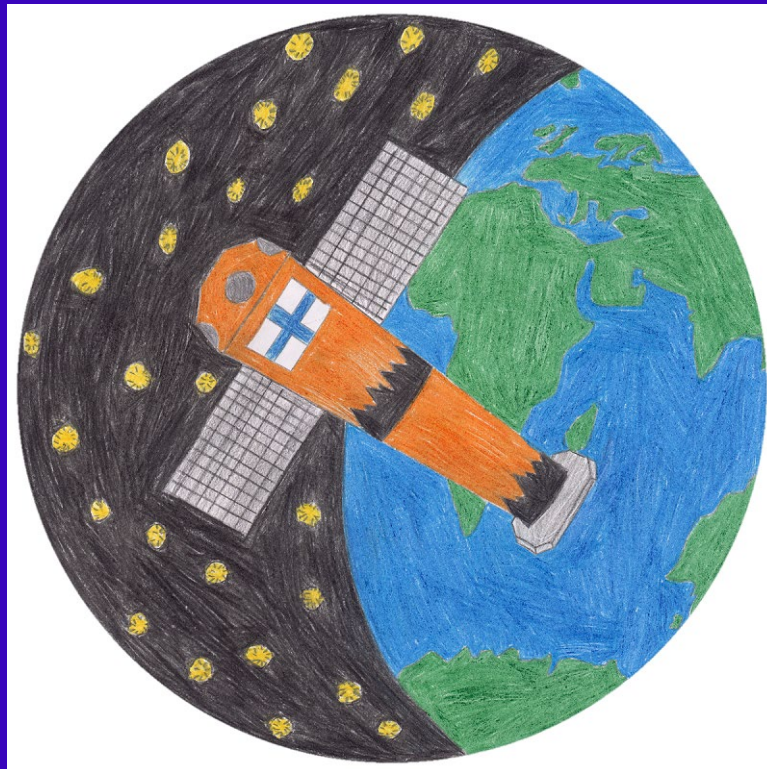


Suomi ESA:n jäsen 30 vuotta

Kolme vuosikymmentä yhteistyötä ja menestystarinoita



Kansikuva: Nurmijärven Mäntysalon koulun (opettaja: Pasi Nuutinen) voittajakuva ESA:n piirustuskilpailussa, jonka aiheena oli "Draw me a telescope" (piirrä minulle teleskooppi) XMM-Newton röntgenteleskoopista

Toimittajat Tuija Ypyä ja Pauli Stigell.

Abstract

This online publication is a short Finnish research history of, mainly, the period of 1995-2025. Finland joined European Space Agency in 1987 as Associate Member and in 1995 as Full Member. Earlier histories have described the process of joining ESA. On this publication 17 key persons describe their recollections of the early days, the work, the successes and also of the start of the New Space Era.

The Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland thanks the contributors that described Finnish space science, remote sensing, space safety, and pioneering and New Space engineering and corporate successes: professors Martti Hallikainen (Aalto University), Jarkko Koskinen (National Land Survey), Johanna Tamminen (Finnish Meteorological Institute), Hannu Koskinen (University of Helsinki), Rami Vainio (University of Turku), Ari-Matti Harri (Finnish Meteorological Institute), Minna Palmroth (University of Helsinki), Dr. Juhani Huvelin (University of Helsinki; founder of Isaware Oy), engineers Tuomas Tikka (founder of Kuva Space Oy), Taisto Tuominen (Project Manager, PA/QA Manager RUAG Space Finland Oy), Pekka Laurila (founder of Iceye Oy), Maria Genzer (Finnish Meteorological Institute), delegates to ESA Kari Tilli (Tekes), Håkan Sandell (Tekes), Petri Peltonen (Ministry of Economic Affairs and Employment), Tuija Ypyä (Ministry of Economic Affairs and Employment).

The publication has been compiled by long-term Finnish delegates Pauli Stigell and Tuija Ypyä.

ESAn pääjohtajan tervehdys – Greetings from ESA Director General Josef Aschbacher

It gives me great pleasure to celebrate not only ESA's 50th anniversary this year, but also the 30th anniversary of Finland becoming an ESA Member State.

It's amazing to think that the earliest discussions about Finnish participation in European space cooperation date all the way back to 1968. However, it was not until 1987 that Finland became an Associate Member of the Agency, first taking part in ESA's Science, Earth Observation and Telecommunication programmes. 1995 was a doubly historic year for Finland since it was then that it acceded both to ESA and the European Union. At the time, ESA had 13 other Member States, with the total having reached 23 today.

Jean-Marie Luton, ESA's Director General at the time, said that "Finland's accession to the ESA Convention is a clear sign of the importance and value of European cooperation on space and strengthens our position at a time when major space projects are becoming international programmes." Today, Europe is facing very different challenges in light of the profound evolution of the space sector, climate change and Russia's invasion of Ukraine.

The successes of 30 years of ESA membership are there for all to see: the Finnish space sector currently encompasses 70 companies, employs approximately 13,000 people and generates annual turnover of over €4 billion, with companies developing technology and providing satellite services having benefited in particular.

Finnish industry and research centres have provided components for many of our flagship missions, such as the remote interface units for Juice, which was launched in 2023 and is now on its way to reach Jupiter in 2031. Our asteroid mission Hera, launched in October 2024, includes a Finnish contribution in the form of an asteroid spectral imager on board the Milani CubeSat. Finland also played a crucial role in the Arctic Weather Satellite, also launched in 2024, which serves as a pilot for Arctic weather nowcasts and forecasts and is set to improve weather forecasting globally. In short, a whole host of Finnish assets are flying through space as we speak.

I greatly value Finland's constructive and active participation in the various ESA bodies and forums, as well as our partnership with Business Finland and the Ministry of Economic Affairs and Employment. The Finnish approach to bringing the space and non-space sectors together, with a focus on competitive start-ups, resonates perfectly with ESA's ambitions and objectives.

On a personal note, Finland also evokes many fond memories for me, with just one highlight being the visit of ESA astronaut Luca Parmitano to Helsinki in 2023.

Congratulations Finland on three decades of ESA membership!

Avaruusvirastomme ESA ja 30 yhteistyön vuotta

Suomellahan ei ole omaa avaruusvirastoa, kuulen usein sanottavan. Ei, meillä ei ole omaa kansallista avaruusvirastoa, mutta oma avaruusvirasto meillä on, yhdessä muiden eurooppalaisten maiden kanssa.

Euroopan avaruusjärjestö ESA on ollut avaruusvirastomme jo 30 vuotta. Tuona aikana suomalainen avaruussektori on kehittynyt valtavasti, muuttuen tutkimuspainotuksesta ja järjestelmätoimittajasta omia avaruusjärjestelmiä operoivaksi ja avaruusdataan perustuvia palveluja tuottavaksi vahvan kasvun alaksi. Tässä kehityksessä ESA:lla on ollut merkittävä rooli: ESA:n kautta suomalaiset yritykset ja tutkimusorganisaatiot voivat osallistua kansainvälisiin, huipputeknologian tutkimus- ja kehittämishankkeisiin sekä edistää maailman johtavia avaruustieteen saavutuksia. Myös ESA:n antama asiantuntemus, olipa kyse kansallisen avaruuslainsäädännön valmistelusta tai teknisten valmiuksien arvioinnista, on välttämätöntä Suomen kaltaiselle pienelle jäsenvaltiolle.

Tuore kansallinen avaruusstrategia tunnistaa ESA:n merkityksen jatkossakin. Kansallisen avaruusstrategiamme ytimessä ovat avaruuden kestävä käyttö, avaruustoiminnan hyödyntäminen laajasti yhteiskunnassa, ml. turvallisuus ja ympäristön seuranta, monipuoliset liiketoimintamahdollisuudet ja kansainvälinen yhteistyö. Näitä teemoja olemme sitoutuneet edistämään myös ESA-yhteistyössä. Avaruusalan murroksessa on tärkeää, että ESA toimii tehokkaasti ja nopeuttaa Euroopan teollisuuden uudistumista. Muuttuva avaruusala on nähtävä mahdollisuutena kaikille toimijoille, myös pk-yrityksille.

Avaruus kiinnostaa ja kiehtoo ihmisiä. Kukapa meistä ei kääntäisi katsettaan taivaalle superkuun valaisemina öinä tai revontulten kajastaessa Etelä-Suomessakin. Odotamme avaruusasemaa Kuuhun ja ensimmäistä lentoa Marsiin. Kuitenkin samaan aikaan kouluissa kiinnostus luonnontieteisiin on heikentynyt. Toivon, että jatkossakin ESA tuo avaruuden lähellemme, toisaalta lisäten ymmärrystä aurinkokunnastamme ja naapuriplaneetoistamme, toisaalta mahdollistaen avaruusteknologiaan perustuvat yhteiskunnan palvelut niin viestintään, ympäristön seurantaan kuin pelastustoimeenkin. Yhä parempi ymmärrys avaruustoiminnan mahdollisuuksista houkuttelee nuoria, erityisesti tyttöjä, opiskelemaan ja työskentelemään teknologia-aloilla.

Tässä juhlijulkaisussa on useita huippuhetkiä Suomen ESA-jäsenyyden ajalta. Vaikka ikimuistoisin oma muistoni ESA-delegaattina oli varmasti BepiColombon laukaisu Ranskan Guyanassa, tärkeimpiä huippuhetkiä ovat ne lukuisat eurooppalaisen yhteistyön kokemukset muiden jäsenmaiden delegaattien kanssa pitkien kokouspäivien ja neuvottelujen jälkeen, kun tunsimme saavuttaneemme jotain uutta yhdessä. Jatkossakin voimme eurooppalaisella yhteistyöllä voimme varmistaa tulevan menestyksemme avaruudessa. Toivotan Suomelle onnea 30 vuodesta ESA:n jäsenenä ja lukuisia jäsenvuosikymmeniä tästä eteenpäin!

Maija Lönnqvist

Avaruusasiain neuvottelukunnan puheenjohtaja

Sisällysluettelo

.....	1
ESAn pääjohtajan tervehdys – Greetings from ESA Director General Josef Aschbacher	3
Avaruusvirastomme ESA ja 30 yhteistyön vuotta	4
Sisällysluettelo	5
Suomi 30 vuotta Euroopan avaruusjärjestössä	6
ESAn organisaatio	7
Suomen avaruustoiminta	11
Kaukokartoitus	13
Martti Hallikainen, Aalto yliopisto - Avaruusinsinöörejä tutkimukseen ja teollisuuteen.....	16
Jarkko Koskinen, Maanmittauslaitos - Muistoja ESAsta.....	27
Johanna Tamminen, Ilmatieteen laitos – Kaukokartoi-tushavaintoja ja havaintoja kaukokartoituksesta .	30
Tuomas Tikka, Kuva Space Oy - Kuva Spacen matka kiertoradalle Euroopan avaruusjärjestö ESAn tukemana.....	35
Avaruustiede	38
Hannu Koskinen, Helsingin yliopisto - Helsingin yliopiston avaruusfysiikan emeritusprofessori Hannu Koskisen kertomus urastaan ja ESA hankkeista, joista yksi oli Rosetta.....	40
Maria Genzer, Ilmatieteen laitos - Löytöretkillä aurinkokunnassa	45
Rami Vainio, Turun yliopisto - SOHOsta HENONiin: Auringon hiukkasmittauksia ESAn luotaimilla vuodesta 1995	50
Taisto Tuominen, RUAG Space Finland Oy:stä - Eräs polku ESA:n satelliittihankkeisiin	54
Juhani Huovelin, Isaware Oy - Minun tarinani Suomen ESA-jäsenyyden 30-vuotistaipaleella	59
ESA-yhteistyö laajenee	64
Ari-Matti Harri, Ilmatieteen laitos – Aurinkokunnasta Avaruustilannekeskukseen	68
Minna Palmroth, Helsingin yliopisto - Clusterista Vlasiatoriin, eli miten ESA:n Cluster-satelliitti vaikutti maailman tarkimman avaruusolosuhteita simuloivan mallin syntyyn.....	72
Avaruustoiminta VTT:llä	75
Pekka Laurila, ICEYE Oy, ICEYE:n tarina - Suomalainen avaruusseikkailu, joka ylitti kaikki odotukset	80
ESAn hallinto	86
Kari Tilli, Tekes - Eurooppalaista avaruusyhteistyötä edistämässä	91
Petri Peltonen, TEM - Very old space – Old space – New space	94
Håkan Sandell, Tekes - Avaruusasioihin liittyvä työni 1967-2012	97
Tuija Ypyä, Avaruusteknologiaa taivaalle	104
Avaruudesta inspiraatiota	109
Liite: Muutamia Internet-lähteitä	111

Suomi 30 vuotta Euroopan avaruusjärjestössä

Euroopan avaruusjärjestö (ESA, European Space Agency) on itsenäinen eurooppalainen monikansallinen organisaatio, joka vastaa Euroopan avaruustutkimuksesta ja -teknologiasta. Suomen liittymisestä valtiosopimuksella Euroopan avaruusjärjestöön tulee kuluneeksi 30 vuotta. Liittyminen oli merkittävä askel eteenpäin Suomen avaruusteknologian ja -tutkimuksen kehittämisessä.

ESA perustettiin 1.1.1975 ja viettää 50-vuotisjuhlaansa vuonna 2025. ESAlla on kaksi edeltäjää, ELDO (European Launcher Development Organisation) ja ESRO (European Space Research Organisation), jotka perustettiin vuosina 1962 ja 1964.

Työ- ja elinkeinoministeriö ja sen edeltäjä Kauppa- ja teollisuusministeriö on 1980-luvun puolivälistä alkaen edistänyt avaruusasioita Suomessa. Suomen liittymisestä ESAan on aiemmin tehty tutkimuksia, mm. Ilkka Seppisen **Suomalaisen avaruustutkimuksen historia** (2004). Haluamme nyt tallentaa Suomen täysjäsenyyden alun ja sen jälkeiset tapahtumat sekä siinä aktiivisesti toimineet henkilöt tuleville sukupolville juhlaulkaisuun.

Suomen liittyminen ESA:n täysjäseneksi tapahtui hitaasti mm. 1980-luvun lopun laman vuoksi. ESAan liittymisen vuotena avautuivat portit moniin muihinkin länsimaisiin järjestöihin, mm. Euroopan Unioniin, josta 2000-luvulla on tullut iso avaruustoimija ollen nyt järjestön suurin rahoittaja. Myöhemmin Suomi liittyi myös muihin kansainvälisiin avaruusalan yhteistyöelimiin, kuten YK:n avaruuskomitean COPUOSin jäseneksi vuonna 2018. Suomesta tuli NATO:n jäsen 4. huhtikuuta 2023. Suomi liittyi 21. tammikuuta 2025 Yhdysvaltojen Artemis Accords-yhteistyösopimukseen koskien avaruustutkimusta.

Suomella oli toki pitkät perinteet avaruustutkimuksessa, mutta vuonna 1995 saimme mahdollisuuden osallistua kaikkiin ESA-tutkimusohjelmiin. Tämä johti mm. merkittävään kotimaisen avaruusteollisuuden kehitykseen ja tutkimuksen voimakkaampaan kansainvälistymiseen. Euroopan avaruusjärjestön, Suomen avaruustutkimuksen ja yritysten yhteistyö on vahvistunut vuosien varrella. Olemme olleet mukana kaukokartoituksen ja satelliittipaikannuksen satelliittien rakentamisen lisäksi monien ohjelmistojen, mittalaitteiden, elektroniikkayksiköiden, sensoreiden ja tiedesatelliittien kehittämisessä. Suomen vahva mittalaitteosaaminen ja sensorien kysyntä maailmalla ovat tuoneet meille menestystä. Se vaati yrityksiltä vuosia erityisiä ponnisteluja, joilla noustiin Euroopan avaruusteollisuuden tunnettujen ja luotettavien toimijoiden kastiin.

Viime vuosina perinteisestä avaruusteknologiasta on siirrytty yhä pienempiin satelliitteihin, **Cubesat**-satelliitteihin, joiden massa on vain muutamia kilogrammoja. Tämä on tehnyt avaruustaloudesta mahdollisen myös pienyrityksille. Tämä ns. **”new space ecosystem”** on Suomessa elinvoimainen. Kansainvälistä huomiota saaneet Suomen uudet avaruusyritykset ovat toteuttaneet kymmeniä suomalaisia satelliitteja taivaalle. Uudet yritykset ja innovaatiot eivät kuitenkaan olisi mahdollisia ilman historiallista pohjaa ja vahvaa tutkimuksellista osaamista.

Julkaisuun on pyydetty kertomuksia ja muisteluja 30 vuoden mittaiselta avaruustaipaleelta henkilöiltä, jotka ovat osallistuneet avaruusalusten rakentamisprojekteihin, tehneet satelliittien keräämästä mittausaineistosta tutkimusta, olleet ESan hallintokoneistossa, tai työskennelleet ESAssa. Kiitämme heitä ja valitamme ettemme saaneet kaikkiin potentiaalsiin kirjoittajiin yhteyttä, lisäksi osa henkilöistä ei ehtinyt osallistumaan. Kuvat ovat joko kirjoittajien omia tai ESan jakelemia.

Julkaisu on keskittynyt kaukokartoituksen saavutuksiin, aurinkokunnan, planeettojen ja astrofysiikan tutkimukseen, avaruusteollisuuden rooliin ESAssa ja viimeaikaisiin kaupallisiin menestystarinoihin. Kirjoittajien myötä tutustumme ESA:n avaruusohjelmiin, nettilinkit johtavat ESA:n sivustoille ja tutkimusprojekteihin, sekä jo niistä julkaistuihin kirjoituksiin www.spacefinland.fi sivustolla.

Julkaisussa on kerrottu myös ESA:n hallinnosta ja mukana on artikkeleja henkilöiltä, jotka pääasiassa ovat vaikuttaneet hallintopuolella ja Suomen delegaatteina ESan lukuisissa komiteoissa.

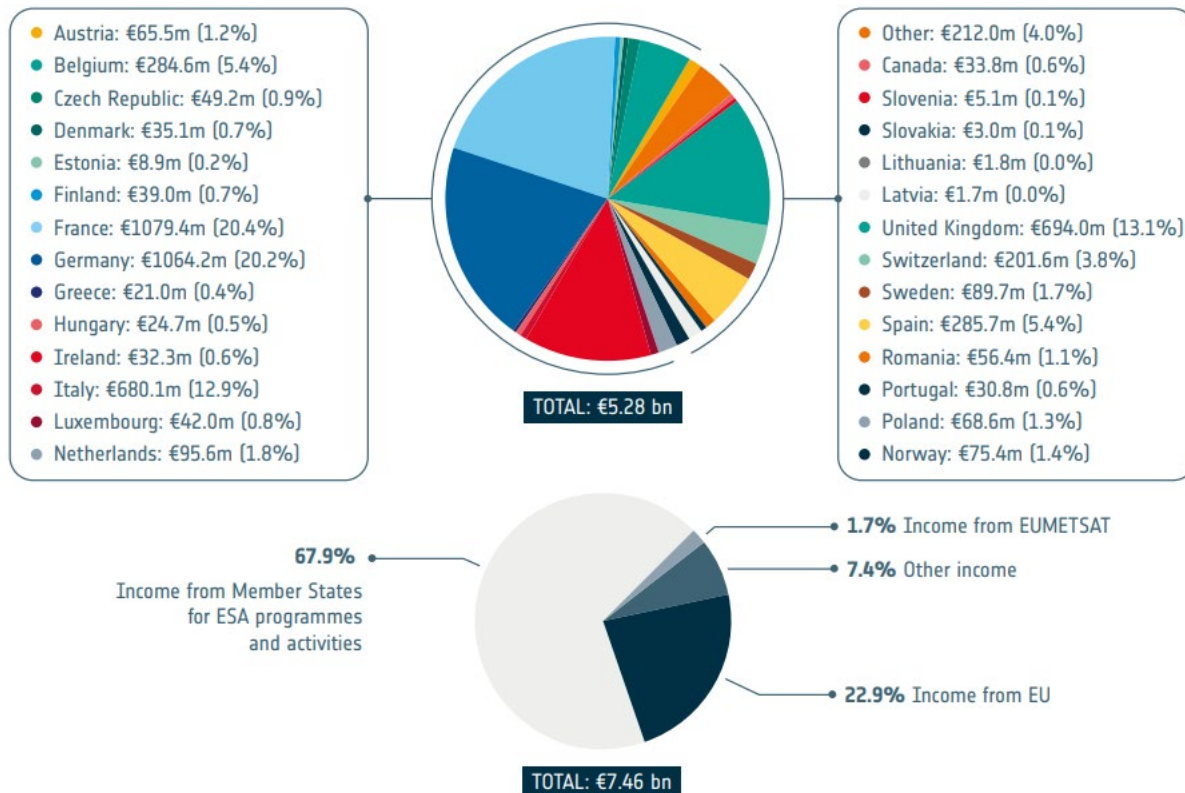
Lopuksi katsomme eteenpäin, mihin yhteistyö on menossa.

ESAn organisaatio

ESA on nykyisin 23 jäsenmaan organisaatio. Suomi oli liittyessään sen 14. jäsenmaa. Vuonna 1995 budjetti oli 350 miljoonaa "accounting units", joka on likimain sama määrä euroissa. Nyt vuosibudjetti on liki kahdeksan miljardia euroa.

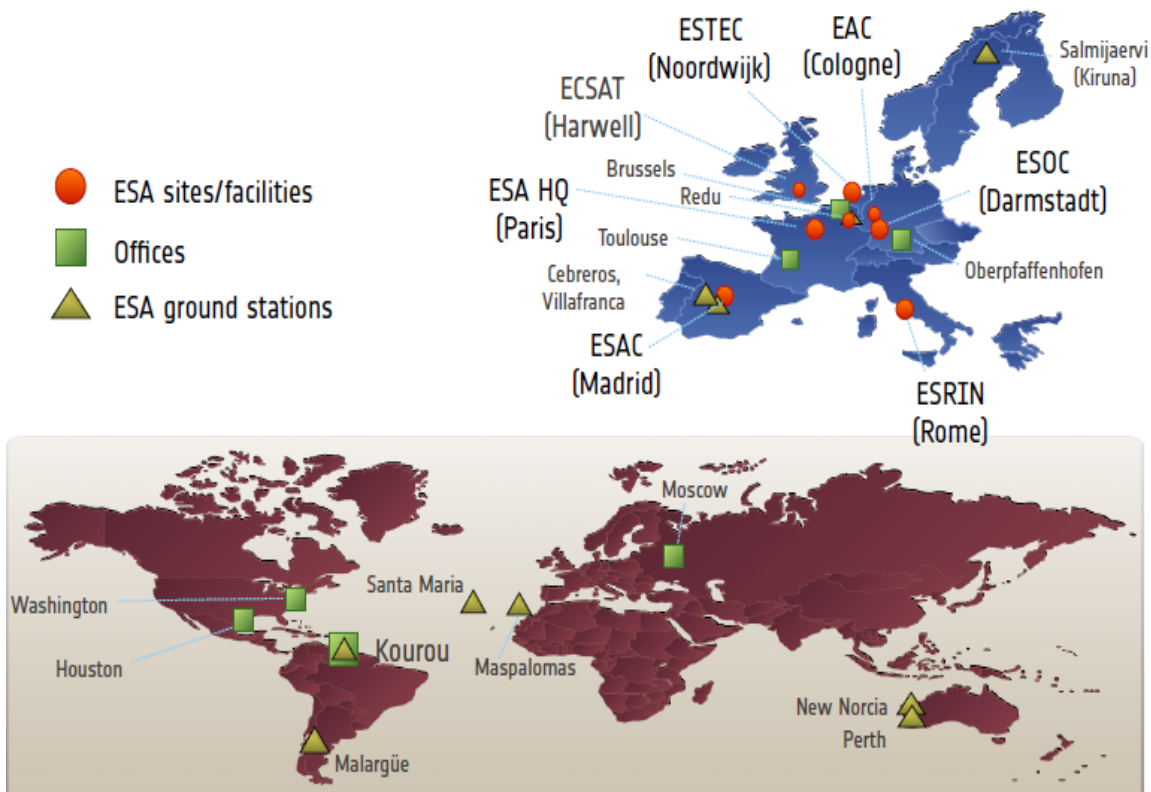


Kuva 1. ESan logo.

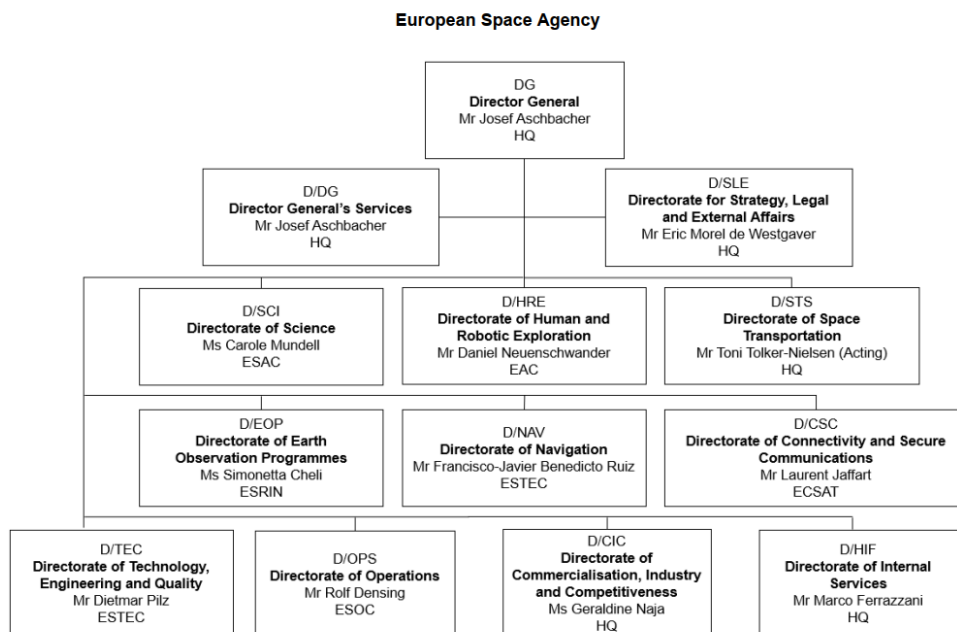


Kuva 2. ESan rahoitus vuonna 2023. Suomen BTK-osuus ESan rahoituksesta olisi 1,3-1.4 %, jota kohden on viime vuodet noustu ESan budjetin kuitenkin kasvaessa samaan aikaan nopeasti. Ranska, Saksa ja Italia rahoittavat avaruusjärjestöä likimain kansantalouksiensa koon suhteessa.

