikenttään osui Auringosta lähtenyt suunnaton plasmapurkaus. Silloin ei syystä ollut aavistustakaan, mutta seuraukset olivat sitäkin ilmeisempiä.

Lennätinlinjat vaurioituivat, pylväät syttyivät palamaan, operaattorit saivat sähköiskuja. Samaan aikaan ympäri maailman, aina Karibialla saakka, näkyi revontulia. Ne olivat paikoin niin kirkkaita, että ihmiset luulivat aamun koittaneen, vaikka oli sydänyö.

Pari päivää aiemmin brittitähtitieteilijät **Richard Carrington** ja **Richard Hodgson** olivat satumalta nähneet Auringossa voimakkaan flare- eli roihupurkauksen. Carrington alkoi ounastella, että purkauksella ja magneettisella myrskyllä voisi olla jokin yhteys, ja myöhemmin tapausta alettiin nimittää Carringtonin myrskyksi.

Jos sellainen iskisi Maahan nyt, läpeensä teknistynyt ja sähköistynyt yhteiskuntamme lamaan-tuisi täysin. Suurin osa viestiliikenteestä perustuu satelliitteihin, navigointi käytännössä kokonaan. Satelliittien sammuessa lentoliikenne pysähtyisi eikä meriliikennekään sujuisi kovin vaivattomasti.

Puhumattakaan katastrofista, joka seuraisi sähköverkkojen romahtamisesta.

Yli 150 vuodessa tutkimus on kehittynyt huimasti. Nykyisin satelliiteilla pystytään tekemään mittauksia siellä, missä kulloinkin myrskyää, ja tietokoneilla voidaan mallintaa avaruussäähän liittyviä ilmiöitä, joten ”enää ei tarvitse kaukoputken varassa yrittää ennustaa, mitä tuleman pitää”, Palmroth naurahtaa.

Siitä huolimatta tutkimusta joudutaan edelleen tekemään pitkälti aihetodisteiden varassa. Auringon ja Maan välillä tapahtuu paljon asioita, joiden tunteminen olisi avaruussäähän kannalta oleellista.

”Niitä ei oikein vieläkään hallita kunnolla. Jos tilannetta vertaa maanpäälliseen säätutkimukseen, niin täällä on tiheä mittausverkosto ja hyvät mallinnusvälineet, joiden avulla saadaan varsin luotettavia sääennusteita. Jos Turussa tuulee tietyllä nopeudella ja tiettyyn suuntaan, siitä voidaan päätellä, mitä Loimaalla tapahtuu. Avaruudessa se ei onnistu.”

Ongelmana on, että avaruussäähän liittyy monia tekijöitä. Ensinnäkin on ymmärrettävä, mitä Auringossa tapahtuu, sillä sieltä kaikki saa alkunsa. Seuraavaksi on selvítettävä, mitä tapahtuu Auringon ja Maan välillä: 150 miljoonaa kilometriä on pitkä matka. Sitten on vuorossa Maan lähiavaruus eli planeettamme magneettikentässä ja ilmakehän yläosissa, ionosfäärissä, esiintyvät ilmiöt.

”Lopuksi on selvítettävä, miten tämä kaikki vaikuttaa teknologisiin järjestelmiin, sekä Maata kier-

tävillä radoilla oleviin satelliitteihin että maanpinnalle levittäytyviin sähköverkkoihin. Siinä tarvitaan monen eri tieteenalan ja tutkijan yhteistyötä.”

Palmroth on johtanut kuluvan vuoden alusta Suomen Akatemian huippuyksikköä, joka tutkii juuri tätä eli ”kestävää avaruustiedettä ja -tekniikkaa”. Helsingin yliopiston lisäksi yksikössä ovat mukana Aalto-yliopisto, Ilmatieteen laitos ja Turun yliopisto.