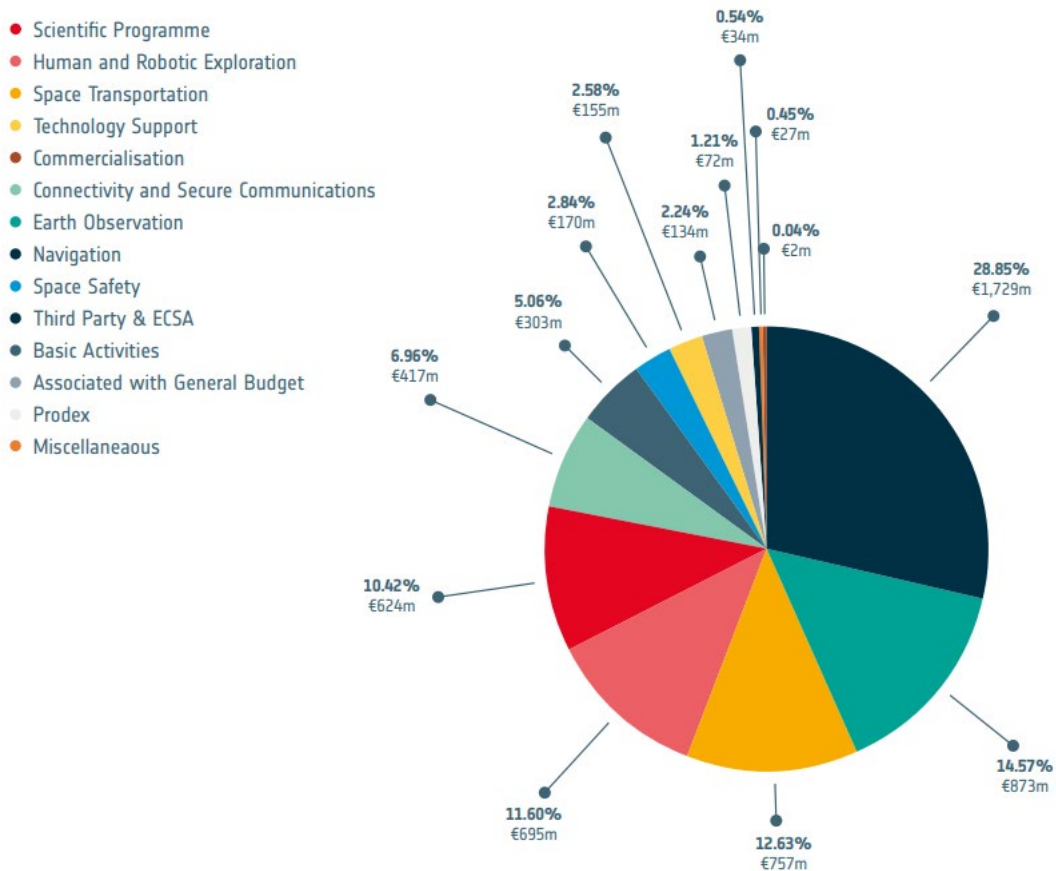
ESA koostuu useista direktoraateiksi kutsutuista osastoista, jotka sijaitsevat eri puolilla Eurooppaa. Pääkonttori on Pariisissa, jossa nykyisin miltei kaikki ESan ohjelmien asioista päättävät ESan ja jäsenvaltioiden komiteat kokoontuvat, tyypillisesti kukin 4 kertaa vuodessa. Kunkin komitean puheenjohtaja on jäsenmaan edustaja. ESan ylin päättävä elin on neuvosto. Järjestön pääjohtajana toimii itävaltalainen Josef Aschbacher. Pääjohtaja valitaan 5 vuoden kausiksi, nyttemmin enintään kahdeksi kaudeksi. ESAssa työskentelee noin 2500 vakinaista työntekijää ja likimain sama määrä alihankkijoiden työvoimaa. Muutamia kymmeniä suomalaisia työskentelee järjestössä, tämäkin määrä on pitkälle maan koon mukaan määräytyvä. Jäsenmaat päättävät joka kolmas vuosi ESan ohjelmien budjeteista ministerikokouksissa - seuraava on 26.-27. marraskuuta 2025 Bremenissä. Tällöin avaruusjärjestö linjaa myös tulevaisuutensa strategista suunnitelmaa.



Kuva 3. ESan keskuksat Euroopassa. ESTEC Hollannissa on ESan teknologiakeskus, jossa se testaa avaruusaluksensa. EAC Kölnissä on astronauttien koulutuskeskus. ESOC Darmstadtissa on avaruuslentojen lennonjohtokeskus. ESRIN Rooman vieressä on kaukokartoituksen keskus. ESAC Madridin lähellä on avaruustieteen keskus. ECSAT Oxfordin alueella on satelliittitietoliikenteen keskus, se on ainoa EU-alueen ulkopuolella. Lisäksi ESAlla on mm. kantoraketien laukaisukeskus Etelä-Amerikassa, Kouroussa, Ranskan Guyanassa, sekä suuria planeettalentojen tarvitsemia tietoliikenneantenneja Australiassa.



Kuva 4. ESan organisaatio ja ylimmät johtajat vuoden 2025 alussa.



Kuva 5. ESan ohjelmat ja niiden budjetit: Tiedeohjelma (Science Programme) ja perustoiminnot (Basic Activities) ovat ESan runko: ne ovat kaikille maille pakollisia ohjelmia, joihin panostetaan BKT:n suhteessa - jälkimmäinen osuus rahoittaa ESan infrastruktuuria ja perusteknologioita.

Rakettiohjelma (Space transportation) on suuri – se on viimeksi kehittänyt Ariane 6- ja Vega C-raketit. Teknologiaohjelman GSTP (Technology support) on merkittävä osa teknologista tutkimusta mahdollistaen ESA-toimintaan liittymisen ilman aiempaa avaruuslentokokemusta. Kaukokartoitus- (Earth Observation) ja paikannusohjelmat (Navigation) ovat suuria, ensimmäinen toteuttaa ESan omia tieteellisiä kaukokartoitussatelliitteja ja EU:n Copernicus-ohjelman Sentinel-satelliitteja. Jälkimmäinen toteuttaa Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmää ja sitä täydentäviä teknologioita. Space Safety eli avaruusturvallisuusohjelma on tieteestä operatiiviseksi toiminnaksi muuntunut avaruussään, maan kiertoradoilla liikkuvien kappaleiden seurannan, ja maan ohi lentävien asteroidien ja komeetoiden tutkimuksen kokonaisuus. Tietoliikennesatelliittiohjelma (Connectivity and Communications) ohjelma toteuttaa nyt mm. EU:n IRISS-satelliittijärjestelmää. Kaupallistaminen (Commercialisation) on uusi ohjelma, joka pyrkii monin keinoin nopeuttamaan alan yritysten kasvua, esim. Espoon Otaniemessä, Tampereella ja Vaasassa toimivien ESA BIC-yrityskiihdyttämöiden avulla. Prodex on ohjelma, joka rahoittaa tieteellisten mittalaitteiden kehittämistä avaruuslentoja varten. Suomi osallistuu kaikkiin ohjelmiin paitsi rakettiohjelmaan. Astronauttilentojen ja Kuu-, Mars- jne. tutkimuksen ohjelmaan (Human Spaceflight and Exploration) Suomi liittyi vuoden 2023 alussa.

Suomen avaruustoiminta

Avaruustoimintana pidetään sitä avaruustutkimuksen (ml. maapallo) osaa, jota tehdään satelliittien ja avaruusluotainten avulla. 1950-luvun lopussa toiminta oli pelkästään tieteellistä tai sotilaallista mutta kaupalliset palvelut, esim. TV-kuvan välitys mannerten välillä, tulivat pian mukaan.

ESAn Tiedeohjelman puitteissa Suomi on osallistunut 35 vuoden aikana avaruustutkimuksessa käytettävien satelliittien ja niiden tutkimusinstrumenttien rakentamiseen ja datan keräämiseen. Datan jalostaminen tieteeksi oli alkanut jo aiemmin. Tieteelliset tutkimusinstituutit yliopistoissa (joissa on ollut pitkään tähtitieteen opetusta ja tutkimusta), Ilmatieteen laitos (joka sään ja merijään lisäksi on pitkään tutkinut mm. Auringon vaikutusta Maan ionosfääriin) olivat avainasemassa ESAn tieteellisen hyödyntämisen aloittamisessa. Suomen avarusteollisuus aloitti 1980-luvun puolivälissä tiedelaitteiden rakentamishankkeissa, joita kuvataan tässä julkaisussa.

Suomi on osallistunut erityisesti kaukokartoituksen, tietoliikenteen ja navigoinnin vapaaehtoiisiin ohjelmiin. Vuonna 2010 Suomi lähti mukaan avaruustilannekuvaohjelmaan, josta tuli avaruusturvallisuusohjelma (Space Safety Programme, S2P). Suomi liittyi vuonna 2023 alusta ESA:n miehitettyjen lentojen ohjelmaan ([Terra Nova](#)). Tukevat tukeviin teknologiaohjelmat (GSTP, ARTES, EOPP, NAVISP, CTP, TDE) valmistelevat tuleviin avaruuslentoihin ja maanpäällisiin sovelluksiin.

Suomalaiset yritykset hyötyvät yhteistyöstä ESA:n parissa ja osallistumisesta monikansallisiin hankkeisiin, kuten Galileo-navigointijärjestelmään ja Copernicus-kaukokartoitusohjelmaan. Metsiä, vesi- ja malmivaroja jne. tutkivat LUKE, SYKE, VTT, Maanmittauslaitos, useiden yliopistojen luonnonvaroja tutkivat tiedekunnat ja erään alan yritykset (esim. Arbonaut) siirtyivät kansallisesta tutkimuksesta ESAn satelliittien keräämän datan hyödyntämiseen, sittemmin Euroopan komission puiteohjelmien ja Copernicus-järjestelmän käyttöön.

ESA:n ohjelmat tarjoavat suomalaisille yrityksille mahdollisuuksia laajentaa toimintaansa ja päästä osaksi niin suuria projekteja, joita mikään maa ei pysty yksinään toteuttamaan. Yhteistyö jatkunut myös Cubesat-satelliittihankkeissa, uudessa avaruustoiminnassa. W-cube on ESA:n ensimmäinen Suomesta tilaama kokonainen satelliitti. Pienemmistä satelliiteista pääosa on kuitenkin toteutettu yritysten ja yliopistojen toimesta kansallisesti tai kaupallisina vientitoimituksina. Tällä hetkellä [Suomen avaruusesineiden rekisterissä](#) on 29 satelliittia.

Avaruusalan tieteellisten mittalaitteiden ja satelliittien runkojen, elektroniikan sekä ohjelmistojen toteutus Suomessa alkoi keväällä 1985. Ilmatieteen laitos sekä Turun ja Oulun yliopistot sekä mittausdatan tieteellisinä hyödyntäjinä että sensoreiden toteuttajina, VTT ja Hollming Oy teknisinä toteuttajina olivat pioneereja. Pian mukaan tulivat Space Systems Finland, Insinööritoimisto Ylinen, Outokumpu ja muita. 1990-luvulla nähtiin Euroopan ja Yhdysvaltain suurten ilmailu-, puolustus- ja avaruusyritysten fuusioita, jolloin osa globaalisti tutuista nimistä katosi. Samanlainen avaruusteknologia-alan uusiutuminen tapahtui myös Suomessa ja yritysten muuntuessa nimet vaihtuivat: Beyond Gravity, DA-Design, HAPR Technologies, Huld, Oxford Instruments omaavat juuret avaruustoiminnoissaan 1980-luvulle. Nyt suomalaista teollista osaamista on ohjauselektroniikassa, tehonsäätöelektroniikassa, ohjelmistoissa, hiilikuiturakenteissa, röntgen- ja partikkeli-instrumenteissa, SAR-tutkatekniikassa, millimetri- ja mikroaaltoalueen komponenteissa, ja kokonaisissa satelliiteissa vuodesta 2017 lähtien.

TEM on rahoittanut Suomen ESA-toimintaa suoraan ja Business Finlandin (aiemmin Tekesin) kautta. Linjauksia siihen, mihin panostetaan, on luotu **Avaruusasian neuvottelukunnassa**. Vuosien 2018-25 avaruusstrategia oli alkuvuosien jälkeen voimakkaimmin kasvuun tähtäävä. Valtion panostus ESA-toimintaan lähti vuonna 2019 merkittävään kasvuun. Uusin strategia vuosille 2024-30 julkaistiin viime vuoden lopulla.

New Space-kausi alkoi keväällä 2017 Aalto-1-Cubesat-satelliiti laukaisulla, jota edelsi muutama vuosi satelliitin kehitystyötä opiskelijoiden toimesta. Sitä seurasi Iceye-tutkasatelliittiyhtiön läpimurto maailman kärkeen. Sitä seuraa mm. Kuva Space Oy, jonka havaintoteknologia on perua Aalto-1-satelliitissa käytetystä VTT:n kehittämästä teknologiasta. Uusia teknologioita ovat mm. hyperspektrikuvaus (Kuva Space ja VTT), propulsio (Aurora Propulsion), modulaariset satelliitit (ReOrbit) ja kokonaiset SAR-tutkasatelliitit (Iceye).

Kaukokartoitus

Suomi aloitti lentokoneista tehtävän kaukokartoituksen, ilmakuvaamisen, itsenäisyyden alkaessa. Tykistökenraali Nenonen kehitti - nuorempana upseerina - lentokuvauksen laatuun vaikuttavia tekniikoita - toisessa maailmansodassa ilmakuvaamisella oli oma arvonsa Suomellekin. Sen jälkeen voimayhtiöt, metsäyhtiöt, kaivosyhtiöt, Geologian tutkimuslaitos ja Maanmittauslaitos sekä Ilmavoimat ja esim. Karair Oy toimivat yhteistyössä - hankittiin yhteiskäyttöön lentokoneita ja luotiin keinoja arvioida metsävaroja, varautua kevättulviin, löytämään reittejä talvimerenkululle jäisessä meressä, etsittiin malmeja.

1960-luvulla alkoi sääsatelliittien datan vastaanotto – Väisälä Oy myi niiden vastaanottoasemia globaalisti. Se loi ensimmäisen aikeen liittyä Euroopan avaruusjärjestöön. Ilmatieteen laitos otti satelliittidatan sen operatiiviseen säänennustustoimintaan ja Suomi liittyi eurooppalaiseen, ESA:n luomaan, **EUMETSAT-sääsatelliittijärjestöön** vuonna 1983.

Optisella aallonpituusalueella toimivien satelliittien Suomesta ottamia kuvia opeteltiin käsittelemään ja käyttämään. Suomen sijaitessa pilvisellä vyöhykkeellä tutkasatelliitteihin syntyi välitön kiinnostus, kun niitä alkoi tulla käyttöön 1980-luvulla. ESA:ssa vuodesta 1987 alkaen suomalaiset tutkijat osallistuivat ESA:n tieteellisen tutkimuksen kaukokartoitussatelliittien datan jalostusprojekteihin ESA:n ja kansallisella rahoituksella. Toimijoina olivat ja ovat SYKE, METLA (LUKE), Geodeettinen laitos (Maanmittauslaitos), VTT, TKK (Aalto) ja Helsingin yliopisto, Itä-Suomen yliopisto ja harvoja yrityksiä, joiden määrä on 2000-luvulla kasvanut merkittävästi.

Yritystoimintaan liittyi 1990-luvulla ESA:n kaukokartoitussatelliittien mittalaitteiden kehittämistä, esim. maaperän kosteutta ja meren suolaisuutta mittaava **SMOS**, ja mm. ilmakehän otsonia mittaava **ENVISAT**. Kun Euroopan Unioni perusti 2000-luvun alussa GMES-järjestelmän (nykyään Copernicus-järjestelmä ja sen Sentinel-satelliitit) toteutuksen alkaessa suomalaiset tutkijat ja avaruusalan yritykset olivat jo ovat kilpailukykyisiä, etenkin SAR-tutkatekniikassa.

2010-luvulla Aalto-yliopistossa kehitetty **Aalto-1-piensatelliitti**, joka laukaistiin avaruuteen toukokuussa 2017, synnytti Suomeen - vähän aiemmin Yhdysvalloista alkaneen - New Space-avaruustoiminnan. Aalto-1 on massaltaan kolme kilogrammainen nanosatelliitti.

Tämä satelliitti kehitettiin Aalto-yliopistossa sen omalla rahoituksella. Sen rakentaminen sekä teknologiset innovaatiot saivat tukea ESA-yhteistyöstä. Projekti käynnistyi vuonna 2010 tuolloin aivan uuden Aalto-yliopiston vararehtorin Tuija Pulkkinen rahoituspäätöksellä ja professori Jaan Praksin johdolla. Satelliitin esitutkimusta johti Hollannissa väitellyn Antti Kestilä, joka oli mukana Iceyen perustamisessa ja toimii nyt tutkijana Ilmatieteen laitoksella. Satelliitti oli yliopiston ensimmäiseksi satelliitiksi monimutkainen ja sen toteutus kesti viitisen vuotta. Se loi uudenlaisen oppimistavan yliopistoon ja johti Suomen merkittäväksi Cubesat-maaksi. Jaan Praksin järjestämät Dipolisissa tammikuussa pidettävät Winter Satellite Workshopit ovat vakiintuneet alan suomalaisiksi ja eurooppalaiseksi kokoontumisfoorumiksi. Tuija Pulkkinen toimii Michiganin yliopistossa professorina vaikuttaen NASAn tiedeohjelmiin.

Aalto-1 ja sen Fabry-Perot-spektrikamera kehittyivät Reaktor Oyn avaruusyksikön kautta Kuva Space Oyn kaukokartoitussatelliitin instrumentiksi. Yrityksen ensimmäinen satelliitti Hyperfield-1 lähti

avaruuteen elokuun lopulla 2024. Kuva Space kehitti tämän satelliitin teknologiaa ESan kaukokartoitusohjelmassa.

Aalto-1-pohjalta syntyi Iceye-tutkasatelliittiyritys. Iceye Oy nousi muutamassa vuodessa maailman tunnetuimpien satelliittiyhtiöiden joukkoon. Yrityksessä toimii 2025 alussa yli 800 työntekijää useissa maissa, päätoimintojen sijaitessa Espoon Otaniemessä.

Taulukko 1. ESan kaukokartoitusohjelmassa ja ESan ja EU:n Copernicus-yhteisohjelmassa puiteissa toteutetut satelliitit, joissa suomalainen tiedelaite-hyötykuormaosuus tai satelliitin järjestelmiin liittyvä teollinen osuus, jonka toteuttajan nimeksi on laitettu toimijan nykyinen nimi. Tämän lisäksi satelliittien keräämän datan hyödyntäjiä on sekä tieteessä, operatiivisessa käytössä että yritysten liiketoiminnassa.

Laukaistu avaruuteen	Avaruusaluksen nimi	Suomalainen osuus
1. maaliskuuta 2002	Envisat-1, ESan suurin ympäristöä mittaava satelliitti	Ranskalais-suomalainen GOMOS otsoni-instrumentti, VTT, Beyond Gravity
29. elokuuta 2002	Meteosat Second Generation, ESan ja Eumetsatin yhdessä kehittämä geostationaarisen radan sääsatelliitti.	Huld toteutti ohjelmistoja ja mm. Beyond Gravity mukana SEVIRI-mittalaitteen kehitystyössä.
8. lokakuuta 2005	Cryosat, ESan jäätiköitä tutkiva polaariradan satelliitti	Beyond Gravityn toteuttama sähkötehon jakoyksikkö
19. lokakuuta 2006	MetOp-A, ESan ja Eumetsatin yhdessä kehittämä polaariradan sääsatelliitti.	Huld toteutti satelliitin ohjelmistoja, Beyond Gravity GOME-instrumentin ohjausyksikkö
17. maaliskuuta 2009	GOCE, ESan painovoimaa ja valtameriä tutkiva polaariradan satelliitti	Huld toteutti satelliitin asennonsäätöjärjestelmän ohjelmoinnin.
2. marraskuuta 2009	SMOS, ESan maan kosteutta ja merien suolaisuutta tutkiva polaariradan satelliitti	Mikroaaltotekniikan mittalaite, Aalto yliopisto
8. huhtikuuta 2010	Cryosat-2,	Beyond Gravityn sähkötehon jakoyksikkö
22. marraskuuta 2013	SWARM	Beyond Gravityn elektroniikkayksikkö
3. huhtikuuta 2014	Sentinel 1A	DA-Design toteutti SAR-tutkan komponentit. Tämän oli 4 satelliitin sarja, samaa teknologiaa toimitettiin myös Saksan TerraSAR ja Espanjan Paz satelliitteihin.
23. kesäkuuta 2015	Sentinel 2A	Beyond Gravityn Finland toteutti elektronisen ohjaus- ja signaalinkäsittelylaitteen (RIU, remote interface unit)

16. helmikuuta 2016	Sentinel 3A	teollinen osuus satelliittirungossa
22. elokuuta 2018	ADM-Aeolus	Opteon Oy hioi ALADIN instrumentin suuren piikarbidista valmistetun peilin.
24. maaliskuuta 2020	PICASSO (Pico-Satellite for Atmospheric and Space Science Observations), – Belgia, ESA:n GSTP-ohjelma	Visible Spectral Imager for Occultation and Nightglow (VISION) otsoni-instrumentti, VTT
21. marraskuuta 2020	Sentinel 6 Michael Freilich (ESA, EU, CNES, Eumetsat, NASA)	Huld toteutti satelliitin ohjelmistojen laadunvarmistuksen

Martti Hallikainen, Aalto yliopisto - Avaruusinsinöörejä tutkimukseen ja teollisuuteen

Teknillisen korkeakoulun **Avaruustekniikan laboratorio** koulutti avaruusinsinöörejä vuodesta 1987 lähtien sekä teoreettisilla kursseilla että monipuolisella käytännön työskentelyllä. Itse suunnitelluilla ja rakennetuilla kaukokartoituslaitteilla osallistuttiin moniin Euroopan Avaruusjärjestön (jäljempänä ESAn) rahoittamiin projekteihin, joista varsinkin kontribuutiomme SMOS-satelliittihankkeeseen oli huomattava. Tämä kirjoitus käsittelee pääasiassa laboratoriomme kehittymistä ESAn tunnustamaksi osaajaksi mikroalatoradiometrien suunnittelussa ja käytössä ja jonkin verran myös sen mukanaan minulle tuomia asiantuntijatehtäviä järjestössä. Laboratoriomme toista pääalaa – luonnonkohteiden emissio- ja sirontamallitusta sekä mittaustulosten tulkintaa – ei käsitellä, vaikka osallistuimme niilläkin aloilla ESAn tutkimuksiin.

Haminasta Otaniemeen, Texasiin ja Kansasiin

Maailman ensimmäisen satelliitin Sputnikin näkeminen taivaalla teki vaikutuksen minuun pikkupoikana ja seurasin siitä lähtien Neuvostoliiton ja Yhdysvaltojen kilpailua avaruuteen. Yksi mielikirjoistani oli ”Kolumbus Poikien vuosikirja”, jossa oli kertomuksia lääketieteen ja fysiikan saavutuksista sekä löytöretkistä. Vuosien mittaan minusta tuli Haminan kirjaston vakioasiakas ja aiempi innostukseni hiihtoon ja yleisurheiluun taantui vähitellen kuntoilun tasolle. Avaruus kiinnosti ja muistan, kuinka Ray Bradburyn ”Marsin aikakirjat” -teosta piti lukea aamullakin ennen kouluun lähtöä. Abikeväänä kävin kahden luokkatoverini kanssa tutustumassa Teknillisen korkeakoulun (TKK) uuteen Otaniemen kampukseen ja päätimme, että tänne mekin haluamme opiskelemaan. Ja pääsimme myös. Valmistuin diplomi-insinööriksi vuonna 1971 ja jatkoin TKK:ssa assistenttina ja tutkijana professori Martti Tiurin laboratoriossa. Hän oli radiotekniikan professori, mutta laajensi laboratorion toimintaa aktiivisesti uusille aloille, mm. teollisuussovelluksiin, radioastronomiaan ja kaukokartoitukseen.

Tutkin TKK:ssa UHF- ja mikroaltoaalueen radiometrien käyttöä merijään kartoitukseen Suomen merialueilla ja vietin sitten ASLA-stipendiaattina lukuvuoden 1974-1975 Texasin yliopistossa Austinissa, jatko-opiskelualoinani kaukokartoitus ja matematiikka. Lukuvuoden vaikuttavin elämys oli kaukokartoituskurssimme vierailu Houstonissa, jossa oli näytteillä Apollo-aikakauden viimeiseksi kuumissioksi 1972 jääneen Apollo-17:n komentomuodi. Vuoden aikana solmin myös useita pitkäkestoisia ystävyysyhteistyösuhteita muiden opiskelijoiden kanssa.

Suomeen palattuani omakotitalon suunnittelu, tarvikkeiden tilaaminen ja rakentamisessa auttaminen vei paljon aikaa, mutta hyvää organisointikokemusta se antoi. Valmistuin tekniikan tohtoriksi TKK:sta 1980 aiheenani merijään kaukokartoitus ja aloin pian katsella mahdollisuuksia siirtyä Yhdysvaltoihin jatkamaan alan tutkimusta; Eurooppa oli silloin reilusti Yhdysvaltoja jäljessä koko avaruusalalla.