”Lähtökohta on edelleen Auringon tutkimus, sen pinnalla esiintyvien aktiivisten alueiden tarkastelu. Siitä eteenpäin joudutaan tekemään vielä aika paljon arvauksia. Tavoitteena on päästä tilanteeseen, jossa voitaisiin jokseenkin luotettavasti arvioida, milloin Auringon pinnalla tapahtuu räjähdys, millainen hiukkaspilvi sieltä lähtee liikkeelle ja mitä se saa aikaan osuessaan Maahan.”

Yhtenä vaikeutena on mittalaitteiden saaminen Auringon ja Maan välille. Euroopan avaruusjärjestön sinnikäs SOHO-luotain on vuodesta 1995 tarkkaillut Aurinkoa niin sanotussa Lagrangen pisteessä lähes taukoamatta, mutta sekin on vain noin 1,5 miljoonan kilometrin etäisyydellä Maasta. Siitä Aurinkoon on vielä melkoinen määrä tyhjää avaruutta.

”Kun suoria havaintoja ei ole, joudumme käyttämään mallinnusta. Kehittämämme Vlasiator on maailman tarkin avaruuden olosuhteita mallintava simulaatio. Sen luoma kuva vastaa tilannetta, jossa meillä olisi noin 300 kilometrin välein mittauksia tekevä satelliitti.”

Vlasiatorin virtuaaliavaruus ei kata Auringon ja Maan välimatkaa kokonaan, vaan se mallintaa tilannetta noin miljoona kilometriä kanttiinsa olevalla alueella Maan lähiavaruudessa. Malli tuottaa valtavan määrän dataa ja sen pyörittäminen vaatii huipputehokkaita supertietokoneita.

”Itse asiassa Vlasiatorilla on testattu uusia supertietokoneita. Kun lähdimme kehittämään simulaatiota, emme ottaneet lähtökohdaksi tietokoneiden silloista suorituskykyä, vaan asetimme tähtäimen tulevaan: millaisia tietokoneita on käytössä siinä vaiheessa, kun malli on käyttövalmis. Sillä tavoin olemme onnistuneet pysymään mukana tietotekniikan kehityksessä eikä malli ole laahannut perässä.”

Vlasiatorin vaatimukset ovatkin toista luokkaa kuin maanpäällisten säämallien. Kun esimerkiksi

Suomen alueen säätä laskevaa mallia on pyöritettävä 2 000 laskentaytimen supertietokoneessa, jotta tulos saataisiin valmiiksi ennen kuin sää on jo toteutunut, Vlasiator vie helposti kymmenkertaisen laskentatehon. Periaatteessa se pyörisi vaikka läppärillä, mutta silloin laskenta-aika olisi satoja vuosia.

”Toisaalta jos meillä olisi käytössä supertietokoneiden Ferrari tai McLaren, jossa laskentaytimiä on yli satatuhatta, kyllä me saisimme sellaisenkin tuutatun mallillamme täyteen.”

Siltikään tulokseksi ei saataisi varsinaista ”avaruussääennustetta”. Lähemmäs sellaista päästään perinteisillä magnetohydrodynaamisilla eli MHD-malleilla, joilla saadaan reaaliaikaisia tuloksia Maan lähiavaruuden olosuhteista ja avaruussäästä.

”Aika asettaa ankarat rajat. SOHO-luotaimen välittämät tiedot saapuvat Maahan valon nopeudella eli muutamassa sekunnissa, mutta vaikka data syötettäisiin saman tien tietokoneeseen, ennuste olisi saatava valmiiksi tunnissa, sillä siinä ajassa hiukkaspurkaus ehtii matkata SOHOn etäisyydeltä Maahan.”

Kiirettä siis pitää eikä Vlasiatorilla ole toivoakaan saada ennusteita tulevasta avaruussäästä. Se kuitenkin lisää huimasti tarkkuutta, jolla avaruuden olosuhteita pystytään tarkastelemaan. MHD-mallinnus on niin karkeaa, että sillä ei pystytä selvittämään avaruussään kannalta keskeisiä fysiikaalisia seikkoja.

”Ihmiskunnalla on avaruudessa valtava omaisuus ja monet keskeiset satelliitit, kuten sää- ja viestintätekokookut, ovat geostationäärisellä radalla. Siksi avaruussäämallien pitäisi kertoa nimenomaan olosuhteista siellä, mutta MHD-mallit eivät toimi siellä ollenkaan.”

Parempaan tarkkuuteen ei kuitenkaan päästä ilmaiseksi, sillä se tapahtuu ajan kustannuksella. Yhdessä Vlasiator-ajossa saattaa hujauttaa kolme viikkoa ja siinä ajassa avaruussää ehtii muuttua jo moneen kertaan.

”Mutta se onkin sitten tosi tarkka. Vlasiatorin avulla päästään kiinni fysiikkaan, joka on avaruussähän liittyvien ilmiöiden taustalla. Aikaisemmin se ei onnistunut ja se on kuitenkin oleellisen tärkeää, jos jossain vaiheessa aiomme pystyä myös ennustamaan avaruussäästä.”

Toinen tärkeä tekijä mallinnuksen kehittämi-

sessä on pysyminen mittaustarkkuuden mukana. Kun tekniikka kehittyy kaiken aikaa ja satelliiteilla saadaan yhä tarkempia mittaustuloksia, mallien tarkkuuden on kehityttävä samassa tahdissa, jotta mittauksista saadaan kaikki mahdollinen hyöty.

Satelliiteilla tehtävät mittaukset ovat aina hyvin paikallisia, ja jos mittaustulosten mukaan jossain on tapahtunut jokin muutos, pelkkä mittaus ei kerro, onko muutos tapahtunut nimenomaan mitauspisteessä vai onko sen aiheuttanut esimerkiksi hiukkaspilvi, joka on kulkenut mitauspisteen ohi.

”MHD-malleilla se ei onnistu, mutta Vlasiatorin avulla on pystytty selvittämään, mistä mittauksen perusteella tapahtuneet muutokset ovat johtuneet. Avaruusfysiikkaa ovat perinteisesti hallinneet mittaukset, ja siksi siihen on liittynyt paljon mysteereitä: miksi asiat tapahtuvat niin kuin ne tapahtuvat. Vlasiatorin animaatioiden avulla pystymme nyt ratkomaan arvoituksia, jotka ovat askarruttaneet tutkijoita jopa vuosikymmenien ajan.”

Avaruussään taustalla on siis Auringosta puhaltava hiukkastuuli ja ajoittaiset voimakkaammat puhurit, jopa varsinaiset myrskyt. Tuntuu luonteelta olettaa, että ilmiöt etenevät aurinkotuulen mukana ”myötävirtaan”, eli jos kauempana Maasta tapahtuu jotain, sen vaikutus tuntuu jonkin ajan kuluttua lähempänä meitä.

Vlasiator on osoittanut, että ilmeiseltä tuntuva oletus on väärä. Toisinaan ”alajuoksulla” eli Auringosta katsottuna lähempänä Maata esiintyy niin voimakkaita ilmiöitä, että ne heijastuvat ”yläjuoksulle” saakka eli tuntuvat myös kauempana Maasta.

”Sellaista ei kukaan ollut tullut ajatelleksi ennen kuin saimme käyttööme Vlasiatorin simulaatiot. Siinäkin mielessä se tarjoaa aivan uuden näkökulman avaruusfysiikkaan ja avaruussäähän.”

Vaikka Palmrothin johtaman huippuyksikön tutkimus on sen nimen mukaisesti pitkälti soveltavaa, se tuottaa kuitenkin myös perustutkimukseksi luokiteltavia tuloksia. Ja usein ne ovat odottamattomia: ei ole edes tiedetty, ettei jotain asiaa tiedetä, ja sitten se selviääkin.