Tiedustelin Texasin opintojeni ohjaajalta työmahdollisuuksia ja hän otti yhteyttä Kansasin yliopiston kaukokartoituslaboratorioon, joka oli noussut maailman johtavaksi mikroaltoa- ja kaukokartoituksen tutkimuspaikaksi. Eipä tarvinnut kauan miettiä vastausta, kun professori Fawwaz Ulaby lähetti minulle työtarjouksen; vietin Lawrenceassa perheeni kanssa ikimuistoiset kaksi vuotta 1981-1983 ja tutustuin

alan johtaviin tutkijoihin sekä Yhdysvalloissa että muualla. Ehkä arvokkain oppini Kansasin yliopiston kolmelta gurulta oli kuitenkin kovan työnteon merkitys; he eivät suinkaan paistatelleet maailmanmaineessa vaan työpäivät olivat aina pitkiä. Tästä taisi minullekin jäädä pysyvä ”vamma sieluuni”. Päätös Suomeen paluusta oli vaikea, kun professori Ulaby teki houkuttelevaan tarjouksen jatkosta. Palasimme silti.

Otaniemeen palattuani toimin TKK:ssa yliassistenttina, vs. professorina ja Suomen Akatemian vanhempana tutkijana vuoteen 1987 asti.

TKK:n avaruustekniikan koulutuksen alkutaival

Suomi liittyi Euroopan Avaruusjärjestön liitännäisjäseneksi 1.1.1987 ja alkoi osallistua (avaruus)tiedeohjelmaan, kaukokartoitusohjelmaan (Earth Observation Preparatory Program¹) ja tietoliikenneohjelmaan. Suomi myös allekirjoitti 7.1.1987 avaruustutkimusta koskevan yhteistyösopimuksen Neuvostoliiton kanssa.

Teknillinen korkeakoulu reagoi näihin tapahtumiin perustamalla kesällä 1987 muun muassa avaruustekniikan professuurin (alana kaukokartoitus), johon minut kutsuttiin ensin viisivuotiskaudeksi, sittemmin virka vakinaistettiin 1992.

TKK:n professorina ensimmäinen suuri tehtäväni oli organisoida avaruustekniikan koulutus. Sähkötekniikan osastolla sain hyväksytyksi Avaruustekniikan maisteritasoon opintoihin syventymiskohteen jo syksyllä 1987 ja perustin opintojaksoja kolmelle alueelle: Kaukokartoitus, satelliittitietoliikenne ja avaruustutkimus ja -instrumentointi Suomen ESA-painopistealueiden mukaisesti. Luennoitsijoina toimivat lisäksi kotimaisten tutkimuslaitosten ja yritysten asiantuntijat. Avaruustekniikan tutkimusseminariin kutsuin eri alojen tutkijoita kertomaan omasta työstään. Perustin Avaruustekniikan laboratorion TKK:n sähkötekniikan osastolle vuonna 1988.

Tohtorikoulutus alkoi Avaruustekniikan syventymiskohteessa syksyllä 1988, kun vedin ensimmäisen seminaarimuotoisen kaukokartoituksen jatkokurssin. Samana keväänä järjestimme VTT:n kanssa avaruustekniikan seminaarin, jossa luennoitsijoina toimi seitsemän ranskalaista avaruustekniikan asiantuntijaa neljästä eri tutkimuslaitoksesta. Osallistujia oli kaikkiaan 60; näin monet kuulijat saivat ensimmäisen kosketuksen sekä ulkomaisiin ekspertteihin että avaruuslaitteiden suunnitteluun ja avaruuden olosuhteisiin.

Vuosina 1992-1994 rakensimme Avaruustekniikan laboratoriossa **HUTSAT-mikrosatelliitin** teknisen mallin Suomen Akatemian ja TKK:n rahoituksella. Projektia tuimme liseniaattikurssien tutkielmilla, joista koottiin satelliittisuunnittelun ensimmäiset suomalaiset raportit ”Pienen satelliitin suunnittelu” ja ”FIMSAT – suomalaisen kaukokartoitussatelliitin esisuunnittelu”. Satelliittien rakentaminen oli kuitenkin tuohon aikaan ylivoimaisen kallista, laukaisusta puhumattakaan; realistiseksi se tuli vasta mikroelektronikan kehittyttyä ja laukaisupalveluiden tarjonnan monipuolistuttua 2000-luvulla.

Tutkimusryhmän aloitus

Olin alkanut myös koota tutkimusryhmää ja 1987 siihen kuului jo 12 henkilöä, jotkut heistä osa-aikaisia. Kotimaisen rahoituksen turvin rakensimme kaukokartoitukseen sekä mikroaaltoradiometrejä että tutkia toimimaan nimenomaan niillä sähkömagneettisen spektrin taajuuksilla, joita

¹ ESA on koonnut ohjelman tiedot [Earth Observation Program](#) (1995)

lähitulevaisuuden satelliittilaitteet käyttäisivät. Näin voisimme käyttää omien mittaustemme dataa kehittäessämme eri kohteiden tulkinta-algoritmeja satelliittidatalle, jota eri maiden avaruusjärjestöt lupailivat lähivuosille.

NASAn Nimbus-7 -satelliitin SMMR²-radiometri oli tuottanut globaalia dataa viidellä taajuudella alueella 6,6–37 GHz vuodesta 1978 ja sitä mekin käytimme aluksi tutkimuksissamme: vertailimme mitattuja intensiteettejä Suomen alueella lumi-, kasvillisuus- ja merijääkarttoihin ja tuotimme näin ensimmäisiä yksinkertaisia algoritmeja sille, miten maanpinnan ominaisuuksia voidaan mitata satelliiteilla. Euroopan Avaruusjärjestön ERS-1 -satelliitti laukaistiin vuonna 1991 ja sen synteettisen apertuurin tutka tuotti dataa ratkaisevasti paremmalla erotuskyvyllä kuin SMMR.

Saimme ensimmäisen ESA:n rahoittaman tutkimusprojektin vuonna 1989, ”Microwave Interaction with Earth Surface” oli vuoden mittainen tutkimus, jossa kehitimme inversiotekniikoita ESA:n lähitulevaisuuden satelliittiradiometrejä ja -tutkia varten. Johtamaamme projektiin osallistui kolme muuta tutkimuslaitosta Suomesta, Ranskasta ja Yhdysvalloista. Jo 1990-luvun alkupuolella ja varsinkin Suomen liityttyä ESA:n täysjäseneksi 1995 suurin ulkomainen rahoittajamme oli ESA. Suomen liityttyä Euroopan Unioniin (EU) samana vuonna aloimme saada myös EU:n rahoittamia projekteja. Oma mittauskalustomme oli suurena apuna varsinkin EU:n projektien saamisessa.

Oman mittauskaluston kehittäminen

Ensimmäinen huomattava mittalaitteemme oli helikopterikäyttöinen **HUTSCAT-sirontamittari (tutka)**, jonka rakensimme 1980-luvun lopulla. Sen erikoisuutena oli kyky mitata kahdella taajuudella (5,4 ja 9,8 GHz) ja neljällä lineaaripolarisaatiolla (HH, HV, VV, VH) samanaikaisesti kohteen sirontakerroin etäisyyden funktiona. Laite oli ensimmäinen laatuaan maailmassa ja käytimme sitä mm. metsän kaukokartoitustutkimuksessa menestyksellisesti.

Ratkaiseva parannus mittauskykyihimme oli 1994 hankkimamme **Skyvan-lentokone**. Modifioimme sen tutkimuskäyttöön ja siihen sijoitetuilla instrumenteilla pystyimme tuottamaan monipuolista dataa laajoilta alueilta. Koneessa oli tilava kabiini mittalaitteita, mittaustietokonetta ja laiteoperaattoreita varten. Mittalaitteet olivat usein koneen takaosassa, josta ne ”näkivät” kohteen, kun iso takaovi oli poistettu. Koneen käyttökustannukset olivat erittäin kohtuulliset verrattuna suurempiin lentokoneisiin. Käytimme Skyvania kotimaisten tutkimusprojektien lisäksi useissa ESA:n ja EU:n rahoittamissa projekteissa.

² Data <https://nsidc.org/data/nsidc-0024/versions/1>



Kuva 6. TKK:n Avaruustekniikan laboratorion mittauslentokone *Short SC.7 Skyvan*.

Aluksi tärkein Skyvan-laitteemme oli 1990-luvun alkupuolella rakentamamme 14-kanavainen HUTRAD-mikroaaltoradiometri, joka mittasi kohdetta samanaikaisesti laajalla taajuusalueella (6,8; 10,65; 18,7; 23,8; 36,5; 93,0 ja 94,0 GHz) ja molemmilla lineaarisilla polarisaatioilla (H ja V). 93 GHz radiometri oli keilaava, muut eivät. Lisäksi kohdetta kuvasi videokamera.



Kuva 7. HUTRAD-radiometri sijoitettuna Skyvan-lentokoneeseen.

Ensimmäisen kerran osallistuimme HUTRAD/Skyvan -yhdistelmällä ESan rahoittamaan lentomittauskampanjaan talvella 1995, kun toimin ESan laajan The European Multisensor Airborne Campaign-94/95 (EMAC-94/95) -hankkeen Snow and Ice Activities -osuuden koordinaattorina ja

laboratoriomme vastasi paikallisista järjestelyistä Pohjois-Suomen koalueilla. Mittauksiin osallistuivat myös UK Meteorological Officen mikroaaltoradiometri ja Saksan DLR:n sekä Tanskan TKK:n synteettisen apertuurin tutkat. Mainittakoon, että jää- ja lumikampanjan pitopaikka ratkaistiin ESA:n kokouksessa, jossa Suomen kilpailijana oli Tanskan ehdotus pitää ko. kampanja Grönlannissa. Minä puhuin Suomen puolesta ja Tanskan puolesta esiintyi professori Preben Gudmandsen, joka oli erittäin vaikutusvaltainen henkilö Euroopan kaukokartoitusyhteisössä – ja hän oli runsaat 10 vuotta aikaisemmin toiminut väitöstilaisuudessa vastaväittäjänäni! Onneksi ESA vakuuttui Suomen ehdotuksesta.

Lentomittauksemme sujuivat hyvin, mutta paljon suurempi työ oli tehdä maastossa ja jäällä mittauksia relevanteista lumi- ja jääparametreista pitkin mittauslinjoja: se vei aikaa tietysti huomattavasti enemmän kuin lentomittaus. Saimme arvokasta kokemusta mittauskampanjoiden järjestämisestä myöhempiä ESA- ja EU-projekteja varten.

HUTRAD-radiometri toimi samoilla taajuuksilla kuin ESA:n 1980-luvun lopulta alkaen kaavailema Multichannel Imaging Microwave Radiometer (MIMR), jolla oli tarkoitus täydentää Yhdysvaltojen jo operoimia satelliittiradiometrejä. mutta MIMR-missio ei valitettavasti toteutunut. Yhdysvallat sen sijaan rakensi ja laukaisi kaksi monikanavaista radiometriä, jotka toimivat samoilla taajuuksilla kuin HUTRAD, joten kalustomme säilyi relevanttina ja sitä käytettiin edelleen ESA:n ja EU:n rahoittamissa projekteissa.

ESAn mielenkiinto mikroaaltoradiometrialalla 1990-luvun loppupuolella alkoi suuntautua uuden tekniikan kehittämiseen, varsinkin interferometrian käyttöön.

SMOS-satelliittimissio

Tavanomaiset satelliittiradiometrit toimivat useilla taajuuksilla ja kuva muodostetaan mekaanisesti keilaavan antennin avulla. Ne mittaavat kohdetta yhdellä mittauskulmalla (tavallisesti 50 astetta vertikaalista). Näin epäonnisen ESA MIMR-radiometrinkin oli ollut määrä toimia. Kohteen ominaisuuksien määrittämisessä olisi auttanut mittaus useilla mittauskulmilla, mutta se ei ole keilaavalla radiometrillä mahdollista. Interferometriä soveltamalla mittaus tehtäisiin samanaikaisesti useilla mittauskulmilla ja antennin mekaanista keilausta ei tarvittaisi.

Dr. Yann Kerrin johtama konsortio ehdotti 1998 ESAlle aivan uudenlaisen satelliittiradiometrin rakentamista Earth Explorer Opportunity Mission -ohjelmassa. Satelliitti mittaisi maan- ja merenpintaa 1,4 GHz taajuudella ja tuottaisi globaalia tietoa maanpinnan kosteudesta ja merenpinnan suolaisuudesta. Maanpinnan kosteuden mittauksessa arvioitiin saavutettavan jopa 0,035 m³/m³ tarkkuuden (60 km erotuskyvyllä 3 päivän välein) ja merenpinnan suolaisuuden mittauksessa 0,1 psu tarkkuuden (200 km erotuskyvyllä 10 päivän välein); tosin näitä lukemia hieman reivattiin myöhemmin. Lisäksi tavoitteena oli parantaa kryosfäärin ominaisuuksien kartoitusta, mm. ohuen merijään erottaminen paremmin, merijääkonsentraation määrittäminen, jäälle kertyvän lumen havaitseminen ja ajelehtivan jään kartoitus.

Laboratoriomme jo kertynyt radiometriosaaminen ja lumen ja jään kaukokartoitustutkimuksemme olivat Euroopassa tiedossa, joten minut kutsuttiin SMOS-konsortion jäseneksi ja toimin sen kryosfääriryhmän vetäjänä, kun valmistelimme ehdotusta ESAlle.

Molemmat mittaustavoitteet olivat vaativia, mutta radiometrin tekninen rakenne oli vielä vaativampi: kuhunkin kolmesta monta metriä pitkästä antennihaarasta sijoitettaisiin lukuisia vastaanottimia, joita koko radiometrissä olisi 73. Uusinta uutta oli interferometritekniikka, jota oli määrä soveltaa ensimmäisen kerran kaukokartoituksessa. Interferometrian käyttö ja sen käytännön toteutus lukuisilla vastaanottimilla ja korrelaattorilla perustuivat ESA:n palveluksessa olevan Dr. Manuel Martin-Neiran kehittämään konseptiin.



Kuva 8. Taiteilijan näkemys SMOS-satelliitista.

ESAn SA:n Earth Science Advisory Committee (ESAC) puolsi SMOS-mission hyväksymistä. Olin silloin ESACin jäsen ja toimin arvion kirjoittaneessa ryhmässä, vaikka olin myös SMOS-konsortion jäsen.

SMOS: 3x6- vai 3x7-konfiguraatio?

Vuonna 2001 SMOS-satelliitin interferometrisen radiometrin suunnittelussa ajauduttiin ongelmiin. Vaihtoehtoina oli kolme rakennetta sen mukaan, kuinka monta vastaanotinta kunkin antennihaaran kolmeen elementtiin tulisi: 6, 7 vai 8. Suurin lukumäärä (ns. 3x8-vaihtoehto) osoittautui pian kokonsa vuoksi ongelmalliseksi, mutta valinta kahden muun välillä oli vaikeaa. Olimme valinneet ykkösvaihtoehdoksi 3x7-konfiguraation ja varalle 3x6-vaihtoehdon. Simulaatiot yksinkertaisella maankosteusmallilla osoittivat, että 3x7-konfiguraatiolla saataisiin tieteelliset vaatimukset täyttäviä tuloksia, kun taas 3x6-konfiguraatio täyttäisi ne vain osittain. Dr. Kerr ehdotti kuitenkin, että 3x6-vaihtoehto otetaan ykkösvaihtoehdoksi, koska instrumentin tekniset parannukset yhdessä

kustannustekijöiden ja satelliitin pienemmän korkeusvaihtelun kanssa todennäköisesti mahdollistaisivat lähes yhtä hyvät tieteelliset tulokset kuin 3x7-vaihtoehto. Hän pyysi meiltä ESACin jäseniltä kommentteja.

Kun hän ei saanut yhtään kommenttia yli viikkoon, mietin asiaa perusteellisesti ja kirjoitin 3x6-konfiguraatiota puoltavan viestin kaikille ESACin jäsenille. Perustelin mielipidettäni pienemmällä riskitekijöillä ja keskittymällä mieluummin radiometrin kalibroinnin ja kuvanmuodostuksen kehittämiseen kuin hiomalla tieteellisiä tuloksia käyttämällä simulaatiomallia, joka oli itse asiassa liian yksinkertainen. Minusta tärkeintä oli saada aikaan onnistuneesti uutta interferometritekniikkaa hyödyntävä satelliittimissio kohtuullisella mittauskyvyllä. ESAC hyväksyi 3x6-konfiguraation seuraavassa kokouksessa ja radiometrin suunnittelu jatkuikin siltä pohjalta.

Osallistuminen SMOS-ohjelmaan

Interferometriaa sovellettiin jo astronomiassa, mutta ei kaukokartoituksessa. Kun ESA:n mielenkiinto alkoi suuntautua L-alueen (1,4 GHz) interferometriaan, aloimme Avaruustekniikan laboratoriossa Tekesin tuella yhdessä Ylinen Electronics Oy:n kanssa suunnitella omaa L-alueen interferometrissa radiometriä HUT-2D:tä, joka koostuisi U-kehikossa sijaitsevista 36 antenni/vastaanotin -yksiköstä, korrelaattorista ja kalibroitijärjestelmästä; instrumentti sijoitettaisiin Skyvan-lentokoneen takaoven ympärille tai rungon alle. Ensimmäiset antennin, vastaanottimen ja kalibroitijärjestelmän prototyypit rakensimme 1998. Samaan aikaan selvitimme ESA:n rahoittamassa projektissa erilaisten kalibroitijärjestelmien soveltuvuutta ESA:n jo kehittelemään MIRAS/SMOS-interferometriin.

Avaruustekniikan laboratorio ja Ylinen Electronics Oy pääsivät mukaan myös espanjalaisen CASAn vetämään MIRAS Demonstrator Pilot -projektiin, tarkoituksena suunnitella, rakentaa ja testata 4-elementtinen synteettistä apertuuria käyttävä MIRAS/SMOS-satelliittilaitteen pienoismalli.

ESA hyväksyi SMOS-hanke-esityksen 1999 ns. A-vaiheen tutkimukseen. SMOS-projektilla oli kuitenkin jo alun perin heikkoutena se, että interferometrikonseptin ei ollut koskaan osoitettu toimivan lentokäytössä, joten ESA todella tarvitsi lentokonekäyttöistä interferometriperiaatteella toimivaa radiometriä osoittaakseen uuden tekniikan toimivan. HUT-2D:stä tuli sellainen, mutta se vaati vuosien kehitystyön.

Toimin tuohon aikaan SMOS Scientific Advisory Groupin (SAG) jäsenenä ja tehtäväkseni muodostuikin säännöllinen raportointi HUT-2D-radiometrin kehitysaskelista SAGille.

HUT-2D:n kehittäminen kesti lopulta useita vuosia ja siihen sisältyi oleellisena osana neljän vastaanottimen alijärjestelmän monipuolinen testaus. Ylinen Electronics Oy jättäytyi pois projektista ja rahoitusvastuu siirtyi vähitellen Tekesiltä ESALLE.



Kuva 9. Maailman ensimmäinen lentokäyttöinen 2D interferometrinen radiometri HUT-2D on kooltaan 2 m x 2 m ja siinä on 36 vastaanotinta. Sijoituspaikka on Skyvan-lentokoneen rungon alla.

HUT-2D -instrumentti oli lopulta valmis ja perusteellisesti testattu vuoden 2006 alussa ja saman vuoden keväällä sillä tehtiin Skyvan-koneeseen asennettuna maailman ensimmäinen ns. 2D interferometrinen maanpinnan mittaus: tämä vahvisti SMOS-konseptin toimivuuden. HUT-2D:llä testattiin myös SMOS-radiometrin kalibrointistrategiat ja osallistuttiin ESan SMOS-kampanjoihin.

Kaiken kaikkiaan Avaruustekniikan laboratorion panos SMOS-satelliittimissioon oli varsin huomattava; ohjelman vetäjä Dr. Manuel Martin-Neira (ESA) kuvasi saavutuksiamme seuraavasti:

- SMOS-satelliitin interferometrisen radiometrikonseptin toimivuuden osoitus (ns. proof of concept) HUT-2D:llä
- SMOS-radiometrin sisäisen kalibrointikonseptin ensitestausta HUT-2D:llä
- SMOS-radiometrin ulkoisen kalibrointistrategian verifiointi HUT-2D:llä
- SMOS-satelliitin kohinainjektioradiometrin (NIR) ja kalibrointijärjestelmän (CAS) prototyyppien rakentaminen yhdessä suomalaisen teollisuuden kanssa
- SMOS-radiometrin NIR- ja CAS-järjestelmien karakterisointi (SMOS Level-1 dataprosessori)
- Ensimmäinen koskaan SMOS-tyyppinen merenpinnan suolaisuuden mittaus HUT-2D:llä
- Osallistuminen SMOS-radiometrin kalibrointi/validointikampanjoihin keski- ja etelä-Euroopassa 2008 ja 2010 HUT-2D-radiometrillä ja Skyvan-lentokoneella.

Monien vaikeuksien ja viivytysten jälkeen SMOS-satelliitti laukaistiin vuonna 2009 ja sen interferometrinen radiometri on todellakin tuottanut ennen näkemätöntä globaalia dataa maankosteudesta ja merenpinnan suolaisuudesta; lisäksi on kehitetty menetelmiä mm. merijään

kartoitukseen, maanpinnan roudan havaitsemiseen ja viimeisimpänä sovelluksena on merten happamoitumisen havaitseminen.

Asiantuntijatehtäviä ESA:ssa

Yritin parhaani mukaan edistää edellä mainittua ESA:n aiempaa MIMR-radiometrihanketta, ensin vuodesta 1988 alkaen MIMR Expert Team -jäsenenä ja vuosina 1994-1996 MIMR Scientific Advisory Group -jäsenenä. Kirjoitimme vielä 2001 kattavan ESA Instrument Panel -raportinkin, mutta MIMR-missio ei toteutunut.

Toimin 1987-1994 Suomen delegaattina ESAn Earth Observation Scientific and Technical Advisory Groupissa (EOSTAG). Työ keskittyi – kuten nimikin sanoo – lähinnä kaukokartoitusohjelmien tekniseen ja tieteelliseen puoleen ja se oli itse asiassa hyvää valmennusta myöhempään toimintaani ESACissa, jonka jäsenenä aloitin vuoden 1999 alussa.

Euroopan Avaruusjärjestön (ESA) Earth Science Advisory Committee (ESAC) on neuvoo-antava asiantuntijaelin kaukokartoituksen tiede- ja tutkimusasioissa ja siihen kuului jäsenyysaikani yhdeksän asiantuntijaa eri jäsenmaista. Komitea raportoi ESA:n kaukokartoitusohjelman tieteellisistä näkökohdista vastaavalle johtajalle, joka osoitti ESACille tehtäviä. ESAC voi myös tehdä aloitteita ja yksityiset ESACin jäsenet voivat ehdottaa komitean keskusteltavaksi tärkeitä pitämiään aiheita.

ESACin toimialaan kuuluivat erityisesti Earth Explorer-missiot ja Earth Watch-missioiden tieteelliset näkökohdat. 1990/2000-luvulla ESACilla oli merkittävä osuus ESA:n kaukokartoitusstrategian valmistelussa. Strategian oleellisen osan muodostivat Living Planet -ohjelma ja sen Earth Explorer -missiot. Ehkä tärkeimpänä tehtävänä ESAC avusti ESAa ensimmäisten Earth Explorer-missioiden valinnassa.

ESACissa toimiessani vedin sisäistä työryhmää, jonka tehtävänä oli arvioida noin 10 uutta satelliittimissioehdotusta; jokaisesta ehdotuksesta meidän piti kirjoittaa arviointi useita eri tieteellisiä ja teknisiä näkökohtia analysoiden. Työn jakamisesta huolimatta minulle jäi iso tehtävä muotoilla lopulliset arvioinnit. Olin Pariisiin illalla saapuessani optimistinen, että saan kalvot kyllä tehdyksi ennen seuraavan päivän kokousta, vaikka olin Otaniemessä vasta aloittanut työn. Kirjoitettuani ensimmäisen evaluoinnin hotellissa loppuun asti tajusin kuitenkin, että minullahan menee koko yö ennen kuin kaikki on valmista. Niinpä menikin, sain kalvot valmiiksi aamulla klo 7 ja kokous alkoi klo 9. Esitykseni oli heti kokouksen alussa ja se sujui hyvin, sain jopa paljon kehuja seikkaperäisistä ja selkeistä evaluoinneista.

Olin kehuista mielissäni, mutta kun kuuntelin tarkasti toisen ryhmän evaluointiesitelmää, en saanut siitä oikein mitään tolkkua; eteläeurooppalainen kollega puhui puoli tuntia ilman yhtään kalvoa ja näytti siirtyvän asiasta toiseenkin noin vain. No, esitelmän päätyttyä hänkin sai hyvät aplodit! Siinä sitä oli esiintymisoppia luterilaisen työmoraalin omaavalle.

Yleensä työ ESACissa sujui hyvässä yhteisymmärryksessä ja esittämämme ehdotukset hyväksyttiin ESA:n korkeammassa toimielimissä poikkeuksetta. Eräässä satelliittiehdotusten evaluoinnissa

jouduimme kuitenkin hieman eri linjoille ESA:n toimihenkilöiden kanssa, kun olimme sitä mieltä, että satelliittimissioiden ohjeissa asetettuja kustannusten ylärajoja tuli kunnioittaa ja he taas ajoivat erästä missiota läpi välittämättä liian korkeista kustannuksista. Tämäkö lienee ollut syynä siihen, että kevään 2002 jälkeen ei ollut enää ESACin kokouksia, kun marraskuulle alustavasti suunniteltu kokouskin siirrettiin ensin tammikuulle 2003 ja sitten se taas siirrettiin ilman uutta ajankohtaa. ESACin puheenjohtaja professori Lennart Bengtsson neuvotteli ESACin kohtalosta talvella 2003 ja lopulta ESA ilmoitti kesällä 2003 nimittäneensä uudet jäsenet ESACiin, joten toimintani ESACissa päättyi siihen.

Minulla oli lukuisia asiantuntijatehtäviä ESA:ssa 1990- ja 2000-luvuilla. DOSTAGin (Data Operations Scientific and Technical Advisory Group) jäsenenä toimin 1995-2008. Vuonna 2001 toimin Cryosat-satelliittimission A-vaiheen tieteellisen evaluointiryhmässä jäsenenä ja sen B-vaiheen tieteellisen evaluointiryhmän vetäjänä. Samana vuonna olin myös SMOS Satellite Mission's Phase A Scientific Evaluation Committeeen jäsen. Ehkä konkreettisin asiantuntijatehtäväni oli SMOS Scientific Advisory Committeeen jäsenyys ja siihen liittyvä säännöllinen HUT-2D:n kehittämisestä raportointi 2000-2004.

Yhteenveto

TKK:n Avaruustekniikan syventymiskohteessa tavoitteeni oli kouluttaa avaruustekniikan osaajia, joilla tuli olla teoreettisten tietojen lisäksi kattava kokemus käytännön työstä; tässä oli erinomaisena apuna omien kaukokartoitusinstrumenttien suunnittelu, rakentaminen, kalibrointi, operointi, datan tallennus ja sen käyttö kohteen ominaisuuksien määrittämiseen. Saimme mm. Nokialta kiitosta siitä, että meiltä yritykseen siirtyneillä oli hyvät yleistiedot järjestelmätason suunnittelusta.

ESA:n, EU:n, Tekesin ja Suomen Akatemian rahoittamien tutkimusprojektien varoilla pystyimme palkkaamaan sekä perus- että jatko-opiskelijoita osa- ja kokopäivätyöhön, jonka tuloksista he sitten kirjoittivat opinnäytteensä. Kansainväliset projektit tarjosivat lisäksi konkreettisia kokemuksia yhteistyöstä eri maiden tutkimuslaitosten, yliopistojen ja yritysten henkilöstön kanssa.

Avaruustekniikan tutkimusryhmän henkilökunnan määrä nousi nopeasti vuoden 1987 määrästä (12) ja vaihteli vuosina 1988-1991 välillä 20-25. Tutkimusprojektien lisääntyessä henkilökunnan määrä ylitti vuonna 1992 kolmekymmentä ja 1996 neljäkymmentä. Seuraavasta vuodesta lähtien henkilömäärä vakiintui välille 45-50. Varsinkin monet DI-opiskelijat olivat osapäivätyössä ja siksi henkilötyövuosien määrä oli silloin hieman yli kolmekymmentä.

Kaikkiaan Avaruustekniikan tutkimusryhmä oli mukana noin 15 ESA:n rahoittamassa tutkimusprojektissa vuodesta 1989 alkaen joko koordinaattorina tai osallistujana; mm. coSMOS, HUT-2D, Ku-Snow, LandAtmo, MDPP-2, MDPP-3, SMOS-B, SMOS-C/D. Edellä mainitun EMAC-94/95-lentokampanjan lisäksi osallistuimme mm. ESA:n SMOS Cal/Val-lentokampanjoihin keski- ja etelä-Euroopassa 2008 ja 2010 HUT-2D/Skyvan -kalustolla.

EU-projekteja meillä oli vuodesta 1996 lähtien kahdeksan: CliwaNet, EnviSnow, Eufora, FloodMan, Foremms, Imsi, Salmon, SnowTools. Joihinkin näistä ”pääsylippumme” oli nimenomaan lentomittauskalustomme ja mittauspaikkoina olivat Suomi, Italia ja Norja.

Avaruustekniikasta valmistui ohjaaminani tutkintoja seuraavasti:

- Diplomi-insinöörejä 74 (1988–2014)
- Lisensiaatteja 17 (1990–2014)
- Tohtoreita 32 (1994–2014)

He ovat sijoittuneet asiantuntija- ja opetustehtäviin sekä Suomen yliopistoihin, tutkimuslaitoksiin ja yrityksiin, että ulkomaille, aina Euroopan Avaruusjärjestöstä ja Euroopan Unionista Itä-Aasiaan ja Kaliforniaan asti.

Vuonna 2010 sovin uuden Aalto-yliopiston rehtorin kanssa, että kehitysvaiheessa ollut nanosatelliittisarjamme saa Aalto-nimen, kunhan Aalto rahoittaa hanketta. Avaruustekniikan tutkimusryhmässä syntynyt spin-off-yritys Iceye Oy (henkilöstömäärä yli 600) operoi nykyään maailman suurinta tutkasatelliittijärjestelmää, joka tuottaa ajantasaista globaalia tietoa maapallosta.

Aalto-yliopiston tutkimuksen arviointi

Aalto-yliopisto kutsui 2009 arvovaltaiset ulkomaiset raadit arvioimaan eri laitosten ja tutkimusryhmien toimintaa. Sähkötekniikan ja elektroniikan tutkimuksen laadun arvioi seitsemän professoria Ruotsista, Saksasta, Hollannista ja Portugalista. Avaruustekniikan ryhmä oli tässä vaiheessa osa Radiotieteen ja -tekniikan laitosta ja arvioinnin tulokset olivat laitoskohtaisia. Seuraavassa ovat suorina lainauksina ne kohdat laitoksen arvioinneista, joissa mainitaan erikseen Avaruustekniikan tutkimusryhmä.

Research Environment at the Unit of Assessment

Numerical Rating (1-5): **4** Very Good International Level

Without any doubt some of the groups in this department have already a proven research leadership in their fields. The equipment is excellent including an airplane for L- band radiometry.

Scientific Quality of the Unit’s Research:

Numerical Rating (1-5): **4** Very Good International Level

In the different research areas of the department excellent and international visible results are produced. Extraordinary research is done in the Space and Airborne Technology Team that is well above the overall mark (4).

Societal Impact of the Unit’s Research:

Numerical Rating (1-5): **4** Very Good International Level

The Space and Airborne Technology Group deserves a special compliment since the impact is obvious and can potentially be even more important.

Martti Hallikainen, TKK/Aalto yliopisto, avaruustekniikan emeritusprofessori

Jarkko Koskinen, Maanmittauslaitos - Muistoja ESAsta

Matkani avaruustoiminnassa alkoi liityttyäni apulaistutkijaksi TKK:n avaruustekniikan laboratorioon 1991. Siellä alkoi hanke ESan ERS-1 SAR-tutkan käytöstä lumen kartoituksessa. Teinkin aiheesta diplomityön, lisensiaattityön ja väitöskirjan. Valmistuttuani 1994 diplomi-insinööriksi sain pitkälti professori Martti Hallikaisen suhteiden avulla Young Graduate -paikan ESA:sta.

Luulin, että menen [ESTECiin](#) Hollantiin, jossa muutkin suomalaiset olivat olleet, mutta matkani johtikin ensimmäisenä suomalaisena [ESRINIin](#), Rooman eteläpuolella olevaan ESan tietoliikenne- ja kaukokartoituskeskukseen. Nuorelle diplomi-insinöörille mahdollisuudet olivat loistavat ja vuoden totuttelun jälkeen italialainen elämäntyyli oli helposti omaksuttu. Tuli aika päättää jäisinkö ESRINIin töihin ESA:lle vain palaisinko Suomeen tekemään väitöskirjaa. Virka ESRIN:ssä oli tullut mahdolliseksi, kun Suomi liittyi ESan täysjäseneksi 1995. Huolimatta mielenkiintoisesta työstä, hyvästä ruuasta ja ihanasta säästä päätin kuitenkin palata ja tehdä tuon väitöskirjan.

Paluu kiinteään yhteistyöhön ESan kanssa mahdollistui taas muutama vuosi myöhemmin, kun olin väitellyt ja viettänyt Post doc-vuoden NASA:n Jet Propulsion Laboratoryssä (JPL). Esa Panula-Ontto (EPO) soitteli vuonna 2001 ja kysyi, että olisiko aika lopettaa lörviminen ja tulla töihin – TEKESIin hoitamaan Suomen kaukokartoitushallintoa. Edellinen EO-delegaatti Einar-Arne Herland oli juuri siirtynyt töihin ESA:an. Hieman harkittuani päätin, että kai se on aika kurkata tutkimusmaailmaa rahoittajan silmin. Siitä alkoi elämäni Suomen DOSTAG- ja PB-EO-delegaattina, mikä ei millään näytä loppuvan; itse asiassa nyt olen PB-EO-ohjelmakomitean puheenjohtaja. Matkan varrella olen ollut edustamassa Suomea EU GMES/Copernicus -ohjelmassa aina ensimmäisestä kokouksesta saakka Yrjö Sucksdorffin (SYKE) kanssa, toiminut GEO-delegaattina (Group on Earth Observation) sekä delegaattina EUMETSATissa.

Matkani ensimmäiseen PB-EO-kokoukseen oli aika jännä reissu. Kokous oli ESan päämajassa Pariisissa. Suomen edustajina siellä olivat puheenjohtaja Jorma Riissanen (Ilmatieteen laitos), sekä delegaatit minä ja Risto Kuittinen (Geodeettinen laitos) myös ESA piipahti kokouksessa. Sain paljon oppia ”vanhoilta herroilta” Ristolta ja Jormalta, miten asioita hoidetaan ESA:ssa ja miten asiat ovat Suomessa paremmin kuin maailmalla. Työni Tekesissä vuosituhannen alussa auttoi minua saamaan hyvän kuvan kuinka Suomen avaruusyhteisö toimii ja millaisia suhteita pystyimme luomaan.

Ensimmäisessä ESan ministerikokouksessa mietimme EPO:n kanssa mihin EO-hankkeisiin Suomen kannattaisi lähteä. Päätimme osallistua Terrasar-X- ja L-, Radarsat- ja GMES-ohjelmiin sekä kaukokartoituksen tutkimusohjelmaan. Edinburghin ministerikokouksessa kuitenkin kaikki ohjelmat paitsi GMES alitilattiin eivätkä ne käynnistyneet, koska Euroopan mailla oli valtavasti kansallisia intressejä ja yhteinen visio puuttui. Tästä kipuiltiin pitkän aikaa ja Suomi päätti neuvotella bilateraaliyhteistyöstä sekä Saksan (TerraSAR) että Kanadan (Radarsat) kanssa. Kumpikin johti teolliseen yhteistyöhön ja useisiin tutkimusprojekteihin, vaikka hankkeet eivät toteutuneet ESan puitteissa. Myöhemmin kumpikin operatiivinen ohjelma on osa Copernicus-ohjelmaa (alkujaan GMES).



Kuva 10. Jarkko Koskinen ja ESAn Simonetta Cheli Roomassa vuonna 2024.

Delegaattiaikana olen toiminut ESAssa viiden kaukokartoitusjohtajan aikana: Claudio Mastracci, Jose Achache, Volker Liebig, Josef Aschbacher ja Simonetta Cheli. Jokaisella oli varsin omanlainen tyyli. Achache toimi heistä lyhimmän aikaa; sai useat delegaatiot hermostumaan suoraviivaisella

arrogantilla tyylillään, eritoten kotimaansa Ranskan. Mutta pitkälti hänen visionsa takia meillä on nyt maailman hienoin operatiivinen kaukokartoitusohjelma Copernicus. Liebigin homma oli helppo: toteuttaa vain edeltäjänsä visio ja aloittaa yhteistyö EU:n kanssa. Yhteistyö ei aina sujunut helposti vaan kyllä siinä useamman kerran miteltiin, että kuka tätä hommaa ohjaa ja välillä EU:ssa oli halu muuttaa ESA EU:n alaiseksi avaruusvirastoksi. Aschbacherin aikana saatettiin suhteet kuntoon EU:n kanssa ja Cheli on jatkanut samaa tuttua yhteistyörataa.³

Jarkko Koskinen, professori, Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen ylijohdaja

Johanna Tamminen, Ilmatieteen laitos – Kaukokartoitushavainnot ja havainnot kaukokartoituksesta

Kun lokakuussa 2024 laskeuduin Pariisiin Charles de Gaullen lentokentälle osallistuakseni Euroopan avaruustiedekomitean (European Space Sciences Committee, ESSC) kokoukseen keskustelemaan kaukokartoitusalan viimeaikaisista läpimurroista, jäin pohtimaan miten ihmeessä tänne olenkaan päätenyt. Eihän siitä ole kauaakaan, kun ensimmäistä kertaa saavuin Pariisiin 90-luvun alkupuolella ja suuntasin kohti Hotel du Midiä kokoustamaan GOMOS-tähtiokkultaatiomittalaitteen toteuttamisesta. Suomalaiset asuivat tuohon aikaan aina Hotel du Midissä, näin opin kollegoilta, Erkki Kyrölältä ja Gilbert Leppelmeierilta, joilla oli jo useamman vuoden kokemusta GOMOS-satelliittihankkeesta.

GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars) oli Suomen ensimmäinen ilmakehän koostumusta havainnoiva kaukokartoitushanke. Ja ensirakkauteni satelliittien parissa! Pääsin Ilmatieteen laitokselle harjoittelijaksi ohjelmoimaan GOMOSin datankäsittelyalgoritmeja kesällä 1991 – ja se kesä muuttikin koko elämäni suunnan: ymmärsin opiskelleeni matematiikkaa voidakseni soveltaa sitä satelliittimittausten inversio-ongelmiin! Varsinkin, kun tätä oivallusta mukavasti tukivat lukuisat projektimatkat ja pidempiaikaiset vierailut Ranskan Rivieralle Antibesin ja Juan Les Pinsin rantakaupunkeihin.

GOMOSin tarkoituksena oli mitata otsonia ja otsonikatoon liittyvien kaasujen ja pienhiukkasten korkeusprofiileja 15-100 km korkeudelta globaalisti. Hanke oli käynnistynyt nopeasti otsoniaukon löytymisen jälkeen ranskalais-suomalaisena yhteistyönä ja Suomessa sitä rahoitti aluksi Tekes. Monien vaiheiden jälkeen ja ranskalaisten jääräpäisyyden ansiosta GOMOS valittiin lopulta ESA:n rahoittamaksi mittalaitteeksi Polar Platform-satelliittiin, joka myöhemmin nimettiin Envisatiksi.

Envisat-satelliitin rakentamisen oli valtava ponnistus ESA:lta. Satelliitista tuli linja-auton kokoinen ja siihen sijoitettiin kaikkiaan 10 mittalaitetta. Tätä toistaiseksikin suurinta kaukokartoitussatelliittia rakennettiin hartaasti ja laukaisua siirrettiin jatkuvasti, tai siltä se ainakin tuntui. Me sadat Envisatin eri mittalaitteiden ja algoritmien kimpussa työskennelleet eurooppalaiset nuoret yritimme edistää väitöskirjojamme vastaten samalle ESA:n tiukkoihin projektivaatimuksiin. Vuosien vieressä meistä muodostuikin varsinainen Envisat-sukupolvi yhdistäen eri alojen tutkijoita niin kryosfäärin, merien, metsien kuin ilmakehänkin aloilta. Envisat toimi myös lopulta demonstraattorina useille satelliittimittauksille, jotka myöhemmin muodostivat EU:n Copernicus-kaukokartoitusohjelman ytimen maapallon ympäristön havainnointiin.

Vihdoin helmikuun viimeisenä päivänä vuonna 2002 Envisat-satelliitti lopulta laukaistiin Ariane 5-kantoraketilla Ranskan Guyanan pimeälle taivaalle. Mikä näky ja korviahuumaava jyllä sademetsän yllä! Se oli yksi elämäni upeimmista kokemuksista ja jännitys lähes sietämätöntä, olinhan minäkin jo siinä vaiheessa työskennellyt yli 10 vuotta GOMOSin parissa. Myöhemmin olen ohjeistanut nuorempia kollegoilta, että kannattaa juhlia onnistunutta laukaisua vain kohtuullisella määrällä samppanjaa, mikäli on vaarana joutua median haastattelemaksi suoraan lähetykseen.

GOMOSiin suunniteltiin ensimmäinen ilmakehän koostumuksen mittaamiseen tarkoitettu spektrometri, jossa oli kaksiulotteinen CCD-detektor. Näin saatiin samaan aikaan mitattua tähden aallonpituusspektri sekä tähden ylä- ja alapuolisen taustan spektrit. Detektorin kehittämiseen osallistui Suomessa erityisesti Heikki Saari ja hänen tiiminsä VTT:llä.

Envisat ja GOMOS toimivat lopulta kunniaakkaat 10 vuotta, kunnes yhteys satelliittiin menetettiin äkillisesti huhtikuussa 2012. Tässä vaiheessa GOMOS oli mitannut noin miljoona tähtiokkultaatiota. Vaikka mittalaite onkin hiljentynyt jo 12 vuotta sitten, jatkuu GOMOSin datan analysointi edelleen. Tähtiokkultaatio on menetelmänä ns. itsekalibroiva, jonka mittausten kalibroinnissa hyödynnetään havaintoja ilmakehän yläpuolelta. Tällaisen pitkän ja luotettavan aikasarjan tieteellinen arvo on korvaamaton. GOMOSin mittausten avulla varmistui, että otsonikerros oli ruvennut toipumaan.



Kuva 11. Vasemmalla GOMOS-hankkeeseen osallistunut suomalaisryhmä Kouroussa, Ranskan Gyuanassa, seuraamassa Envisat satelliitin laukaisua helmi-maaliskuussa 2002, taustalla Ariane 5 kantoraketin malli. (Kuva: Jari Mäkinen) Oikealla: GOMOS-tiimi Envisat satelliitin 10-vuotisjuhlallisuuksien aikana ESA-ESRINissä, Italiassa. Vasemmalta: Erkki Kyrölä (IL, Ilmatieteen laitos), Jean-Loup Bertaux (LATMOS, Ranska), Johanna Tamminen (IL), Didier Fussen (BIRA, Belgia), Viktoria Sofieva (IL).

Kaksiulotteinen CCD-detektori ja VTT:n asiantuntemus olivat avainroolissa myös, kun hollantilaiset alkuvuodesta 1998 lähestyivät Suomea ehdottaen yhteistä instrumenttia NASA:n EOS-kaukokartoitusohjelmaan. Kyseessä oli **OMI** (Ozone Monitoring Instrument). Jälkikäteen olen usein hämmästellyt, miten oikeassa asennossa tuolloin tähdet olivatkaan, kun Tekes näki hankkeessa mahdollisuuden edistää suomalaisen teollisuuden pääsyä Yhdysvaltojen markkinoille. Kesäkuun 11. päivänä vuonna 1998 Tekes ilmoitti johtokuntansa päättäneen, että Suomi osallistuu hollantilaisten vetämän OMI-mittalaitteen rakentamiseen Nasan EOS-satelliittiin, sittemmin EOS-Aura.

OMI:ssa 2D-detektorin avulla saatiin erinomainen spektraalinen tarkkuus, hyvä maantieteellinen erottelukyky (eli pienet pikselit) ja niin laaja näkökenttä, että mittauksilla voitiin kattaa koko maapallo vuorokaudessa. Tämä avasi aivan uudenlaiset mahdollisuudet ilmakehän koostumuksen, otsonin, UV-säteilyn ja ilmansaasteiden havainnointiin avaruudesta. OMI laukaistiin EOS-Aura satelliitin kyydissä vuonna 2004 joten tänä vuonna on juhlittu sen uskomatonta 20-vuotista taivalta kiertoradalla. Tuntuu käsittämättömältä, että siitäkin on jo lähes 20 vuotta kun aloitin OMI:n Co-PI (PI, Principal Investigator) roolissa Suomen tiedetiimin vetäjänä Gilbert Leppelmeierin seuraajana vuonna 2005.



Kuva 12. Vasemmalla Heurekan "Tiedettä pallolla" -näyttelykohde esittelee OMI typpidioksidihavaintoja toukokuussa 2011. Oikealla OMI:n tiedetiimin vetäjät iloitsevat OMI-tiimille myönnetystä arvostetusta William T. Pecora palkinnosta, vasemmalta Johanna Tamminen (IL), Pieter Levelt (KNMI, Alankomaat), Joanna Joiner (NASA GSFC, USA).

OMI:n havainnot laajensivat myös Ilmatieteen laitoksen tutkimusfokusta otsonikerroksesta ilmanlaatuun. Tämä puolestaan avasi myös meille mahdollisuuksia osallistua seuraaviinkin satelliittihankkeisiin. Tällainen oli hollantilaisten ja ESA:n yhdessä toteuttaman OMI:n jatkaja, Sentinel 5 Precursor satelliitti ja sen TROPOMI mittalaite. Vaikka suomalaisosallistuminen TROPOMI-hankkeessa ei ollut täysin toiveidemme mukainen, pääsin kuitenkin seuraamaan sen kehitystä aitiopaikalta ESA:n tieteellisen neuvoo-antavan ryhmän jäsenenä. Ja mikä parasta, pääsin osallistumaan jälleen lokakuussa 2017 onnistuneisiin laukaisujuhliin, tällä kertaa ESTECissä Hollannissa.

TROPOMI:n ilmanlaatumittaukset ovat osoittautuneet häkellyttävän tarkoiksi; sopivissa olosuhteissa voidaan erottaa jopa yksittäiset päästölähteet. Koimme myös pienen voitonhetken, kun TROPOMI-havaintoja käyttäen Suomesta tuli vuonna 2021 ensimmäinen maa, joka hyödynsi satelliittihavaintoja EU:n ilmanlaaturaportoinnissa.

Kymmenisen vuotta sitten ilmatieteen laitoksen johto teki strategisen päätöksen syventää osaamistamme kasvihuonekaasujen kaukokartoituksen alalla. Menetelmäkehityksessä onnistuimme tekemään joitain läpimurtoja, erityisesti analysoiden NASAn hiilidioksidisatelliitin havaintoja sekä kehittämällä menetelmiä satelliittien referenssimittauksiin. Näiden siivittämänä pääsin vuonna 2018 mukaan ESA:n rakentaman ja Euroopan komission rahoittaman CO2M-hiilidioksidisatelliitin (Copernicus Carbon Dioxide Monitoring mission) tieteelliseen neuvonantajaryhmään. Mikä voisikaan olla tärkeämpää kuin edistää ilmastonmuutosta kiihdyttävien kasvihuonekaasupäästöjen seurantaa! Ja niinpä jälleen juoksin ESA-ESTECissä.

Lukuisista projektimatkoista ja kertyneestä kokemuksesta on lopulta ollut myös paljon iloa ja hyötyä. Tämä kulminoitui, kun sain vuonna 2019 kutsun varsinaiselle näköalapaikalle eli ESA:n kaukokartoitusohjelman neuvoo-antavaan ryhmään (**Advisory Committee for Earth Observation**,

ACEO). Sydämeni jätti varmasti jokusen lyönnin väliin kutsun saatuani, sen verran huikeaa oli päästä mukaan eurooppalaisen kaukokartoitusalan ytimeen. Tehtävänämme oli mm. ehdottaa mikä toinen toistaan edistyksellisimmistä Earth Explorer-kandidaattimissioista tulisi rahoittaa. Työ oli aivan uskomattoman mielenkiintoista, mutta vastuu myös painoi. Missioiden budjetit kun pyörivät 400 miljoonan euron paikkeilla – harvoinpa noin hintaviin rahoituspäätöksiin pääsee vaikuttamaan!

GOMOS- ja OMI-satsauksilla polkaistiin käyntiin myös **Ilmatieteen laitoksen satelliittikeskus Sodankylässä**. Toiminta käynnistyi kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen askel otettiin 22.5 2002 kun GOMOSin datanprosessointikeskus vihittiin käyttöön. Näin Sodankylästä tuli ESA:n operatiivinen satelliittidatan prosessointi- ja arkistointikeskus (FinCoPAC). Seuraava tärkeä askel oli vastaanottotoiminnan aloittaminen vuonna 2003. Antennin pystytys alkoi jo kevättalvella 2002 ja sillä otettiin vastaan ns. Direct Broadcast -mittausdataa, joka lähetetään satelliitista maahan välittömästi mittauksen tapahduttua. Näin viive satelliittihavainnon ja prosessoinnin välillä saadaan minimaaliseksi ja havaintotiedot voidaan lähettää käyttäjille 15–20 min kuluessa mittauksesta. Näiden ns. Very Fast Delivery -satelliittituotteiden myötä käynnistyi satelliittivastaanottotoiminta Sodankylässä. Tärkeässä roolissa satelliittikeskuksen kehityksessä oli myös 2000-luvun alkupuolella käynnistynyt Petteri Taalaksen neuvottelema ja EUMETSATin rahoittama SAF-toiminta (Satellite Application Facility), jonka ilmakehähavaintojen prosessointia on siitä lähtien johdettu Ilmatieteen laitokselta. Näiden ensiaskelten jälkeen toiminta laajeni kansalliseksi satelliittikeskukseksi, joka on vuosien varrella edelleen kasvanut kansainvälisestäikin tärkeäksi **Arktiseksi avaruuskeskukseksi**. Tällä hetkellä Sodankylän viisi antennia vastaanottavat päivittäin dataa jopa kahdeksastakymmenestä ylilentävästä satelliitista. Ja toiminta varmasti tästä vielä laajenee.



Kuva 13. ESA:n kaukokartoitusjohtajia tutustumassa moottorikelkkakyydillä Arktiseen avaruuskeskukseen Sodankylässä maaliskuussa 2023. Taustalla mittaustorni, jonne sijoitetaan satelliittien kalibrointiin tarvittavia referenssimittalaitteita. Vasemmalta Jussi Kaurola (IL), Toni Tolker-Nielsen (ESA), Jouni Pulliainen (IL), Simonetta Cheli (ESA).

En voi kuin hämmästellä mitä kaikkea onkaan tapahtunut sen jälkeen, kun ensi kertaa tutustuin kesätyössäni 90-luvun alussa satelliittialgoritmeihin. Olen hyvin kiitollinen niille suomalaisille avaruusalan pioneereille, jotka rohkeasti lähtivät toteuttamaan unelmaa Suomesta avaruusmaana.

Omasta mielestäni avaruuden mielenkiintoisin kappale on Maa ja maapallon havainnointi avaruudesta on palloilulajeista vaativin!