Huippuyksikön varsinaisena tehtävänä on tutkia, miten avaruustutkimusta voitaisiin tehdä nykyistä kestävämmiin. Yksi iso ja alati paheneva ongelma on avaruusromu. Sen määrä kasvaa kaiken

aikaa ja muodostaa uhan paitsi satelliiteille myös miehitetyille lennoille. Kansainvälisen avaruusaseman rataakin on jouduttu muutaman kerran muuttamaan, kun sitä kohti on ollut tulossa vaarallisen iso kantoraketin kappale tai sammunut satelliitti.

”Ongelma on kaksijakoinen. Ensinnäkin riesana on romu, joka avaruudessa jo on, ja sitten on yhä kiihtyvällä vauhdilla kasvava määrä uutta romua. Huippuyksikön yhtenä tehtävänä on selvittää, millaiset avaruuden olosuhteet kohdistuvat satelliittien lisäksi myös tähän avaruusromuun.”

Esimerkiksi ionosfäärin kulloisetkin ominaisuudet vaikuttavat siihen, millaisella aikataululla matalilla kiertoradoilla kiertävät satelliitit palaavat Maan ilmakehään. Toisaalta säteilyolot vaikuttavat siihen, kuinka pitkä satelliitin elinkaari on. Jos tutkimuksen myötä pystytään kehittämään tehokkaampia keinoja säteilyltä suojautumiseen, satelliittien käyttöikä pitenee eikä niitä ole tarpeen laukaista avaruuteen yhtä tiuhaan tahtiin.

”Kolmantena tavoitteena on kehittää satelliitteja siten, että ne voitaisiin tehtävän tai toiminnan päätyttyä palauttaa tavalla tai toisella Maahan, jolloin ne eivät jäisi kuolleina kummittelemaan kiertoradalle.”

Teoria ja käytäntö kohtaavat esimerkiksi siinä, että toistaiseksi Vlasiatorin toiminta-alue ei ulotu riittävän lähelle Maata. Tarkoituksena on kehittää mallinnusta sillä tavalla, että siihen voidaan syöttää aurinkotuulesta saatu mittausdata ja sen pohjalta saadaan tietoa siitä, millaiset olosuhteet valitsevat Maan lähiavaruudessa etäisyyksillä, joilla geostationääriradan satelliitit kiertävät.

”Miljoonan dollarin kysymys onkin, milloin siihen päästään. Tällä hetkellä Vlasiator toimii vielä kaksikulotteisesti eli avaruuden oloja pystytään mallintamaan vain yhdessä tasossa. Meidän on pystyttävä samaan aikaan lisäämään malliin kolmas ulottuvuus ja venyttämään sitä lähemmäs maapalloa.”

Tämä kasvattaa huomattavasti vaatimuksia laskentatehon suhteen, mutta siinäkin voi käyttää osittain kiertotietä. Niin kutsutun adaptiivisen hilan avulla pystytään muokkaamaan laskentapisteen tiheyttä siten, että niitä on sitä tiheämmässä mitä lähempänä Maata ollaan. Samalla laskentapisteen päivytystä muokataan sillä tavalla, että halutuissa paikoissa se tapahtuu harvemmin, jos muu-

toksia ei ole odotettavissa kovin usein. Kumpikin kikka keventää laskentaa huomattavasti – tarkkuudesta tinkimättä.

Kestävän avaruustekniikan kohdalla teorian ja käytännön yhdistäminen on iso haaste. Satelliittitekniikan kehittyessä ja rakettilaukaisujen hinnan laskiessa – kiitos kaupallisten toimijoiden – on entistä edullisempaa lähettää vain tiettyä tarkoitusta varten rakennettu satelliitti tai vaikka suuri joukko pieniä nanosatelliitteja.