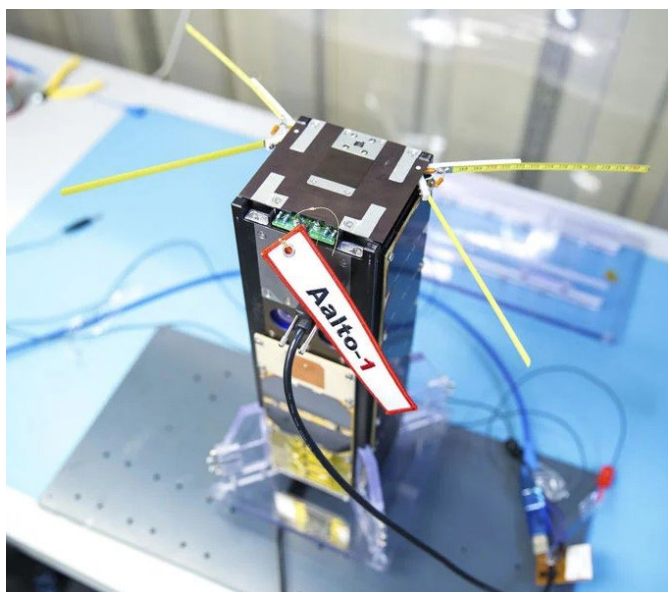
Johanna Tamminen, professori, Head of Unit, Earth Observation Research, Ilmatieteen laitos

Tuomas Tikka, Kuva Space Oy - Kuva Spacen matka kiertoradalle Euroopan avaruusjärjestö ESA:n tukemana

Kuva Space on suomalainen avaruusteknologiayritys, joka on lähtenyt rohkeasti kehittämään hyperspektrisatelliittiteknologiaa, ja jolla on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa, ruoantuotannon tehostamisessa ja globaalien tilannekuvan seurannassa niin maalla kuin merellä. Vuonna 2016 perustettu yritys on kasvanut Aalto-yliopiston satelliittiprojekteista yhdeksi lupaavimmista toimijoista avaruuspohjaisen hyperspektridatapalveluiden tuottajana. Tärkeänä kumppanina matkalla on ollut Euroopan avaruusjärjestö ESA, jonka tuki on mahdollistanut teknologian kehityksen ja kaupallistamisen.

Taustaa

Kuva Space syntyi vuonna 2016 silloisen Aalto-yliopiston satelliittitiimin ja ohjelmistoyhtiö Reaktorin yhteistyöstä. Yrityksen ensimmäinen satelliitti **Reaktor Hello World** laukaistiin onnistuneesti avaruuteen vuonna 2018. Satelliitti perustui osaamiseen ja tietotaitoon, jota oli kerätty jo 2010-luvun alusta Aalto-1 ja Aalto-2 satelliittiprojekteissa. Satelliitin tavoite oli demonstroida Kuva Spacen kaupallista satelliittiteknologiaa ja Valtion teknillisen tutkimuskeskus VTT:n kehittämää pienikokoista **hyperspektrikameraa** – joka oli saanut ensilentoonsa Aalto-1 satelliitissa ESA:n rahoittamana vuotta aiemmin. Satelliitin missio oli menestys ja se toimi luotettavasti aina vuoden 2023 loppuun kunnes se paloi tähdenlontona palatessaan ilmakehään ensimmäisenä suomalaisena satelliittina. Aalto-1 saavutti sille annetut tavoitteet ja todisti yrityksen teknologian sekä VTT:n kehittämän hyperspektrikameran kyvykkyudet tulevia hankkeita varten.



Kuva 14. Aalto-1 Cubesat-satelliitti. Aalto-1:n antennit on tehty monelle tutusta rullamitasta. Kuva: Mikko Raskinen / Aalto-yliopisto.

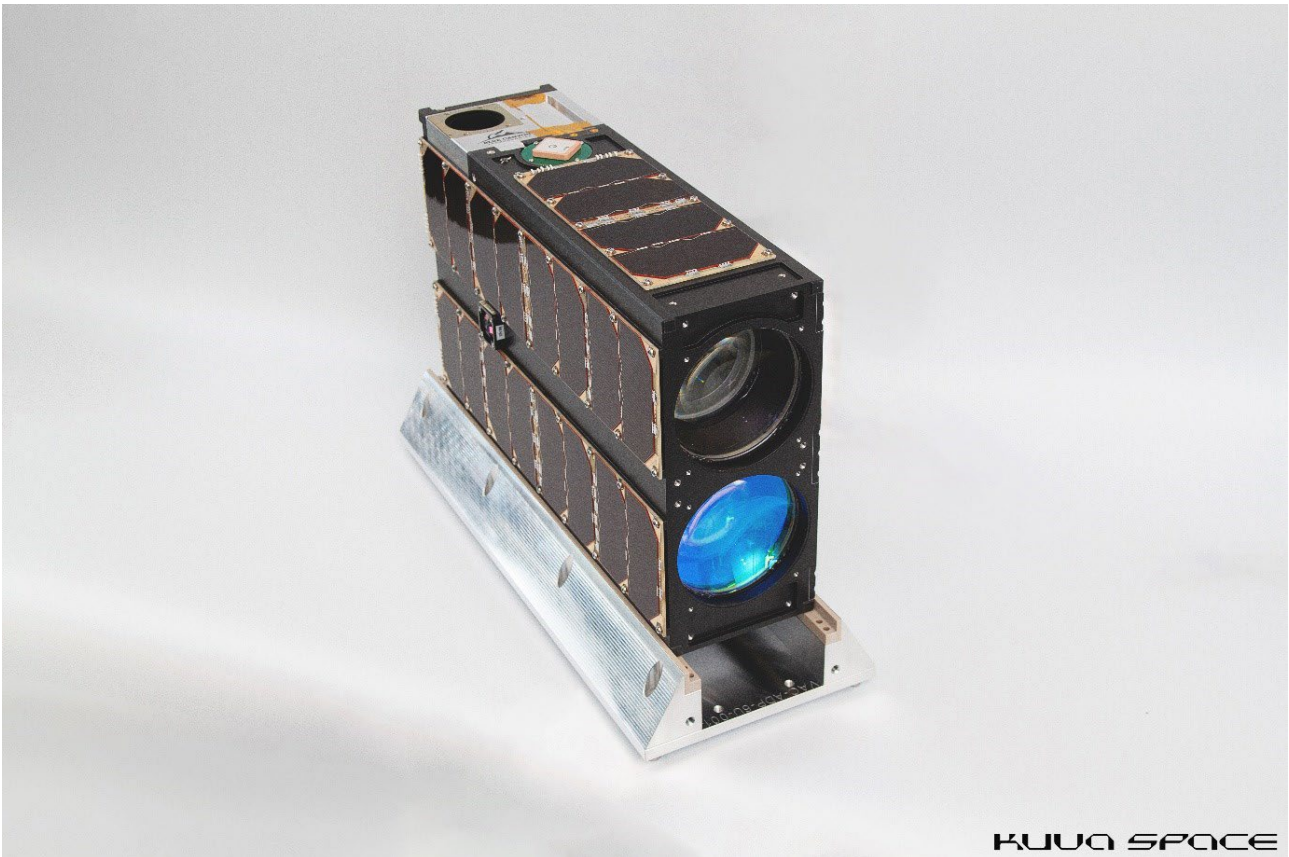
Satelliittien ja kameroiden jatkokehitys

Jo Aalto-1 ja Reaktor Hello World projektien aikana teknologialle tehtiin jatkokehitystä ESA:n [HERA](#)-projektissa. Aalto-yliopiston, VTT:n ja Helsingin yliopiston ehdottama suunnitelma entistä laajemmalla aallonpituusalueella toimivalla hyperspektrikameralla varustetusta piensatelliitista, tai oikeastaan luotaimesta, valittiin toteutettavaksi lentämään HERA-emoaluksen kyydissä kuvaamaan asteroideja. Kuva Space valittiin myöhemmin toteuttamaan itse piensatelliitti. Hanke ajautui kuitenkin myöhemmin haasteisiin ilmeisesti poliittisista ja rahoituksellisista syistä ja osoitti karvaasti haasteet joita pienellä yrityksellä voi joskus olla toimiessaan ESA:n kanssa. Mikäli asiat olisivat menneet toisin, laukaistaisiin syvään avaruuteen vuonna 2024 ensimmäinen kotimainen luotain yhdessä ESA:n lähitulevaisuuden merkittävimmistä hankkeista. Positiivisena asiana matkaan lähtee kuitenkin alkuperäisen projektiehdotuksen tärkein elementti – laajan aallonpituusalueen hyperspektrikamera sekä myös Kuva Spacen kehittämää teknologiaa. Toisaalta vastoinkäymiset nopeuttivat Kuva Spacen pitkän tähtäimen suunnitelmia maata kiertävistä hyperspektrisatelliiteista.

Suunnitelma konstellaatiosta maata kiertäviä hyperspektrisatelliitteja sai syntynsä jo yritystä perustaessa. Oli kuitenkin selvää, että Kuva Spacen satelliittitekniologiaa sekä VTT:n hyperspektrikameratekniologiaa on jatkokehitettävä, jotta hyperspektridataan perustuvat sovellukset olisivat houkuttelevia kaupallisesti. ESan HERA-missio ja muut kansalliset ja ESA-rahoitteiset hankkeet palvelivat teknologian kehitystä useamman vuoden ajan sekä Kuva Spacella että VTT:llä. Tuona aikana Kuva Space onnistui saamaan Suomen ensimmäisen satelliittilauksen ESAlta osana kansainvälistä **W-Cube**-missiota, johon myös VTT toimitti mikroaaltoalueen lähettimen. Satelliitti laukaistiin onnistuneesti kiertoradalle vuonna 2021 ja josta se lähettää edelleen tänä päivänä historian korkeimpia radiotaajuuksia avaruudesta maahan tutkimus- ja kehityskäyttöön. Samoihin aikoihin, yritys kehitti myös testilentoa Suomalaisen Isaware-yrityksen äärimmäisen kehittyneelle röntgenspektrometrille. Onnistuneesti vuosina 2021-2024 suoritetun testilennon myötä kyseinen laite on valittu lentämään yhdysvaltalaisen NOAA:n (National Oceanic and Atmospheric Administration) tulevassa avaruussäätä tarkkailevassa luotaimessa.

Kohti palveluliiketoimintaa

Vaikka Kuva Spacen matka kohti hyperspektrisatelliiteilla toteutettavia kaupallisia palveluita on sisältänyt haasteita, se on johtanut merkittäviin läpimurtoihin ja avannut ovia uusille mahdollisuuksille. Vuonna 2021 hyperspektrikameroille tehty jatkokehitys ja Kuva Spacen osoittamat kyvykkyydet mahdollistivat vihdoin yksityisen pääomarahoituksen keräämisen ja teknologian lisensoinnin ensimmäisinä askelina kohti yrityksen palveluliiketoimintaan perustuvaa tulevaisuutta. Samassa yhteydessä myös ESA lähti osarahoittamaan korkearesoluutioisen hyperspektrisatelliitin toteutusta. Yritys laukaisi onnistuneesti satelliitin ensimmäisen kehitysversion **Hyperfield-1A** kesällä 2024. Suorituskyvyltään edelleen paranneltu versio Hyperfield-1B on tarkoitus ampua avaruuteen vuoden 2025 alussa. Lopulta avaruudessa on tarkoitus kiertää kymmeniä tai jopa satoja yrityksen satelliitteja tarjoten päivittäin päivittyvää tietoa maapallolla tapahtuvista muutoksista.



Kuva 15. Hyperfield-1-satelliitti on 6U eli noin 6 kg painava Cubesat-satelliitti, jonka mittalaite on hyperspektrikamera. Kuvassa satelliitti jalustan alumiinisen päällä.

Vaikka Kuva Spacen palveluliiketoiminta on vasta alussa, on se onnistunut keräämään nyt useamman kierroksen yksityistä pääomaa ja herättämään laajaa kiinnostusta tekoälyllä tuotettuja palveluitaan kohtaan sekä kotimaassa että ulkomailla. Vuonna 2023 yritys valittiin ainoana eurooppalaisena hyperspektrisatelliitteja ja -palveluita tuottavana yrityksenä osaksi Euroopan komission **Copernicus-ohjelmaa**. Lisäksi yhteistyö ESA:n ja eurooppalaisten yhteistyökumppanien kanssa jatkuu projektissa, jossa kehitetään teknologiaa ja palveluita turvallisuuskriittisiin applikaatioihin. Yhdysvaltoihin perustetun tytäryhtiön myötä yritys on päässyt tiiviisiin keskusteluihin Yhdysvaltain valtion satelliittidataa hyödyntävien laitosten kanssa. Keskustelut kaupallisten palveluiden tuottamisesta joidenkin maailman isoimpien ja vaikutusvaltaisimpien yritysten kanssa ovat käynnissä.

ESAn rooli on ollut Kuva Spacen alkuvuosina merkittävä, ja toimii hyvänä esimerkkinä siitä kuinka haastavaa avaruusteknologian kehitys voi olla, vaikka merkittäviä epäonnistumisia ei matkalla olekaan sattunut. On kallisarvoista, että alan yrityksiä tuetaan myös jatkossa, että uusien korkean teknologian vientituotteiden luonti on mahdollista siivittäen uutta talouskasvua Suomeen ja tehden maailmasta paremman paikan elää myös tuleville sukupolville.

Tuomas Tikka, Kuva Space Oy, Co-founder & CTO

Avaruustiede

Suomen avaruustutkimus perustui pitkään Turun ja Helsingin observatorioihin, optisiin havaintoihin maanpäällisillä tähtitorneilla. 1960-luvulla professori Martti Tiuri sai aikaan Kirkkonummen Metsähovin radioteleskoopin rakentamisen. Se vei avaruustutkimuksen radiotaajuuksien aallonpituusalueille. Sen vaatima teknologiankehitys kehitti Suomen valmiuksia Nokia Oy:n 1980-luvun läpimurtoon matkapuhelintekniikoissa.

NASA:n keräämää dataa käytettiin Oulun, Turun, Helsingin yliopistoissa ja TKK:n (Aallon) tieteellisessä tutkimuksessa, Suomeen tuli jopa Kuu-kiviä GTK:n tutkittavaksi. ESA:n missioiden data oli myös käytössä. Keväällä 1985 Suomessa rakennettiin ensimmäisiä osuuksia avaruus-alusten tieteellisiin mittalaitteisiin, tosin aloitettiin ruotsalaisista mittalaitteista Neuvostoliiton Mars-ohjelmassa.

Vuonna 1987 Suomi oli jo täysimääräisesti mukana ESan Tiedeohjelman (Science Programme) toiminnassa aloittaen sen SOHO ja Cluster avaruus-alusten tiedelaitteiden (ERNE, SWAN jne.) kehittämisen. Päätoimijoina olivat Oulun ja Turun yliopistot sekä Ilmatieteen laitos. Pian Helsingin yliopisto tuli mukaan röntgenastrofysiikan ESA-missioon Integral. Tekniikan toteutuksessa päärooleissa olivat VTT, Hollming Oy (Finnyards, Finavitec, Patria, RUAG, Beyond Gravity – yhtiön omistus ja nimi muuttui 1990-luvulta lähtien - kuten avarusteollisuudessa muuallakin Euroopassa ja Yhdysvalloissa), ja Oxford Instruments (aloittaen Outokumpu-yhtiöstä). Lukuisia pienempiä yrityksiä tuli ja meni ja osa jäi alalle. Uusia missioita ja tiedelaitteita syntyi, viimeisin avaruusteen lähtenyt on SIXM/MIXS-instrumenttikokonaisuus, joka lentää BepiColombo Merkurius-luotaimella. Comet Interceptor-komeettaluotain on rakenteilla – sen suomalaisia Fabry-Perot spektrometriteknologioita käytetään myös ESan avaruusturvallisuus-ohjelman muissa luotaimissa. Aurinkotutkimus ja Maan ionosfäärin tutkimus on laajentunut avaruussään tutkimukseen ml. Helsingin yliopiston laajoihin simulaatiomalleihin. Uusiin ESan missioihin tähtytään: gravitaatioaaltoja etsivä LISA, NewAthena röntgenastrofysiikan satelliitti, M7-missiokandidaatti, tammikuussa 2025 avautuvat M8-missioiden ideahaku. Tiedetään mitä Euroopassa tehdään kolmenkymmenen vuoden päästä.

Suomi mukana satelliittiprojekteissa ESA:ssa

Kun Suomi liittyi ESAan täysjäsenenä vuonna 1995, alkoi tulla teollisuustilauksia satelliittien perustekniikoista, joita liitännäisjäsenyys ei ollut tarjonnut. Yhteistyössä ESA:n kanssa käynnistettiin **Finland Task Force**, jonka tavoitteena oli ideoida ja koordinoita uusia tilauksia teollisuudelle sekä kehittää yritysten valmiuksia. Tämän ja yritysten omien ponnistusten ansiosta suomalainen teollisuus pääsi mukaan käynnissä oleviin hankkeisiin, jotka oli usein suunniteltu jo kauan ennen Suomen liittymistä.

Tutkijoilla oli tässä tilanteessa etulyöntiasema. Yliopistojen ja tutkimuslaitosten laboratorioissa valmistettiin mittalaitteita luotaimiin ja tehtiin avaruustutkimusta. Tämä yhteistyö ESA:n kanssa tarjosi suomalaisille tutkijoille lisää mahdollisuuksia osallistua kansainvälisiin avaruushankkeisiin ja kehittää alaan liittyvää osaamista edelleen.

Taulukko 2. ESan Tiedeohjelman satelliitit ja avaruusluotaimet, joissa suomalainen tiedelaite tai osuus sellaisesta tai teollinen osuus satelliitin järjestelmissä.

1. joulukuuta 1995	SOHO	tiedelaitteet SWAN ja ERNE isojen tiimien toimesta
4. kesäkuuta 1996	Cluster – tuhoutui Ariane 5-raketin ensimmäisessä laukaisussa	Hollmingin valmistamat sähkötehon säätöyksiköt
15. lokakuuta 1997	Huygens	Insinööritoimisto Ylisen radiokorkeusmittari ja Ilmatieteen laitoksen paineinstrumentti
10. joulukuuta 1999	XMM-Newton	Patrian suuri hiilikuiturakenne
16. heinäkuuta 2000	Cluster-II	teollinen osuus satelliittirunkoon kuten yllä
17. lokakuuta 2002	INTEGRAL	tanskalais-suom. JEM-X röntgenmittalaite, Metorex, VTT
2. kesäkuuta 2003	Mars Express	Patrian teollinen osuus satelliittirunkoon ja Ilmatieteen laitoksen ruotsalainen ASPERA instrumentti
28. syyskuuta 2003	SMART-1	XSM ja SPEDE instrumentit
2. maaliskuuta 2004	Rosetta	luotain: Patrian satelliittirunkorakenne, Philae-laskeutujassa useampia Ilmatieteen laitoksen mittalaitteita
9. marraskuuta 2005	Venus Express,	Patrian teollinen osuus satelliittirunkoon – Ilmatieteen laitoksen osuus ruotsalaiseen ASPERAan
22. lokakuuta 2008	Chandrayaan-1 (ISRO)	Intian avaruuslento – tiedelaite toteutettiin ESan kautta, Helsingin yliopisto
14. toukokuuta 2009	Herschel	Opteon hioi sen suuret peilit
14. toukokuuta 2009	Planck	LFI-mikroaaltotiedelaitteen vastaanotin, ESA MilliLab (VTT, Aalto) ja Insinööritoimisto Ylinen
19. joulukuuta 2013	GAIA	Patria toteutti signaalinkäsittely-yksikön ja Space Systems Finland satelliitin keskusohjelmiston
20. lokakuuta 2018	BepiColombo	SIXS/MIXS instrumentti, lukuisia toteuttajia Suomesta
14.4.2023	Juice	Aallon PEP instrumentti osuus

Hannu Koskinen, Helsingin yliopisto - Helsingin yliopiston avaruusfysiikan emeritusprofessori Hannu Koskisen kertomus urastaan ja ESA hankkeista, joista yksi oli Rosetta

Avaruus – rajaton rintama

Vuonna 1945 Vannevar Bush otsikoi Yhdysvaltain presidentin Franklin D. Rooseveltin pyynnöstä tekemänsä raportin ”Science the Endless Frontier”. Samaa voi tietenkin sanoa myös avaruudesta ja avaruustieteistä. Asia alkoi kirkastua minulle kauan ennen kuin olin kuullutkaan mistään Vannevar Bushista. Seurasin koulupoikana 1960-luvulla innokkaasti Yhdysvaltain ja Neuvostoliiton kilpajuoksua avaruuteen ja pidättelin hengitystäni Neil Armstrongin astuessa heinäkuussa 1969 kuunkamaralle. Se, että hyvän laskupään saaneesta koululaisesta tuli myöhemmin fyysikko ja lopulta muutaman onnekkaan käänteiden jälkeen avaruustutkija, ei tietenkään ole mikään ihme. Mutta monta ihmettä sain olla todistamassa työurani aikana.

Suomalaisen ESA-toiminnan aamunkoitto

Suomalaiselle tiedeyhteisölle ESAn ovet avautuivat jo kymmenen vuotta ennen varsinaista ESA-jäsenyyttä. Vuonna 1987 alkanut liitännäisjäsenyys merkitsi täysipainoista osallistumista ESAn tiedeohjelmaan, joka on ESAn peruskirjan mukaan organisaation ainoa ohjelma, johon kaikkien jäsenmaiden on sitouduttava kansantuoteosuudellaan. Tuossa vaiheessa alkoivat Suomen ensimmäiset instrumenttiprojektit ESAn tiedeohjelman **Horizon 2000**:ksi kutsutun viitekehysten ensimmäisessä kulmakiviohjelmassa, jonka teemana olivat Auringon ja Maan vuorovaikutukset. Turun yliopisto sai päävastuun Aurinkoa ja aurinkokuntaa tutkivan SOHO-aluksen suurienergiaisia hiukkasia mittaavassa ERNE-instrumentissa, Ilmatieteen laitos osallistui noin 50% osuudella ranskalaisjohtoiseen aurinkotuulen suuren skaalan rakennetta tutkivaan SWAN-laitteistoon ja Oulun yliopisto neljän magnetosfäärin tutkimussatelliitin Cluster-muodostelman sähkökenttä-instrumentteihin.

Omalta osaltani liityin suomalaiseen avaruustutkimukseen palatessani kotimaahani elokuussa 1987 työskenneltyäni kuusi ja puoli vuotta Uppsalassa Ruotsin ensimmäisen tieteellisen satelliitin, revontulialueen yläpuolista avaruutta luodanneen **Vikingin** parissa. Ilmatieteen laitoksessa nopeassa kasvussa ollut avaruustutkimus tarjosi houkuttelevan haasteen ja mahdollisuuden siirtää Ruotsissa oppimaani uuteen ympäristöön. Tuossa vaiheessa omalla agendallani ei vielä ollut ESA-hankkeita. Päiväni, iltani ja aika paljon viikonloppunikin täyttyivät Ilmatieteen laitoksen osallistumisesta Ruotsissa valmisteilla olleeseen Freja-satelliittiin ja Neuvostoliiton Mars- ja magnetosfääriohjelmiin. Nämä olivat tärkeitä elementtejä rakennettaessa suomalaista osaamiskapasiteettia ja teollista valmiutta kohti ESAn täysjäsenyyttä.

Suomessa oli tarvetta avaruusosalalle koulutetulle työvoimalle kaikilla tasoilla. Teknisessä korkeakoulussa oli käynnistymässä avaruusalan diplomi-insinöörien koulutus. Tarjouduin kokoamaan avaruustieteiden perustiedot tarjoavan kurssin ja luennoin sitä TKK:n sähköosastolla kolmena syksynä 1987–1989. Vuonna 1989 sain nimityksen avaruustieteiden dosentiksi Helsingin yliopistossa ja aloin käynnistellä alan opetusta myös siellä. Tämä johti vuonna 1997 yliopiston ja Ilmatieteen laitoksen yhteiseen avaruustieteiden professuuriin, jota hoitamaan minut kutsuttiin aluksi määräaikaisena. Viisi vuotta myöhemmin professuuri vakinaistettiin ja minut valittiin tehtävään hakuprosessin jälkeen. Professuurin ansiosta onnistuimme rekrytoimaan lahjakkaita nuoria Ilmatieteen laitokseen ja Helsingin yliopistoon. On hienoa nähdä kuinka menestyksekkäitä ja kuinka monipuolisissa tehtävissä niin Suomessa kuin maailmallakin toimivia asiantuntijoita olen saanut olla vuosien varrella opastamassa heidän uransa alkuvaiheissa.

ESA henkilökohtaiseksi tuttavaksi

ESA rooli tehtävälliställani kasvoi aloitettuani Ilmatieteen laitoksen avaruustieteiden toimiston päällikkönä vuonna 1991 ja erityisesti saatuani kutsun ESAn aurinkokunnan työryhmän SSWG:n (Solar System Working Group) jäseneksi vuosiksi 1993–1996. Risto Pellisen tultua valituksi ESAn tiedeohjelmakomitean SPC:n puheenjohtajaksi vuonna 2002 perin hänen paikkansa Suomen SPC-delegaatioissa, jossa tehtävässä toimin vuoteen 2016. Osallistuin noina vuosina yli neljäänkymmeneen tiedeohjelmameuvoston viralliseen ja epäviralliseen kokoukseen useimmiten yhdessä TEKESin Pauli Stigellin kanssa.

Vuonna 2010 Suomi lähti ahkeran lobbauksen jälkeen pienellä panoksella mukaan ESAn uuteen avaruustilannekuvaohjelmaan SSA:han (Space Situational Awareness), josta sittemmin kasvoi nykyinen avaruusturvallisuusohjelma Space Safety (S2P). Suomen vaatimattomasta osallistumistasosta huolimatta minut valittiin SSA:n ohjelmameuvoston puheenjohtajaksi kolmivuotiskaudelle 2011–2014. Lukuisista puheenjohtajuuksistani erilaisissa työryhmissä ja komiteoissa tämä oli epäilemättä vaativin. Uuden ohjelman rakentaminen parinkymmenen osallistujamaan edustajien vetäessä eri suuntiin ei ollut helppoa ja vaati myös ohjelmameuvoston puheenjohtajalta sekä tiukkuutta että joustavuutta, jotta kokoukset ylipäänsä saatiin viedyksi läpi annetussa ajassa. Paljon aikaa kului asioihin perehtymiseen ja kokousten valmisteluun.

Eläköityessäni laskeskelin, että olin kolmen vuosikymmenen aikana käynyt Pariisissa lähes sata kertaa, useimmiten ESAn päämajassa rue Mario-Nikisillä Pariisin 15. kaupunginosassa. Sen verran addiktoiduin kaupunkiin, että vieläkin siellä on päästävä käymään vähintään kerran vuodessa.

Rosetta – ainutlaatuinen eurooppalainen avaruusseikkailu

Lukuisista ESA-projekteista, joihin osallistuin eri rooleissa, haluan nostaa esiin yhden ESAn suurimmista onnistumisista. Samaan aikaan, kun Suomesta tuli ESAn täysjäsen, käynnistyi Horizon 2000:n kolmas kulmakiviohjelma **Rosetta**, jonka päämääränä oli päästä kiertämään Aurinkoa samalla

radalla komeetan kanssa ja laskea pieni laskeutumisalus komeetan pinnalle. Samoin kuin Rosettan kivi avasi hieroglyfien salaisen koodin muinaisen Egyptin kieleen ja historiaan, komeetat tuovat meille tietoa aurinkokunnan alkuajoilta, kunhan opimme lukemaan niiden sanomaa. Rosetta tuli seuraamaan minua aina vuoteen 2016 asti eli yli puolet avaruustutkijan työurastani.

Rosetta oli keskeinen asia SSWG:n agendalla 1990-luvun puolivälissä. SSWG:n kokousten lisäksi suihkin ympäri Eurooppaa erilaisissa Rosettaan liittyvissä työryhmissä ja kokouksissa. Nykyään varmaankin puolet kokouksista hoidettaisiin etäkokouksina, mutta siihen ei vielä tuohon aikaan ollut sen paremmin kunnollisia teknisiä työvälineitä kuin kulttuurista valmiuttakaan.

Huhtikuussa 1994 saimme Ilmatieteen laitoksen avaruustutkimusyksikköön vieraaksemme saksalaisen avaruusinstrumenttien Pelle Pelottoman, professori Helmut Rosenbauerin Max-Planck-Institut für Aeronomiasta Katlenburg-Lindausta. Hän oli hyvin tietoinen panoksestamme Venäjän **Mars-96-luotaimen laskeutumisaluksen** suunnitteluun ja valmistamiseen. Rosenbauer kysyi, olisimmeko kiinnostuneita osallistumaan hänen valmistelemansa ehdotukseen **Rosetta-laskeutujasta**, joka tuli paljon myöhemmin monen käänteen jälkeen saamaan nimen **Philae**. Pelottomia mekin olimme vastatessamme Risto Pellisen johdolla kyllä. Jo seuraavalla viikolla matkustin Ilmatieteen laitoksen avaruusinsinöörin Ari-Matti Harrin kanssa laskeutujan suunnittelukokoukseen Lindauhun.

Tästä alkoi kaksi vuosikymmentä kestänyt seikkailu, jossa tärkeimmäksi tehtäväkseni tuli toimia Philaen osallistujaorganisaatioiden muodostamassa ohjausryhmässä. Ja se ei todellakaan ollut suomalaisesta hallintokulttuurista tutuksi tullut johtoryhmä, jonka kokouksiin tärkeät ihmiset saapuvat nauttimaan kahvia ja kampaviinereitä vaivautumatta perehtymään asioihin juurikaan sen syvällisemmin. Ohjausryhmä joutui taistelemaan vaikeasta alusta aina onnistuneeseen loppuun asti lukuisten teknisien ja resurssiongelmien kanssa. Koko laskeutujanhanke oli useaan otteeseen suurissa vaikeuksissa, mutta niin vain Rosetta ja Philae saatiin valmiiksi tammikuulle 2003 suunniteltuun laukaisuun. Vain muutamaa viikkoa ennen Rosettan lähtöä Ariane-5-kantoraketin edellinen lento epäonnistui. Rosettan lähtöä jouduttiin siirtämään, minkä vuoksi myös kohdekomeetta oli vaihdettava. Lopulta matkaan päästiin maaliskuussa 2004.

Kymmenen vuotta kestäneen matkan varrella oli useita vaaranpaikkoja. Jotta komeetan kiertoradalle päästäisiin, oli otettava vauhtia kolmesta Maan ja yhdestä Marsin lähiohituksesta, joiden oli onnistuttava täsmälleen oikein. Matka ulottui aina Jupiterin etäisyydelle Auringosta, jolloin Rosetta oli energiansäästösyistä vaivutettava kaksi ja puoli vuotta kestäneeseen talviuneen. Aluksen herääminen itsekseen oikeaan aikaan oli yksi matkan kaikkein hermostuttavimmista vaiheista. Kaikista näistä selvittiin ja kesällä 2014 Rosetta saapui kiertämään Aurinkoa komeetan kumppanina.

Yksi urani hienoimmista hetkistä oli iltapäivä 12. marraskuuta 2014. Olin mukana ESan avaruusalusten ohjauskeskuksen auditoriossa Darmstadtissa seuraamassa Philaen laskeutumista ensimmäisenä avaruusaluksena komeetan pinnalle. Laskeutuminen tapahtui Suomessa television kuuden uutisten aikaan ja sai tärkeitä poikkeuksellisen medianäkyvyyden. Suomalaisen komeetan vesipitoisuutta mitanneen PP-laitteen anturit olivat Philaen laskeutumisjalkojen pohjissa ja kommentti, että suomalaiset laskeutuivat ensimmäisenä komeetalle, levisi kuin kulovalkea paikallislehtiin Savosta Pohjanmaalle. Nyt kun on kulunut jälleen kymmenen vuotta, suomalaiset tuntuvat unohtaneet koko tapahtuman varsin tehokkaasti. Sic transit gloria mundi!

Philae tuotti tieteellisiä havaintoja komeetan pinnalta 60 tunnin ajan ja Rosetta seurasi komeettaa lähietäisyydeltä läpi sen aktiivisimman vaiheen runsaan kahden vuoden ajan. Lopulta emoalus itsekin laskettiin komeetan pinnalle ohjauspolttoainetarastojen ehdyttyä. Eurooppalainen avaruustutkimus oli saavuttanut jotain ainutlaatuista, jota ei tultaisi ylittämään vuosikausiin.

Ei suositella arastelijoille

Vuosien varrella pohdiskelin usein rohkeutta ja riskinottoa. Avaruus on vihamielinen ympäristö, jonka asettamiin haasteisiin edellä mainittu Space Safety-ohjelma pyrkii vastaamaan omalta osaltaan. Avaruuslentoihin liittyy aina suuria riskejä, kuten silloin tällöin epäonnistuvat kantorakettien laukaisut osoittavat, puhumattakaan kahden avaruussukkulan tuhoutumisesta, jotka veivät seitsenhenkiset miehistönsä kuolemaan.

Omalta osaltani sain kokea riskien realisoitumisen ollessani seuraamassa Kouroulla Ariane-5-kantoraketin lähtöä ensilennolle kesällä 1996. Saatuaan tarjouksen, josta ei voinut kieltäytyä, ESan tiedeohjelma oli ottanut ison riskin ja päättänyt lähettämään neljä Cluster-alustaan uuden kantoraketin testilennon mukana. Lento kesti vajaan minuutin päätyen speksakkelimaiseen räjähdykseen. Menetyks oli iso takaisku ESan tiedeohjelmalle ja meillä Suomessa erityisesti Oulun yliopiston tutkijaryhmälle.

Cluster-satelliitit onnistuttiin kuitenkin rakentamaan uudelleen ja lähetettiin matkaan kahdella venäläisellä kantoraketilla vuonna 2000. Tätä kirjoittaessani niistä ensimmäinen on juuri palannut ilmakehään ja sen kuumuudesta selvinneet osat syöksyneet hallitusti Tyyneen Valtamereen. Muiden kolmen tieteelliset instrumentit on nyt myös suljettu, mutta alusten kiertoradasta pidetään huolta, jotta niiden paluu ilmakehään tapahtuu hallitusti vuosina 2025 ja 2026. Erittäin menestyksellä 24 vuotta kestänyt ohjelma on ohitse.

Tutkijat ovat valmiita osallistumaan hyvinkin uskaliaisiin ohjelmiin, kunhan vain joku suostuu osallistumisen rahoittamaan. Rosettan tapauksessa aurinkokunnan pienkappaleiden tutkijayhteisö oli innoissaan, mutta varsinkin muiden alojen tutkijat olivat erittäin skeptisiä onnistumisen mahdollisuuksista. Toki ymmärsimme itsekin, että moni asia voisi pitkän matkan aikana mennä totaalisesti pieleen. Mutta entäpä, jos kuitenkin onnistuisimme? Ja onnistuimmehan me. Onni suosi rohkeaa!

Noususta lamaan ja lamasta uuteen nousuun

Suomen ESA-liitännäisjäsenyys sattui Suomessa euforiseen aikaan. Juppien muskeliveneiden ohella maassa vallitsi usko siihen, että meistä voisi tulla pieni avaruussuurvalta. Myös me tutkijat onnistuimme nopeasti hankkimaan rahoitusta tutkimusprojekteillemme. Tekesin ja Suomen Akatemian tutkimusrahoitus yhdessä viimeisiään henkäisyään vetäneen TT-yhteistyön Neuvostoliiton kanssa mahdollistivat jälkeen päin ajatellen uskomattoman nopean suomalaisen avaruustutkimuksen kasvun.

Koska avaruushankkeet ovat pitkäkestoisia, emme heti edes kunnolla huomanneet 90-luvun alun lamaa. Lama ilmeisesti oli kuitenkin taustalla, kun Suomen täysjäsenyys ESAssa viivästyivät muutamalla vuodella. Rosettan käynnistymisen aikaan tunsimme jo konkreettisesti, että rahat alkoivat olla tiukalla

ja jouduimme tyytymään haaveitamme vaatimattomampaan osallistumistasoon. Lopulta onnistuimme neuvottelemaan Tekesin, Suomen Akatemian ja Ilmatieteen laitoksen yhteisen rahoituspaketin, jonka puitteissa selvisimme haasteista kunnialla.



Kuva 11. Rosetta oli ensimmäinen avaruusluotain, joka asetti laskeutujan (Philae) komeetan pinnalle. Se antoi valtavasti uutta tietoa aurinkokunnan alkuperästä ja komeettojen roolista siinä.

Rosetta ei suinkaan jäänyt viimeiseksi avaruuslennoksi, jossa suomalainen tiedeyhteisö on joutunut taistelemaan vaatimattomien ja hajanaisten kansallisten tutkimusresurssien kanssa. Se tulee olemaan varmaankin vääjäämätöntä myös jatkossa. En halua kuitenkaan lopettaa tätä lyhyttä kirjoitelmaa valitusvirteen. Vaatimattomasta alusta ja monista kiville menneistä yrityksistä huolimatta olemme nousseet hyvälle kansainväliselle tasolle. Yhtenä merkinä tästä on suomalaisten ja Suomessa työskentelevien avaruusfysikoiden ja tähtitieteilijöiden saamat, yhteisön kokoon nähden lukuisat Euroopan tutkimusneuvoston ERC:n (European Research Council) myöntämät huomattavat tutkimusmäärärahat. Parasta näissä on, että ne myönnetään ihan oikeasti ekselenssin perusteella.

Korkeatasoinen avaruustutkimus ja sille perustuva koulutus on johtanut menestykseen myös avaruustekniikassa. 80- ja 90-lukujen vaihteen tienoilla tehtiin useita yrityksiä ensimmäisen suomalaisen satelliitin toteuttamiseksi. Ne kariutuivat yksi toisensa jälkeen, mutta loivat osaamispohjaa, joka johti aikanaan ensimmäisiin Cubesat-luokan suomalaisiin nanosatelliitteihin ja Iceyeen kaltaiseen menestystarinaansa kaukokartoitus-satelliittien rintamalla. Tänä päivänä meillä on jo useita avaruusalan yrityksiä ja lisää näyttää olevan tulossa.

Varmaankin olisimme menneiden 40 vuoden aikana voineet tehdä monta asiaa paremmin ja tehokkaammin, mutta aika hyvin me kuitenkin selvisimme. Olen iloinen, että sain kantaa oma vaatimaton korteni tähän kekkoon!

Maria Genzer, Ilmatieteen laitos - Löytöretkillä aurinkokunnassa

Vuonna 1995, kun Suomi liittyi ESA:n täysjäseneksi, selailin tiiliskiveä nimeltä Teknillisen Korkeakoulun opinto-opas etsiessäni mielenkiintoista syventymiskohdetta opinnoilleni. Ja löytyihän se – avaruustekniikka. Olin ollut kiinnostunut avaruudesta pienestä pitäen ja nyt pääsin opiskelemaan siihen liittyviä asioita. Ilahduin myös kovasti kuullessani Suomen ESA-jäsenyydestä, pääsimmhän mekin nyt osallisiksi eurooppalaisesta ”avaruusseikkailusta”. **Avaruustekniikan perusteet** -kurssilla opin mm. mitä ovat ESA:n avaruushankkeiden vaiheet A, B, C ja D ja miten avaruushankkeita suunnitellaan ja johdetaan. Kaikista TKK:n opinnoista tämä kurssi on jäänyt parhaiten mieleeni käytännönläheisellä otteellaan avaruushankkeiden toteutukseen.

Päästessäni töihin Ilmatieteen laitokselle, ensin tekemään harjoitustyötä ja sitten diplomityötä, pääsin suoraan suomalaisen avaruustoiminnan ytimeen. 1990-luvun loppupuolella Suomi ja Ilmatieteen laitos olivat mukana useammassa avaruushankkeessa, ja tuore ESA-jäsenyys avasi uusia mahdollisuuksia. Pääsinkin työskentelemään ESA:n ROSETTA-komeettatutkimusluotaimen kyydissä olevan, komeetan pölyaineen kemiallista koostumusta tutkivan **COSIMA-mittalaitteen** ohjelmistokehityksen ja maatuokilaitteiston kehityksen parissa (itse Rosetta-hanke on kuvattu laajemmin muualla tässä julkaisussa). Myöhemmin vastasin COSIMA:n operoinnista, eli komentojen koostamisesta ja vastaanotetun datan tulkitsemisesta, sen testien aikana. Alku-urani hauskipia kohokohtia olikin pääsy käymään ESA:n avaruuskeskuksessa Ranskan Guayanassa suorittamassa viimeiset testit ennen Rosetan laukaisua, sekä myöhemmin jo avaruuteen laukaistun Rosetan kyydissä olevan COSIMAn testaaminen Saksan Darmstadtissa olevasta ESA:n operaatiokeskuksesta (ESOC) käsin. Siihen aikaan mittalaitteen komentaminen ensimmäisessä käyttöönottovaiheessa tapahtui sanelemalla testikomentojen koodit radioyhteydellä tutkimusryhmille varatusta huoneesta suoraan Rosetan lennonjohtoon, jonne emme sentään päässeet (nykyäänhän nämä hoidetaan automaattisilla skripteillä virhetarkistuksineen). Sillä hetkellä todella tunsin olevani osa jotakin suurta ja merkityksellistä.



Kuva 13. Kouroun avaruuskeskuksessa valmistautumassa Rosetan testeihin v.2002...



Kuva 14 ... ja ESOCissa vuonna 2004 ensimmäisissä testeissä Rosetan laukaisun jälkeen (Kuvat: Jouni Rynön kotialbumi)

Avaruudessa lentävien mittalaitteiden operointi ei osaltani loppunut tähän. Ilmatieteen laitos toimitti ESA:n ensimmäiseen kuuhankeeseen, **SMART-1:een** (2003-2006), **SPEDE-mittalaitteen** (Spacecraft Potential, Electron and Dustin Experiment). SMART-1 oli teknologiademonstraatiohanke, jonka päätehtävä oli testata uutta ionimoottorityyppiä (Hall tihrustit), jota tultiin sittemmin käyttämään

ESA:n myöhemmissä hankkeissa. Spedeine tehtävä oli mm. mitata luotaimen ympäristön sähkömagneettisia ominaisuuksia sekä ionimoottorin suihkun vaikutusta niihin. Spedeeni mittaukset paljastivat myös laajemmin luotainta ympäröivän avaruuden sähköisiä ominaisuuksia sekä aurinkotuulen käyttäytymistä. Spedehän varten kehitettyä teknologiaa ja algoritmeja, kuten FAG:llä toteutettua prosessoria, käytettiin myöhemmin pohjana uudemmissa hankkeissa, esim. JUICE-hankkeessa (tästä jäljempänä).

Samaan aikaan jo vuonna 1997 laukaistu **Cassini-Huygens**, NASA:n ja ESA:n yhteinen avaruushanke Saturnuksen ja sen kuiden tutkimiseen, oli matkalla kohteeseensa.

Huygens-laskeutujassa oli mukana Ilmatieteen laitoksen suunnittelema ja rakentama, Vaisala Oyj:n anturiteknologiaan perustuva painemittalaite **PPI/HASI** (Pressure Profile Instrument/Huygens Atmosphere Structure Instrument). Kun Huygens vihdoin laskeutui Titan-kuuhun tammikuussa 2005, tuli PPI:stä ensimmäinen suomalainen mittalaite vieraan taivaankappaleen pinnalla. HASI lähetti Maahan tiedot Titanin kaasukehän paine- ja lämpötilaprofiilista, ja sain olla paikan päällä ESan ESOC-keskuksessa muiden tutkimusryhmien kanssa vastaanottamassa näitä tietoja tuoreina sitä mukaa kun ne saapuivat.



Kuva 15. PPI/HASI

PPI/HASI oli ensimmäinen Ilmatieteen laitoksen ja Vaisala Oyj:n yhteistyöstä syntynyt muiden taivaankappaleiden kaasukehien mittaamiseen tarkoitettu laite, mutta se ei jäänyt viimeiseksi. Syntyi kokonainen tuoterperhe kaasukehien paine- ja kosteusmittalaitteita. Laitteita toimitettiin sekä NASA:n että ESA:n hankkeisiin, kuten Mars Phoenix-laskeutujaan (2007), Curiosity (2012-) ja Perseverance (2020-) -mönkijöihin (mönkijöiden laitteet toimivat edelleen tätä kirjoitettaessa), sekä laskeutumisessa valitettavasti tuhoutuneeseen ExoMars 2016-luotaimen **Schiaparelli** -laskeutujaan ja lykkäytyneen ExoMars 2020 -hankkeen laskeutujaan. Phoenix-hankkeen valmistelun aikoihin työni painopiste Ilmatieteen laitoksella siirtyi avaruuslaitteiden operoinnista laitekehityksen laadunvalvontaan ja myöhemmin projektijohtoon. Tätä artikkelia kirjoitettaessa työn alla on paluu Titaniin, kun Ilmatieteen laitos toimittaa Saksan DLR:n kaupallisesta tilauksesta painemittalaitteen NASA:n Dragonfly-luotaimen laskeutumiskapseliin.



Kuva 15. ESOC, 2016. Schiaparellin malli luonnollisessa koossa.

Mittalaitteiden kehittäminen ja testaaminen toisten planeettojen olosuhteisiin ei ollut ihan yksinkertaista. Kuten muihinkin ESA:n avaruuslaitteisiin, elektroniikan juotokset sai tehdä vain ESA:n kouluttama ”avaruusjuottaja”, jonka työn jäljen kävi vielä tarkistamassa ESA:n kouluttama juotostarkastaja. Kehitysvaiheessa komponenttien ja materiaalien sekä esim. juotos- ja liimausprosessien kestävyyttä Marsin olosuhteissa testattiin mm. laskemalla testimallit nestemäistä tyypeä sisältävään saaviin, jossa sopivalla korkeudella typen pinnasta saavutettiin haluttu -135°C lämpötila. Ja jos jokin ei kestänyt, piti miettiä uusi ratkaisu. Oman lisänsä Marsin pinnalle tarkoitettujen lentomallien käsittelyyn toivat vielä puhtaussäännöt ja dekontaminaatioprosessit, joiden avulla pyritään estämään Maan mikrobien pääsy vieraille planeetoille.

Planeettojen kaasukehien paine- ja kosteusmittalaitteet eivät olleet ainoa Ilmatieteen laitoksen avaruuslaitteiden tuoteperhe. **ASPERA-plasmamittalaitteiden** kehitys aloitettiin yhteistyössä ruotsalaisen IRF-avaruusfysiikkatutkimuslaitoksen (Institutet för rymdfysik, Kiirunassa) kanssa jo 1980-luvulla. Ilmatieteen laitoksen vastuulla oli ASPERAn keskustietokone. Ensimmäinen ASPERA lensi Neuvostoliiton Phobos-2-luotaimen mukana, ja uudemmat versiot ASPERA-3 ESA:n Mars Express -hankkeessa (2003-) sekä ASPERA-4 Venus Express -hankkeessa (2005-2014). Tämän yhteistyön ja kokemuksen sekä SPEDE-mittalaitteen kehitystyön pohjalta Ilmatieteen laitosta pyydettiin suunnittelemaan ja toimittamaan keskustietokone ja käyttöjärjestelmäohjelmisto myös ESA:n Jupiter-hanke JUICE:n (2023-) PEP-Lo-mittalaitteelle, jonka päävastuu oli jälleen IRF:llä.

Ilmatieteen laitos on ollut vahvasti mukana avaruustutkimuksessa sekä kotimaisen avaruusteknologisen kyvykkyyden kehittämisessä koko Suomen ESA-jäsenyyden ajan. Ilmatieteen laitokselle onkin kertynyt merkittävää tietoa ja kokemusta tieteellisten vaatimusten yhdistämisestä avaruusteknisiin ratkaisuihin, avaruushankkeiden toteuttamisesta sekä avaruusteknologian kehittämisestä. Tätä erityisosaamista hyödynsivät myös muut toimijat, esimerkiksi ESA:n Merkurius-hanke **BepiColombon** (2018-) **SIXS-instrumentin** päävastuullinen Helsingin Yliopisto tilasi instrumentin kehitystyön projektinhallinnan ja ECSS-standardien (European Cooperation for Space Standardization) mukaisen laadunvalvonnan Ilmatieteen laitokselta. SIXS-osallistumisen myötä myös avaruushankkeiden projektinjohdosta ja laadunvalvonnasta syntyi Ilmatieteen laitoksen ”tuote”, jota ovat myöhemmissä hankkeissa hyödyntäneet myös pienemmät, kaupalliset avaruusalan suomalaiset toimijat.

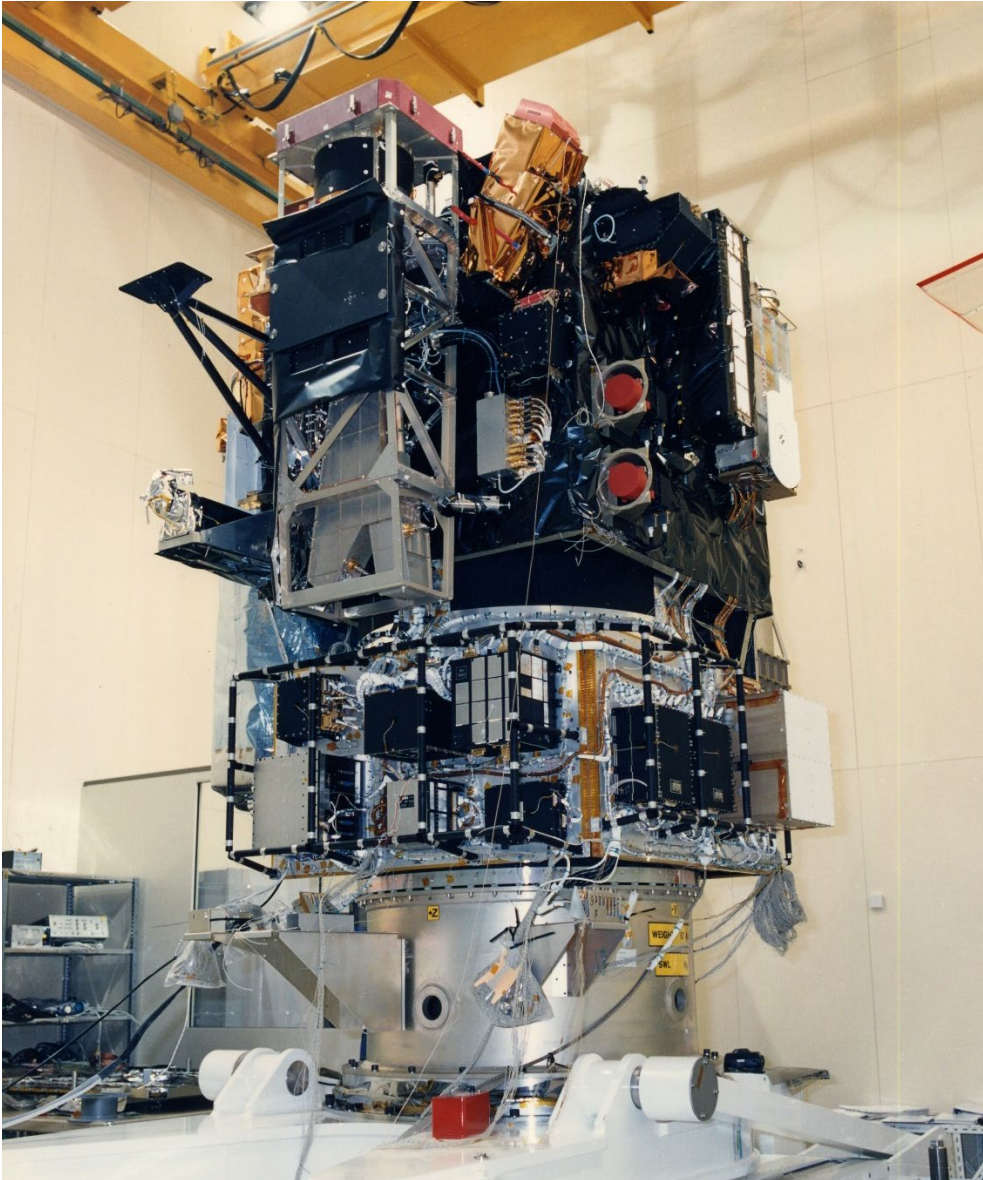
Koen itseni hyvin onnekkaaksi ja etuoikeutetuksi, kun olen saanut tehdä urani avaruustutkimuksen ja erityisesti tutkimushankkeiden valmistelun ja laiterakentamisen parissa. Työni puitteissa olen saanut tavata valtavasti samoista asioista kiinnostuneita ihmisiä ympäri maailmaa ja päässyt käymään paikoissa, joihin moni ei pääse, tekemään asioita, joita moni ei saa tehdä. Työlläni on minulle valtava merkitys ja olen iloinen ja ylpeä siitä, että olen saanut olla mukana edistämässä ihmiskunnan löytöretkiä aurinkokunnassamme.