”Ongelmana on ollut, että mittauksia tekevä satelliitti ei ole ikinä oikeaan aikaan oikeassa paikassa, ei ikinä. Tilanne muuttuu, jos lähetetään vaikka kymmenentuhatta satelliittia, jolloin pistemittauksia saadaan paljon laajemmalta alueelta, mikä taas antaa paremmat lähtökohdat mallinnukselle. Kääntöpuolena on tietysti avaruusromun määrä, joka kasvaa kestävämmäksi, ellei ongelmaan kehitetä toimivaa ratkaisua.”

11-vuotista sykliä seuraava Auringon aktiivisuus on nyt lähestymässä minimiä, joten seuraavaan maksimiin on aikaa arviolta kuutisen vuotta. Missä vaiheessa avaruussään tutkimus on silloin?

”Kyllä meillä on siinä vaiheessa käytössä kolmiulotteinen Vlasiator, jolla pystytään mallintamaan myös magnetosfäärin sisäosien olosuhteita. Varsinaisia ennusteita ei välttämättä pystytä silloin vielä laatimaan, mutta syy-seuraussuhteet ymmärretään paljon paremmin. Ja se on ehdoton edellytys myös ennusteiden tekemisen kannalta.”

Vaikka Suomi ei ole avaruustutkimuksen johtavia maita – ensimmäinen suomalainen satelliitti saatiin kiertoradalle vasta viime vuonna – suomalaista osaamista ja tekniikkaa on ollut mukana monessa luotainhankkeessa. Palmrothin johtaman huippuyksikön työllä on pitkät ja samalla velvoittavat perinteet.

”Voidaan jopa sanoa, että Suomi on avaruussään tutkimuksen suurvalta. Meillä on aloitettu Maan magneettikentän mittaukset vuonna 1838 eli jo ennen maanpäälliseen säähän liittyviä mittauksia. Ja nyt meillä on Vlasiator, joka on ensimmäinen Maan kokoisen magneettikentän mallintamiseen pystyvä simulaatio.”

#### MARKUS HOTAKAINEN

Kirjoittaja on tietokirjailija ja tiedetoimittaja.

## KIISTA TAMPEREEN UUDEN YLIOPISTON AUTONOMIASTA

Tampereen uuden yliopiston on määrä aloittaa toimintansa 1.1.2019. Uuden yliopiston johtosääntö aiheutti helmikuun alussa ulosmarssin ja palaute-ryöpyn Tampereen yliopistossa. Tampereen uuden yliopiston kiistellyssä johtosäännössä on todettu olevan lainvastaisia kirjauksia, jotka rajaavat yliopistojen perustuslailla turvattua itsehallintoa.

Professoriliiton paikallisosaston puheenjohtaja **Mari Hatavara** pitää erittäin valitettavana uuden korkeakoulu-yhteisön näkemysten sivuuttamista vielä johtosääntöluonnoksen kommentointivaiheessakin. Kahdesta yliopistosta ja yhdestä ammattikorkeakoulusta muodostuvaa korkeakoulu-yhteisöä edustavan Tampere3-neuvottelukunnan vaatimukset lainvastaisten kirjausten muuttamisesta eivät tuottaneet tulosta.

Yliopistoyhteisön keskeisten ryhmien edustajat ovat jättäneet aiheita koskevan kantelun eduskunnan oikeusasiamiehelle. Lainvastaisuudet käyvät ilmi lausunnoista, jotka yliopistoyhteisö on pyytänyt julkisoikeuden professori **Juha Lavapurolta** (Turun yliopisto) ja hallinto-oikeuden professori **Olli Mäenpäältä** (Helsingin yliopisto). Lainvastaisuuksia sisältyy esimerkiksi kirjauksiin siitä, miten yliopiston hallitus nimitetään ja kuka toimii yliopiston monijäsenisen hallintoelimen puheenjohtajana. Oikeusasiamiehelle jätetyssä kantelussa pyydetään selvittämään Tampereen yliopiston siirtymäkauden hallituksen menettelyjen sekä johtosäännön lainmukaisuus.