Maria Genzer, Head of Planetary Research and Space Technology Group, Ilmatieteen laitos

Rami Vainio, Turun yliopisto - SOHOsta HENONiin: Auringon hiukkasmittauksia ESan luotaimilla vuodesta 1995

Euroopan avaruusjärjestö ESA on ollut olennainen osa tutkimustani alusta saakka. Kun liityin Turun yliopiston Avaruustutkimuslaboratorioon tutkimusavustajaksi vastavalmistuneena maisterina syyskuussa 1993, oli laboratoriossa menossa ERNE-laitteiston rakentamisen loppurutistus. **ERNE (Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment)** on SOHO-aurinkoluotaimen korkeaenergisistä hiukkasista mittaava instrumentti ja Suomen ensimmäinen Principal Investigator (PI) -statuksella ESan tiedeohjelmaan toimitettu laite. ERNE:n ensimmäinen päätutkija oli professori Jarmo Torsti, jonka eläkkeelle jäätyä vastuun hankkeesta otti professori Eino Valtonen.

SOHO laukaistiin avaruuteen joulukuussa 1995 ja sen tieteelliset mittaukset alkoivat komissioinnin jälkeen alkuvuodesta 1996. Luotain tuottaa edelleen dataa huolimatta siitä, että hankkeen vaiheista ei tapahtumia ja jännitystä puutu. Luotain onnistui jopa karkaamaan lomalle avaruuteen pariksi kuukaudeksi kesällä 1998, mutta se kuitenkin saatiin melkoisten ponnistusten seurauksena suostuteltua takaisin töihin. Näin mittauksia päästiin jatkamaan ja luotaimen tarina on jatkunut näihin päiviin saakka. Vuoden 2025 lopussa on kuitenkin ilmeisesti viimein tarkoitus päästää vanha sotaratsu lepoon.



Kuva 16. SOHO-avaruusluotain sen kokoonpanon aikana.

Ensimmäiset omat tehtäväni ERNE-laitteiston valmistelussa lentoa varten liittyivät sen ohjelmiston koodaustyössä avustamiseen ja mahdollisten ohjelmointivirheiden metsästykseseen. Neljässä kuukaudessa onnistuin löytämään assemblerilla kirjoitetusta ohjelmasta yhden virheen (väärä osoitusmuoto). Koska ohjelmointikieleksi oli tehokkuussyistä valittu matalan tason assembler, noihin aikoihin virheenmetsästyksessä oli kyse vielä pitkälle käsityöstä — kunnon kehitysympäristöt debuggereineen saimme käyttöön vasta jonkin verran myöhemmin. Pelkästään tutkimusavustajan huonoudesta ei kuitenkaan havaittujen virheiden vähyydessä ollut kyse, vaan itse ohjelmistokin oli erittäin fiksusti ja huolella kirjoitettua koodia. Työstä oli Turussa vastannut Esa Riihonen, joka toimii ERNE:n PI-tiimissä sen operointivastaavana edelleen.

Oma tieni kulki laiteläheisestä tutkimustyöstä varsin nopeasti kuitenkin enemmän teoriaan ja havaintojen tulkintaan muutamiksi vuosiksi. ERNE:n pariin palasin lähemmin pari vuosikymmentä myöhemmin vuonna 2018, kun otin lopulta itse vastuun laitteesta sen päätutkijana Eino Valtosen jäätyä eläkkeelle. Teemme edelleen työtä instrumentin parissa: paitsi havaintojen tulkintaa ja

mittausten uudelleen kalibrointia myös uusien datatuotteiden lanseeraamista vähälle huomiolle jääneitä mittauksia hyödyntäen. Kun töpseli viimein vedetään seinästä, meillä on lähes 30 vuotta mittauksia Auringon korkeaenergiaisten hiukkasten purkauksista yhdellä ja samalla instrumenteilla — lähes ainutlaatuinen aikasarja siis.

Paluuni laitteiden pariin oli kuitenkin tapahtunut jo aiemmin. Siirryin Turusta Helsingin yliopiston fysiikan laitokselle Hannu Koskisen tutkimusryhmään vuonna 2002 ja 2000-luvun puolen välin tienoilla minut värvättiin mukaan ESan Merkurius-luotaimen valmisteltavaan laitteistoon, jonka päättäjänä toimi Juhani Huovelin tähtitieteen laitokselta. Luotain oli tietysti **BepiColombo**, nimetty Giuseppe Colombon mukaan. Sain tehtäväkseni luonnostella **Solar Intensity X-ray Spectrometer (SIXS)** -laitteistoon lisäsensorin, jolla voitaisiin havaita korkeaenergiaisia hiukkasia. Hankkeessa oli nimittäin alun perin kaksi röntgenspektrometria, MIXS (Mercury Imaging X-ray Spectrometer) ja SIXS, joiden avulla olisi tarkoitus tutkia Auringon röntgensäteilyä (SIXS) ja sen tuottamaa planeetan pinnan fluoresenssia (MIXS), josta voitaisiin tehdä päätelmiä pinnan alkuainekoostumuksesta. Tiimissä oli kuitenkin noihin aikoihin todettu, että korkeaenergiaisten hiukkasten aiheuttama fluoresenssi saattaisi olla röntgenfluoresenssin rinnalla hyvinkin tärkeä ottaa huomioon, joten SIXSiin päätettiin ahtaa mukaan hiukkasia mittaava sensoriyksikkö. Hiukkaset lisättiin SIXSin nimeenkin, mutta pienellä kirjoitettuna, hienoa lyhennettä kun ei haluttu muuttaa. Näin siis **Solar Intensity X-ray and particle Spectrometer** on SIXS-instrumentin nykyinen koko nimi.

Vaikka SOHO on ollut mukana monen monissa kiemuroissa, ei BepiColombo ole juuri pekkaa pahempi. Hanke oli vaarassa tulla lopetetuksi jo maassa tuntuvien kustannusylitysten takia, mutta saatiin kuitenkin valmiiksi ja laukaistua vuonna 2018, vaikkakin vuosia myöhässä. Matka Merkuriukseen tulisi olemaan pitkä, melkein 7 vuotta, eikä sen aikana alun perin ollut tarkoitus tehdä lainkaan tieteellisiä mittauksia. Onneksi ESA muutti tämän suhteen kuitenkin mielensä, ja olemme saaneet hiukkasinstrumentillamme hienoja mittauksia aurinkokunnan sisäosista jo lähes kuuden vuoden ajalta. Vaikka luotaimen kuljetusmoduulin tehontuotto-ongelmat ovat pidentäneet sähköisellä propulsiolla tehtävää matkaa alkuperäisestäkin noin vuodella, ei se meitä SIXS-tutkijoita oikeastaan se juurikaan harmita: mittauksia kun saadaan SIXSillä matkaltakin. Siirryttyäni professoriksi takaisin Turkuun vuonna 2014, olen viimeiset vuodet toiminut SIXSin co-PI:nä vastuullani sen hiukkasmittauslaitteisto ja varsinaiset päättäjän hommat on hankkeessa ottanut professori Emilia Kilpua, Juhaniin jäätyä eläkkeelle.

Hiukkasten havaintolaitteita on sittemmin tehty myös kansallisiin missioihin, kuten **Aalto-1:een** (Radiation Monitor) ja vain hetken toimineeseen **Foresail-1:een** (Particle Telescope). ESA-hankkeissa hankittu instrumenttikokemus onkin ollut arvokasta, kun on tehty kansallisia satelliittihankkeita. Ja aivan viime aikoina tämä osaamisen hyödyntäminen on kääntynyt päinvastaiseen suuntaan, kun olemme päässeet hyödyntämään kansalliseen Foresail-2-satelliittiin alun perin suunniteltua **REPE-instrumenttia (Relativistic Electron and Proton Experiment)** ESan avaruussäätä tutkimaan ja monitoroimaan vuonna 2027 laukaistavassa piensatelliitti **HENON**issa. Ympyrä siis siinä mielessä sulkeutuu.

Voi sanoa, että 1990- ja 2000-luku olivat ESan viitekehyksessä monella tapaa suomalaisen instrumenttirakentamisen kulta-aikaa. Resurssit olivat kotimaassakin kunnossa. 2010-luvulle

tultaessa alkoivat kuitenkin paljon laihemmat vuodet. Ensin meni lihoiksi Solar Orbiteriin valmisteilla ollut Low Energy Telescope -laite, jonka kehitystyö päättyi kotimaisen rahoituksen katkettua vuonna 2011. Tuon jälkeen ei varsinaisia uusia PI-tason osallistumisia ESAn tiedeohjelman hyötykuormiin ole suomalaisryhmillä ollut. Kansallisella tasolla katseet on käännetty New Space -ajattelun suuntaan, ja se ei toistaiseksi ole ESA:n tiedeohjelmassa kovin hyvin läpi lyönyt. Tiedeohjelmassa on paljolti kyse siitä, että epäonnistua ei saa. Niinpä myös suunnittelu ja rakentaminen noudattaa hyvin konservatiivisia linjoja. Tämä tuli minulle tutuksi varsin konkreettisesti, kun toimin ESAn tiedeohjelman SPC-komitean delegaattina vuodet 2016–2022.

Hieman liikettä kohti nopeammin ja edullisemmin tehtäviä elementtejä on ehkäpä kuitenkin nähtävissä valmisteilla olevissa luotainhankkeissa. New Space-satsaukset ovat kuitenkin luoneet tilanteen, jossa avaruus on viimein Suomessakin vakavasti otettavaa liiketoimintaa. Teollisten partneriemme näin vahvistuessa tämän voi keskipitkällä aikavälillä ennustaa parantavan meidän tutkijoidenkin mahdollisuuksia kokeelliseen avaruustieteeseen jopa ESAn hienossa tiedeohjelmassa. Ja muissa ohjelmissa ja hankkeissa sitäkin varmemmin.

Rami Vainio, professori, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Turun yliopisto

Taisto Tuominen, RUAG Space Finland Oy:stä - Eräs polku ESA:n satelliittihankkeisiin

Henkilökohtaisia muistoja ajalta, kun ESA-jäsenyyteen valmistauduttiin

Jäin eläkkeelle tamperelaisesta RUAG Space Finland Oy yrityksestä 1.3.2022. Takana oli yli 37 vuoden työura samassa työpaikassa, vaikka yrityksen omistussuhteet ja nimi ovat muuttuneet näinä vuosina monta kertaa. Ja nytkin, tätä kirjoitettaessa, entinen työpaikkani toimii jo eri nimellä, nyt **Beyond Gravity Finland Oy**. Työurastani yli 20 vuotta liittyi avaruustekniikkaan ja erilaisiin laiteprojekteihin, joissa toimin ensin projektipäällikkönä ja viimeiset 10 vuotta laatupäällikkönä. Työurani alku ajoittuu juuri Suomen ESA-jäsenyyttä edeltäneisiin vuosiin, jolloin tapahtui paljon asioita, jotka tulisivat vaikuttamaan myös tulevien vuoksikymmenien työtehtäviini.

Työsuhteeni alkoi 1.1.1986 ja ensimmäiset vuodet menivät kaikeluotaintekniikan parissa. **Hollming Oy Elektronikka** toimitti laitteita Rauma Repolan valmistamiin syvän meren sukellusaluksiin ja Hollming:in oman telakan toimittamiin tutkimusaluksiin. Näissä hankkeissa toimin ensin elektroniikkasuunnittelijana ja sitten projektipäällikkönä. Asiakas näissä oli Neuvostoliiton tiedeakatemia, mutta jatkoa näille hankkeille ei enää näyttänyt olevan. Tämä sai silloisen myyntipäällikön Hannu Salmen ottamaan yhteyttä Ilmatieteen laitoksen tutkimusprofessoriin Risto Pelliseen, joka on kertonut nämä vuoden 1986 tapahtumat tarkasti mm. kirjassa ”Suuntana Mars”. Näin Hollming Oy ja Ilmatieteenlaitos päätyivät yhteistyöhön, josta alkoi edelleen jatkuva avaruustoiminta Tampereella.

Ensimmäinen yhteinen hanke oli Neuvostoliittolaisen **Phobos-luotaimen** LIMA-D laitteen testilaitte, ja kuriositeettina mainittakoon, että sen parissa teki diplomityönsä nykyinen työ- ja elinkeinoministeriön alivaltiosihteeri Petri Peltonen. Ilmatieteen laitoksen yhteyksien kautta yhteistyö jatkui ensin Neuvostoliiton Interball/ Promics-3 ja sitten Ruotsin Freja-hankkeissa, joihin toimitimme pieniä tehölähteitä. Näihin en kuitenkaan itse vielä osallistunut.

Ilmatieteen laitos oli myös vahvasti mukana ryhmässä, joka valmisteli esitystä **GOMOS**-nimisestä otsonimittalaitteesta ESA:n kaukokartoitusohjelmaan. ESA:n käytännön mukaan laite-ehdotuksia valmisteltiin Phase A hankkeissa, jotka kilpailivat keskenään pääsystä ESA:n missioon. Tätä vaihetta GOMOS:in osalta johti vuosina 1989–1990 Matra Marconi Space ja Hollming Oy oli mukana jo tässä vaiheessa Ilmatieteen laitoksen tiimissä. Tämä oli myös ensimmäinen kosketukseni avaruustekniikkaan ja itselläni oli tehtävänä valmistella tiedonkäsittelylaitteen arkkitehtuuria. Kollegani Kai Hämäläinen suunnitteli instrumentin pääprosessoria. Näin jälkeensä voi myöntää, että panoksemme jäi vielä tässä vaiheessa melko vaatimattomaksi, koska aihe oli meille täysin uusi ja elettiin aikaa ennen Internetiä, joten tiedon hankinta oli erittäin vaikeaa.

Kesällä 1990 palatessani kesälomalta työpöydälläni oli pari paksua mappia, joissa oli tarjouspyyntö Dornier GmbH:lta ja sisältönä kaksi tehojärjestelmän osaa ESA:n **Cluster-satelliitteihin**; **IPD (Internal Power Dumper)** ja **EPD (External Power Dumper)**. Näistä molemmista tehtiin tarjous, mutta lopulta vain IPD toteutui. Kyseessä oli pieni metalliosa, johon kiinnitettiin tehovastuksia ja muutama muu komponentti ja niillä lämmitettiin satelliitin runkorakennetta. Se oli jo valmiiksi suunniteltu ja

tarjouspyynnön mukana olivat italialaisen FIAR S.p.A yrityksen piirustukset ja osaluettelo. Meille jäi siis vain materiaalien hankinta ja valmistus. IPD-laitteista oli 16 kpl jokaisessa neljästä satelliitista, ja lisäksi tehtiin muutama varalaite, joten toimitus sisälsi noin 70 kpl. Tämä oli ensimmäinen ESA:n satelliittiprojektiin toimittamamme laite ja yksinkertaisuudessaan hyvä harjoitustyö, koska siinä piti kuitenkin huomioida monet valmistusprosessiasiat, komponenttivalinnat, jne. Ariane 5 ensilaukaisun epäonnistumisen vuoksi ensimmäiset Cluster-satelliitit tuhoutuivat ja teimme IPD:t vielä toisen kerran Cluster II-satelliitteihin. Oma osuuteni tässä oli vielä melko pieni ja liittyi elektroniikan komponenttien valintaan ja materiaalihankintoihin.

Hollming Oy Elektroniikka teki vuonna 1990 tarjouksen eräästä avaruuslaitteiden kehitykseen liittyvästä tutkimusprojektista ESA:lle, mutta kokemuksemme ei vielä silloin riittänyt tarjouskilpailun kärkisijoille. Suomi oli liittynyt ESA:n liitännäisjäseneksi vuoden 1987 alusta ja ESA pyrki saamaan suomalaista teollisuutta mukaan toimintaan. Niinpä ESA tarjosi meille suoraneuvotteluna mainittuun tutkimustyöhön läheisesti liittyvää toista hanketta. Sen aiheena olivat maatuokilaitteet, eli testilaitteet, joita käytetään avaruuslaitteiden testauksessa satelliitin kokoonpanon ja testauksen eri vaiheissa. Niitä oli tarkoitus automatisoida ja standardoida testauksen tehostamiseksi ja uudelleenkäytön helpottamiseksi. Tämä työ tehtiin vuonna 1991. Tästä seurasi yhteistyö Dornierin kanssa ensin **Envisat-1** satelliitin testilaitteiden määrittelytyössä, joka sitten auttoi ensimmäisen merkittävän maatuokilaitetilauksen saamisessa GOMOS-instrumentille ja myöhemmin MSG-sääsatelliittien Seviri-instrumentille. Tämä liiketoiminta ei jatkunut sen pidemmälle, mutta opetti meille paljon testauksesta ja testilaitteiden suunnittelusta, joita omaan käyttöön kuitenkin tarvittiin.



Kuva 17. ENVISAT-1 (ESA) – ESan suurin satelliitti.

Samaan aikaan oli myös kotimainen avaruustoiminta alkanut viritä ja ESA:n SOHO-satelliittiin rakennettiin ERNE- ja SWAN-nimiset tiedelaitteet. Hollming Oy toimitti kumpaankin laitteeseen elektroniikkaa, ja olin näissä molemmissa projektipäällikön tehtävässä. Rinnalla käynnistyi myös Neuvostoliiton MARS 94-hanke ja siinäkin olin prosessoriosuuden projektipäällikkönä, mutta yritys oli jo vaihtanut nimeä ja toimimme nyt **Finyards Oy Elektroniikan** nimellä. Näiden hankkeiden aikana opimme paljon uutta avaruuslaitteiden suunnittelusta ja rakensimme ensimmäisen ESA-vaatimukset täyttävän puhdastilan. Toiminta siirtyi Hermiasta samoihin tiloihin muun elektroniikkaosaston kanssa.

Varsinainen ”diplomityömme” ESA:n hankkeisiin meille oli kuitenkin GOMOS. Sen suunnittelu jatkui vaiheessa Phase B:n ja sen jatkovaiheen alla. GOMOS tuli valituksi Envisat-1 satelliittiin ja sen status oli noussut ESA-rahoitteiseksi. Arkkitehtuuri oli kehittynyt niin, että tavoittelemamme laite oli nyt huomattavasti suurempi ja haastavampi. Siinä oli yhdistetty tiededatan vastaanotto CCD-kennoilta ja sen jatkokäsittely sekä CCD-kennojen ohjaus ja olipa mukaan tullut vielä Star-Tracker-kamera. Laitteessa oli myös teholähde sen omaan tarpeeseen, ja sen nimi oli nyt SDE (Science Data Electronics).

Matra oli alkuun erittäin epäluuloinen meidän kyvyistämme suoriutua tehtävästä. Ei riittänyt, että osaisimme teknisesti suunnitella laitteen, vaan piti myös tehdä suuri määrä laatu- ja luotettavuusaiheisia analyysejä, sekä lämpö- ja mekaniikka-analyysejä. Näistä meillä ei kyllä ollutkaan juuri mitään kokemusta ja huoli oli aiheellinen. Sen lisäksi puhdastilanamme oli vielä tässä vaiheessa vielä vain pieni laminaarivirtauskaappi, jonka äärellä pystyi juuri ja juuri kaksi henkilöä työskentelemään samaan aikaan. Puhtausvaatimukset täyttävä testastila puuttui kokonaan. Muistan vieläkin Matran edustajien epäuskoiset ilmeet ja pään pyöritykset, kun he kävivät tutumassa tiloihimme Hermian tiloissa, joissa avaruustoiminta alkoi. Saimme pitkän listan parannusesityksiä, joita ryhdyimme suunnittelemaan ja toteuttamaan.

Matra kutsui meidät tutustumaan omaan tekemiseensä sekä Toulousessa, että Pariisiin lähellä Velizy:ssä. Siellä meille esiteltiin iso kasa mappeja, joissa oli vaadittava dokumentaatio eräaseen toiseen laitteeseen ja kyseltiin, että pystyttekö todella tekemään tämän kaiken. No siinä oli vähän pelottelua mukana, mutta myös todellinen haaste meille.

Laadimme TEKES:ille hakemuksen avaruustoimintojen kehityksestä ja saimme onneksi tukea työlle, jossa suunniteltiin uusi puhdastila ja hankittiin sinne välineistöä, josta myös oli nähty esimerkkejä Toulousen matkalla.

Koska hankkeen toteutusvaiheen alku näytti viivästyvän, ja Matra epäili edelleen osaamistamme erityisesti analogisen CCD-signaalin vastaanottimen toteutuksessa, teimme osittain TEKES:in tuella välivaiheen, jossa suunniteltiin ja valmistettiin prototyyppi, joka käsitteli CCD-sensoreilta tulevaa signaalia ja jonka suunnittelu olisi myöhemmin käytettävissä lähes sellaisenaan. Se onnistui hyvin ja Matrakin testasi laitetta ja se paransi selvästi luottamusta osaamiseemme. Samalla syntyi henkilökohtainen kontakti asiakkaan vastuuhenkilöihin.

Varsinaisten sopimusneuvotteluiden kynnyksikysymykseksi muodostui kuitenkin teknologiansiirto, jota Matra vaati meitä ostamaan itseltään. Asiassa oli kaksi puolta; ensinnäkin oikea osaamisen siirto ja yrityksen toimintajärjestelmän kehittäminen ESA:n vaatimuksia vastaaviksi. Lisäksi Matra lähettäisi kaksi asiantuntijaansa valvomaan tekemisiämme. Jos näyttäisi siltä, että emme haasteesta selviydy, Matra voisi siirtää työn itselleen. Tällä kaikella oli tietysti hinta, ja se ei ollut pieni. Se olisi vienyt

hankkeen tuloksen negatiiviseksi, jos se olisi sisältynyt sellaisenaan kauppaan. Pitkien neuvotteluiden jälkeen päädyttiin siihen, että haettiin TEKES:iltä tukea kehityshankkeelle, jossa loimme yritykseen toimintamallit ja koulutimme henkilöstöä niin, että seuraavien ESA-projektien läpivienti voisi onnistua. Olihan jo tässä vaiheessa tiedossa, että Suomi on menossa kohti ESA:n täysjäsenyyttä, ja tulossa oli XMM-hanke, jossa tulisi olemaan merkittävä osuus suomalaiselle teollisuudelle maapalautteen muodossa.

Matran teknologiasiirtopaketin puitteissa kehitimme toimintamallit suunnittelun ja laadunvarmistuksen läpivientiin, suunnittelimme ja toteutimme vaatimukset täyttävän puhdastilan, koulutimme henkilöstöä ja evaluoimme elektroniikan valmistusprosessin. Koulutus sisälsi mm. mekaniikka- ja lämpösuunnittelijoiden kahden viikon koulutuksen Matralla, sekä elektroniikkasuunnittelijoiden koulutusta Southamptonin yliopiston kursseilla. Lisäksi asentaja kävi koulutuksessa Highbury College of Technology:n kursseilla Englannissa. Itse valmistelin 3-päiviäisen koulutuspaketin, jossa erityisesti uutena taloon rekrytoidut työntekijät perehdytettiin avaruustekniikan perusteisiin. Tätä kurssia toistin vielä monta kertaa myöhemminkin ja kävin osittain sen pohjalta luennoimassa avaruustekniikan peruskurssia Tampereen Teknillisessä korkeakoulussa ainakin neljän lukukauden aikana.

Kaikki yllä kerrottu oli valtava urakka, koska kaikki oli uutta ja oppia tuli paljon myös virheiden kautta. Itse siirryin GOMOS-hankeesta ennen varsinaisen lentomallin valmistusta alkuvaiheessa olleen **XMM MTCU-projektin** vetäjäksi. Siinä monet asiat olivat jo paljon helpompia, kun oli pohjatyö tehty.

Miksi sitten telakkayhtiö päätti lähteä avaruustekniikkaan? Keskustelin asiasta tätä kirjoitusta varten tuon aikaisen elektroniikkaosaston johtajan Osmo Laaksosen kanssa, ja hänellä oli ollut kaksi motiivia:

- löytää uusia tukijalkoja osaston toiminnalle, joka oli perustunut Neuvostoliiton tilauksiin. Samaan aikaan alkoi yhteistyö puolustusvoimien kanssa vedenlaistekniikassa
- kehittää laadunvarmistusosaamista, jonka puuttuminen tai heikko taso oli tullut esille ulkomaisten asiakkaiden kanssa keskusteltaessa.

Molemmat asiat ovat suurelta osin toteutuneet. Avaruustoiminta on jatkunut yhtäjaksoisesti nyt pian 40 vuotta, ja eurooppalaiset satelliittivalmistajat ovat hyväksyneet tamperelaiset laitetoimittajakseen. Mutta nyt toiminta on taas suuren murroksen edessä, kun ns. New Space malli laajenee ja toimintaan on tullut paljon uusia täysin kaupalliselta pohjalta toimivia yrityksiä. Raskaaksi koettu ESA:n malli tuskin heti poistuu, mutta se enää ole ainoa mahdollisuus.

Itseäni on motivoinut erityisesti se, että työn tuloksena syntyy jotain suurempaa, kun tiedeyhteisö saa käyttöönsä uusia ja entistä parempia työkaluja sekä avaruuden ihmeiden että oman planeettamme tilan selvittämiseen. Myös työ monikansallisissa projekteissa on ollut antoisaa ja antanut mahdollisuuden tutustua ihmisiin eri puolilla Eurooppaa.

Beyond Gravity Finland Oy:n edeltäjäyritykset

Hollming Oy on raumalainen yhtiö, jolla on pitkä historia laivanrakennuksessa. Vuosina 1980-1989 Hollming Oy rakensi tutkimusaluksia Neuvostoliiton tiedeakatemialle ja toimitti myös laitteita Rauma-Repola Oceanics:in valmistamiin syvän meren sukellusaluksiin. Yhtiön elektroniikkaosasto laajeni

Raumalta Tampereelle vuonna 1984, kun yritys sai edellä mainitut suuret tilaukset. Avaruustoiminta alkoi Hollming Oy Elektroniikan nimellä vuonna 1986.

Rauma Repolan ja Hollmingin telakat yhdistyivät vuoden 1992 alussa ja sen jälkeen avaruustoimintatoiminta jatkui Finnyards Oy Elektroniikan nimellä.

Finnyards Oy myi elektroniikkaliiketoiminnan Patria Finavitec:ille vuonna 1997 ja toiminta jatkui Patria-konsernissa usealla Patria-alkuisella nimellä.

Patria myi avaruusliiketoiminnan sveitsiläiselle Ruag:ille vuonna 2015. Ruag Space Finland vaihtoi nimeä yrityksen uudelleenorganisoinnin yhteydessä vuonna 2022 ja toimii nyt nimellä Beyond Gravity Finland Oy.

Taisto Tuominen, Project Manager, Product Assurance Manager, Systems Engineer, Hollming, Finnyards, Patria, RUAG Space

Juhani Huovelin, Isaware Oy - Minun tarinani Suomen ESA-jäsenyyden 30-vuotistaipaleella

Taustaa

Minun tieni kohti avaruustutkijan uraa alkoi vuonna 1978, jolloin heti asevelvollisuuden suoritettuani aloitin tähtitieteen pääaineopiskelijana Helsingin yliopistossa, minkä lisäksi opiskelin teoreettista fysiikkaa sekä matematiikkaa. Myös fysiikan cum laude oppimäärään kuuluneet kurssit tuli suoritettua, mutten laiskuuttani viitsinyt tehdä kaikkia 30 laboratorioharjoitusta, jotka olivat kurssien lisäksi oppimäärän hyväksynnän edellytyksenä. En toisaalta tarvinnutkaan tutkintoon enempää kuin kolmen eri aineen oppikokonaisuuksien suorituksia. Aloitin jo maisterin tutkinnon viimeistelyvaiheessa jatko-opinnot, ja pääsin Ilkka Tuomisen ryhmään tutkimusassistentiksi vuonna 1984. Vietin aikaa tähtitieteen jatko-opiskelijana Helsingin yliopistossa, erikoistumisalanani astrofysiikka, ja tarkemmin auringontyyppisten tähtien magneettiseen aktiivisuuteen liittyvät ilmiöt, ja tein teoreettisen tutkimuksen lisäksi paljon havaintotyötä. Havaintoja tuli tehtyä muun muassa Krimin Astrofysikaalisessa Observatoriossa Neuvostoliitossa, Pic du Midi -observatoriossa Pyreneiden vuoristossa Ranskassa, Kitt Peak-Observatoriossa Arizonassa, sekä Euroopan Eteläisen Observatorion (ESO) La Sillan Observatoriossa Chilessä.

Väittelin tohtoriksi vuonna 1990, ja samana vuonna pääsin post-doc tutkijaksi Osmi Vilhun tutkimusryhmään Helsingin yliopiston tähtitieteen laitoksessa ja aloitin tutustumisen avaruuslaitteiden rakentamiseen ja projekteihin Venäjän (aluksi Neuvostoliiton) johtamassa kansainvälisessä **Spectrum-X-Gamma** satelliittiprojektissa.

Mukana siinä hankkeessa oli monia kansainvälisiä organisaatioita, ja instrumentteja mm. Saksasta, USA:sta, Tanskasta ja Iso-Britanniasta, sekä Suomesta. Suomalaisen laitteen nimi oli **Silicon X-ray Array (SIXA)**, ja nimensä mukaisesti se oli piipohjaiseen (Si(Li)) detektorimatriisiin perustuva röntgenalueen kamera, joka kykeni kuvan lisäksi mittaamaan havaintokohteiden röntgenspektrin. Sen suunnittelu ja rakentaminen aloitettiin vuoden 1990 tienoilla. SIXA suunniteltiin instrumentiksi tanskalaiseen SODART-röntgenteleskooppiin. Laitteen tekninen suunnittelu ja valmistus olivat **Outokumpu Electronics** -yhtiön tehtävänä, josta hankkeen projektipäälliköksi tuli Veikko Kämäräinen. En muista tarkkoja vuosilukuja, mutta nimi vaihtui, ja jossain vaiheessa siitä tuli Outokumpu Instruments, ja myöhemmin **Metorex International**. Vuonna 2004 brittiläinen Oxford Instruments osti sen, ja firman nimi on nykyisin **Oxford Instruments Technologies**. SIXA-instrumentin teknisenä taustaosaajana oli Heikki Sipilä, joka ideoi sitä tutkimusryhmäni johtajan Osmi Vilhun kanssa. Minun yhteistyöni edellä mainitun yrityksen kanssa on jatkunut tähän mennessä jo lähes 35 vuoden ajan, ja jatkuu edelleen.

ESA-aika

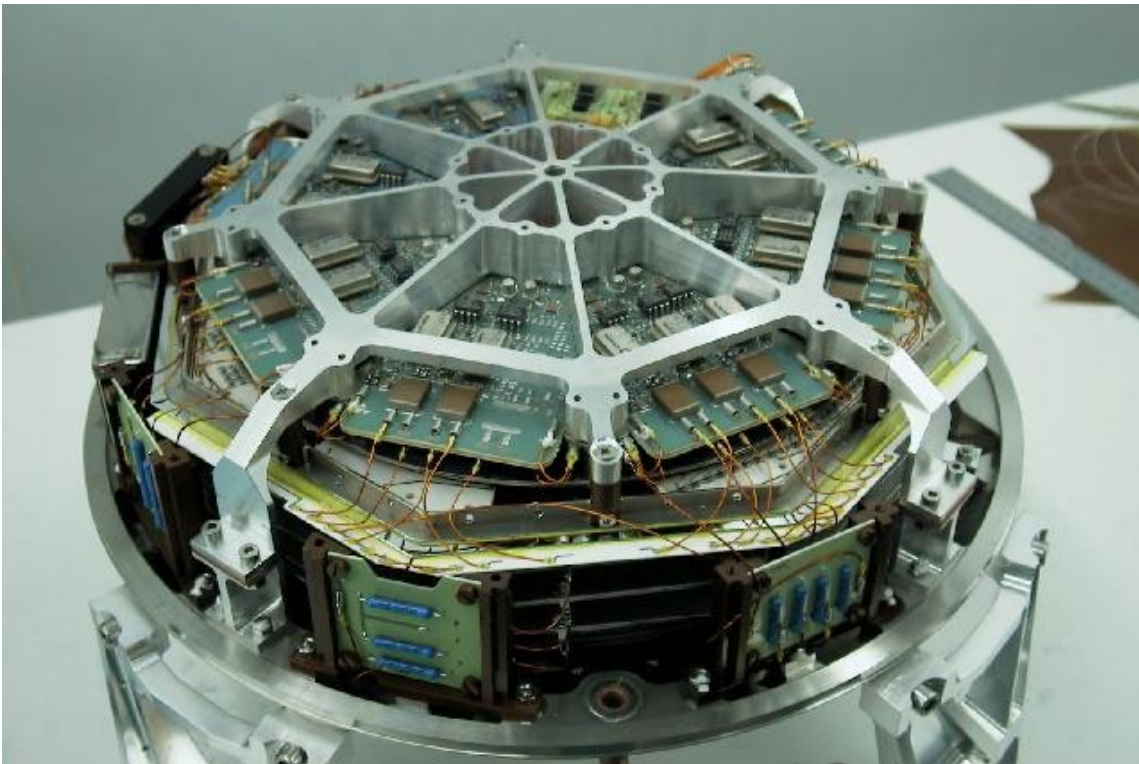
Vuodesta 1995 lähtien, jolloin Suomi liittyi Euroopan Avaruusjärjestön täysjäseneksi, lähes kaikki avaruushankkeet joissa olen ollut mukana, ovat jollain tavalla liittyneet Euroopan Avaruusjärjestön missioihin tai muihin aktiviteetteihin.

Ensimmäinen ESA-satelliittiprojekti: Integral

Olin mukana kahdessa osuudessa, tanskalaisen **JEM-X** instrumentin kehittämisessä Danish Space Research Instituten (DSRI) johtamana, sekä saman instrumentin tiededatan prosessoinnin suunnittelussa Integral Science Data Centren (ISDC, Versoix, Sveitsi) johtamassa projektissa. Suomessa Metorex valmisti instrumentin kaksi identtistä röntgenkamerayksikköä, ja johtamani Helsingin yliopiston tutkimusryhmä tähtitieteen laitoksessa osallistui ISDC:n ohjelmiston suunnitteluun ja toteutukseen. Nämä hankeosuudet toteutettiin pääosin Tekesin ja Suomen Akatemian rahoituksella. Olin vuodesta 1998 lähtien vetäjänä molemmissa hankkeissa Integral-satelliitin laukaisuun saakka.

Tämän hankkeen käynnistymisestä on jäänyt mieleen matka JEM-X -projektin kick-off -kokoukseen vuonna 1995, johon osallistuin yhdessä Metorexin projektipäällikönä silloin toimineen Veikko Kämäräisen kanssa. Menomatka keskeytyi, kun myöhästyin jatkolennoilta Roomaan, ja saavuin sinne vasta kokouspäivän aamuna yövyttyäni lentoyhtiön kustannuksella Zürichissä. Paluumatkakaan ei sujunut suunnitellusti, vaan kone joutui tekemään välilaskun Lontoossa, koska Pariisissa lentokentän henkilökunta oli lakossa eikä sinne päässyt laskeutumaan aikataulun mukaisesti. Paluu Helsinkiin onnistui vasta seuraavana päivänä. Veikon hallitun raivostuneiden vaatimusten ansiosta onnistuimme saamaan pienet huoneet Charles De Gaullen lentokenttähotellista, eikä tarvinnut yöpyä lentokentän odotushallissa.

Integral satelliitti laukaistiin 17. lokakuuta 2002, ja sen operointi jatkuu vuoteen 2029 saakka. Myös JEM-X toimii edelleen, ja demonstroi suomalaisen avaruusteollisuuden kykyä kestävien avaruuslaitteiden rakentamisessa.



Kuva 18. INTEGRAL-satelliitin JEM-X-instrumentin prototyyppi avattuna. (ESA)

Auringon röntgensäteilyn mittaukset

Perustuen keskusteluihin Metorexin edustajien kanssa aiemmin mainittujen aktiviteettien yhteydessä esitin suomalaisen instrumentin käyttöä Euroopan ensimmäisen kuumission, **SMART-1** hyötykuormassa vuonna 1998. Idea perustui kahden instrumentin yhdistelmään, joiden tehtävänä oli mitata Kuun pinnan röntgenspektriä ns. pehmeän röntgensäteilyn alueella, 1-20 keV energioilla, ja saada mittauksista johdettua Kuun pinnan alkuaineiden suhteellisia määriä perustuen Auringosta tulevan röntgensäteilyn fluoresenssiin. Meidän osuutenamme oli mitata Auringon röntgenspektriä, ja brittiläisten kehittämän toisen instrumentin tehtävänä oli mitata samanaikaisesti Kuun pinnan röntgenspektri.

Mittausperiaate on samanlainen kuin Metorexin valmistamissa röntgenanalysointilaitteissa, joita käytettiin mm. kiviaineksen metallipitoisuuksien määrittämiseen malminetsinnässä. Näissä kenttämittareissa fluoresenssin herätesignaalinä ei ole auringonvalo vaan laitteen itsensä tuottama kalibroitu röntgensäteily, joka siis korvataan Kuun pinnan mittauksessa auringon emittoimalla ”herätesignaalinä”.

Perustuen edellä kuvattuun ideaan suunnittelimme ja rakensimme **X-ray Solar Monitor (XSM)** instrumentin SMART-1 missioon, sekä sen jälkeen ESA:n tilauksesta samanlaisen laitteen myös Intian Avaruusjärjestön (ISRO) **Chandrayaan-1** kuuluotaimeen. SMART-1 laukaistiin vuoden 2003 syksyllä, ja Chandrayaan-1 vuonna 2006.

Auringon röntgensäteilyn spektroskooppisia mittauksia 1–20 keV alueella ei tuolloin oltu juurikaan tehty, lukuun ottamatta hyvin karkealla energiaresoluutiolla, kahdella leveällä energiakanavalla tehtyjä amerikkalaisten GOES-satelliittien röntgenkuon mittareita, joita käytettiin auringon roihupurkausten voimakkuuden mittauksissa 1-8 Å ja 0.5-4 Å aallonpituuskaistoilla avaruussään monitorointiin liittyen. Energia-alue on mielenkiintoinen ilmakehättömien taivaankappaleiden kemiallisen komposition tutkimuksen sekä avaruussään lisäksi myös astrofysiikan tutkimuksessa, koska pehmeän röntgensäteilyn kaista sisältää hyvin paljon informaatiota kuumien, miljoonien asteiden lämpötilassa olevan plasman ominaisuuksista ja dynamiikasta, ja sitä on paljon suuressa osassa universumin kohteista lähimmistä tähdistä kaukaisimpiin galakseihin.

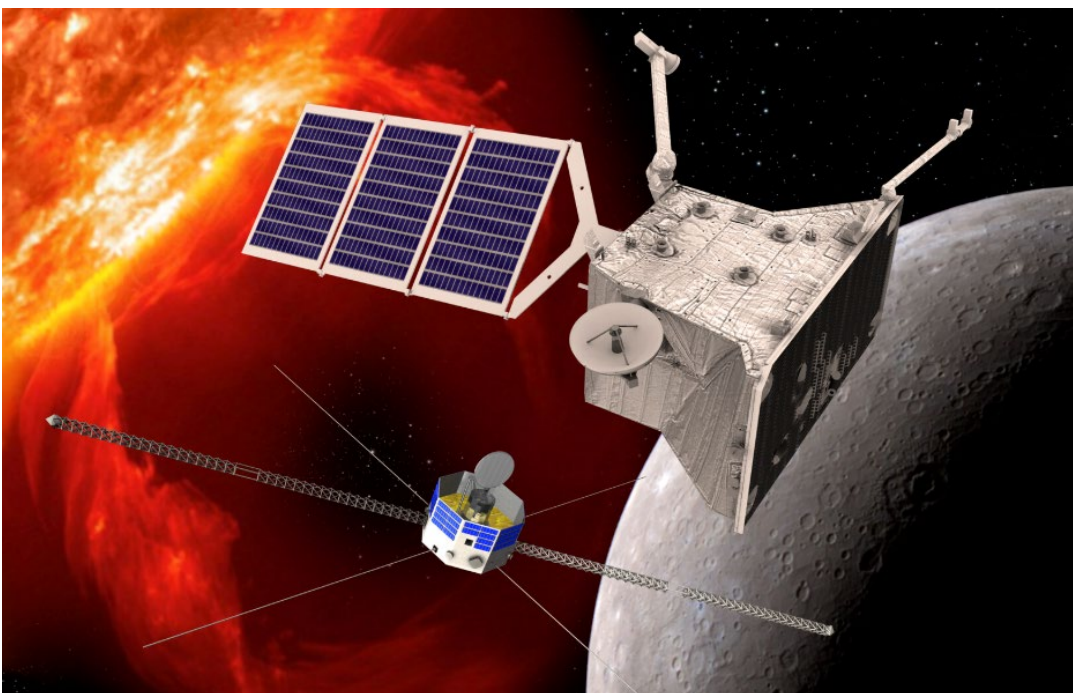
ANTARES avaruustutkimusohjelma

Olin mukana Helsingin yliopiston High Energy Space Astronomy (HESA) konsortiossa vuosina 2001–2004 toteutetussa kansallisessa **ANTARES avaruustutkimusohjelmassa**, ja toimin HESA-konsortion virallisen johtajan Osmi Vilhun apulaisena päävastuunani konsortion teknologiakehityshankkeiden vetäminen. Aktiviteeteissa oli useita osuuksia, joihin liittyi ESA-projekteja, mm. diffraktiivisten filttareiden tutkimusta Joensuun yliopiston ja Metorexin toimesta, ja SQUID-kehitystyötä yhdessä VTT:n ja Hollannin SRON-tutkimuskeskuksen kanssa. SQUID-kehitystä tehtiin muistaakseni rinnakkain sekä kansallisella (ANTARES) että ESA-rahoituksella (VTT ja SRON). SQUID-hommat liittyivät yhteen Jyväskylän yliopiston ja Metorexin yhdessä toteuttaman kryogeenisten detektorien tutkimusprojektin kanssa, jonka kohteena oli Transition Edge Sensor (TES)-teknologia, joita kumpaakin ollaan tällä hetkellä soveltamassa **ESA:n Athena**-missioon. Tarkennuksena mainittakoon, että vain Suomessa kehitetyt SQUID-komponentit ovat mukana Athenassa, kun taas TES-detektorit Athenaan tulevat USA:sta. Teimme myös Talliumbromidi (TlBr)-materiaalin tutkimusta Helsingin yliopiston tähtitieteen

ja kemian laitosten yhteisprojektissa, aiheena sen soveltuvuus kovan röntgensäteilyn detektorimateriaaliksi astrofysiikan tutkimuksessa, ja käytännön menetelmän kehittäminen puhtaan TlBr-materiaali tuottamiseksi eräänlaisella kiteenkasvatusmenetelmällä. Tutkimme myös CERN:in hiukkasilmaisimissa käytettyjen Gas Electron Multiplier-kalvojen soveltuvuutta signaalinvahvistimeksi paikkaherkissä röntgenalueen kaasuilmaisimissa (mm. JEM-X), jota teimme yhdessä Helsinki Institute of Physics (HIP)-tutkimuslaitoksen kanssa.

BepiColombo

Vuonna 2002 alettiin keskustella ESA:n **BepiColombo** Merkurius-kulmakiviohjelmaan osallistumisesta, ja siinä yksi suunnitelluista instrumenttikokonaisuuksista oli planeetta Merkuriuksen pinnan koostumusta mittaava instrumenttiryhmä SMART-1 mission tapaan. Muistan silloin Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa pidetyn kokouksen, johon tuli ESA:n edustajana Alan Owens. Mission **Announcement of Opportunity** tuli lopulta vasta kaksi vuotta myöhemmin, ja valmistelimme XSM-instrumenttiin pääosin perustuneen suomalaisen instrumentin proposaalia isolla porukalla, jossa minulle siunautui Principal Investigator-hattu. Helsingin yliopiston tarjouksessa olivat mukana Ilmatieteen laitos, Metorex, Patria Aviation (nyk. Beyond Gravity Finland), Space Systems Finland (nyk. Huld), ASRO sekä Talvioja Consulting. Suomen esitys hyväksyttiin, ja vastuullemme tuli lopulta useita päätason järjestelmiä myöhemmin nimensä saaneiden suomalaisen SIXS ja brittiläisen MIXS instrumentin järjestelmäkokonaisuudessa. Muistan miettineeni brittiläisinstrumentin Co-PI:ksi nimitetyn Karri Muinosen kanssa instrumenteille annettavia nimiä, ja päädyimme ehdottamaan brittiläisille kumppaneillemme Karrin ideaan perustuvaa nimiyhdistelmää, jolla on hauska suomenkieliseen analogiaan perustuva merkitys: MIXS (miksi) ja SIXS (siksi). Ehkä vähän tyhmältä kuulostava idea, mutta hauskuus veti voiton. Britit myös tykäsivät tähän ideaan, ja akronyymeille tuunattiin seuraavat selitykset: Mercury Imaging X-ray Spectrometer (MIXS) ja Solar Intensity X-ray and particle Spectrometer (SIXS).



Kuva 19. BepiColombo (ESA) – ESan ja Japanin JAXAn luotaimet Merkuriuksen radalla.

BepiColombo-missio laukaistiin matkalleen kohti Merkuriusta vuoden 2018 lokakuussa Kourousta, Ranskan Gyuanasta, jonne pääsin kutsuvieraana SIXS-instrumentin PI-roolissa ESA:n järjestämällä erikoislennolla. Matka oli jännittävä, mielenkiintoinen ja tähän mennessä ainoa laatuaan urallani.⁴

Kaupallinen toiminta

Perustin vuonna 2016 yhdessä muutaman kollegani kanssa **Isaware Oy**:n, jonka puitteissa olemme jatkaneet XSM- ja SIXS-instrumenttien teknologiaan perustuvien instrumenttien kehittämistä kaupalliseksi ratkaisuksi. Tuloksena on tähän mennessä ollut ESA GSTP-hankkeessa kehitetty X-ray Flux Monitor for CubeSats (XFM-CS), joka laukaistiin elokuussa 2021 matalalle kiertoradalle **Sunstorm 1**-satelliitin ainoana hyötykuormana, ja operoi menestyksellisesti kolme vuotta ennen satelliitin putoamista maan ilmakehään syyskuun alussa 2024. Mission tehtävänä oli demonstroida operatiivisen avaruussään monitoroinnin kyvykyys matalalla kiertoradalla lentävällä nanosatelliitilla, mikä onnistui jopa odotettua paremmin. ESA tilasi Isaware:lta myös järeämmän XFM-instrumentin, joka tulee lentämään Yhdysvaltojen **NOAA:n Space Weather follow-On (SWFO) Next**-ohjelman mission mukana maa-aurinkosysteemin L1-pisteeseen tuottamaan operatiivista avaruussäädata 2020-luvun loppupuolella. Myös muita tämän sovellusalueen hankkeita on jo toteutumassa tai näköpiirissä ESA:n kanssa. Lisäksi olen saanut kokemusta ESAn ARTES-ohjelmasta, jonka puitteissa kehitimme sovellusta lentokenttien mikrosääpalveluksi (Micro-Weather Service for Airports).

Mitä näistä olen oppinut? ESA on hyvin kiinnostunut uuden kehittämisestä, ja innokas lähtemään mukaan ehdotettuihin ideoihin. Ehdottajan vastuulla on kuitenkin kansallisen tuen hakeminen hankkeiden rahoittamiseksi. ESA-hankkeita ei pidä luulla kannattavaksi liiketoiminnaksi, mikä ei siis olekaan niiden tarkoitus, vaan hyödylliseksi todettujen teknologioiden eteenpäinvieminen ESA:n asiantuntijoiden tuella.

Juhani Huovelin, avaruustähtitieteen dosentti, Helsingin yliopisto, founder & member of the Board of Directors, ISAWARE Oy

⁴ [ESA Science & Technology - BepiColombo](#)

ESA-yhteistyö laajenee

Kohti kaupallista ja turvallisuusalan avaruustoimintaa

Koon kasvun lisäksi ESan toiminta-alue avaruudessa, sovellukset maan päällä ja sen yritystoimintaa tukevat toimet ovat muuttuneet voimakkaasti viimeisten 10 vuoden aikana. Avaruustieteestä alkanut tutkimus Auringon vaikutuksesta Maahan ja sen lähiavaruuteen laajeni avaruussään operatiiviseksi mittaukseksi. Ihmiskunta ei koskaan ennen ole näin riippuvainen sähköstä, tietoliikenteestä ja elektroniikasta, joiden toiminnan erittäin suuri auringonpurkaus voi lamauttaa. ESan uusi ohjelma saikin osuvan nimen: Avaruusturvallisuus, (S2P Space Safety Programme). Se seuraa myös avaruudessa liikkuvia kappaleita, etenkin avaruusromua, joka voi aiheuttaa suurta tuhoa satelliiteille. Kauemman uhan arviointia on maan läheltä lentävien asteroidien etsiminen. Uhkiin pyritään myös löytämään ratkaisuja.

Vastaavasti EU:n ja ESA:n yhdessä kehittämä Copernicus-järjestelmä ei pelkästään tutki satelliittien avulla ilmakehää, maaperää ja sen kasvustoa sekä meriä vaan valmistautuu katastrofien (tulvat, maanjäristykset) ennakointiin ja pelastustoimiin. Copernicus-järjestelmä on osin siirtänyt Ruotsin ja Suomen yhdessä tekemän merijääkartoituksen ja Itämeren öljypäästöjen valvonnan Euroopan Ympäristökeskukselle (EEA).

ESA pyrkii nykyisin voimakkaasti tukemaan uusia kaupallisia kaukokartoitussatelliittiyhtiöitä, mm. Commercialisation-direktoraattinsa kautta. Eri maihin, myös Suomeen, on perustettu yrityskiihdyttämöitä (ESA BIC, Otaniemessä, Vaasassa, Tampereella) ja Fii-laboratorioita. Aiemmin Suomeen on jo perustettu ESan millimetriaaltoalueen ja säteilytestauksen laboratoriot.

Useita teknologiankehitysohjelmiä

ESA on aina kehittänyt teknologioita avaruuslentojen tarpeisiin etenkin TRP, GSP ja GSTP-ohjelmien kautta. Viimeksi mainittu ohjelma aloitti Cubesat-satelliittien kehitystoiminnan ESAssa, melko myöhään. Sittemmin piensatelliitteja on tarjolla useissa ESA-ohjelmissa, etenkin pienempiä tai uudempia ESA-jäsenmaita tukemaan. Juuri nyt teknologiakeskus ESTEC Hollannissa on muuttumassa, joka voi muuttaa tätä toimintamallia.

Iso ryhmä suomalaisia ESA-hankkeisiin osallistuvia yrityksiä ei ESA-hankkeillaan tähtää avaruuslentoihin vaan kehittää niissä teknologioitaan maanpäällisiin sovelluksiin. Esim. ESan tietoliikennesatelliittiohjelmissa (ARTES) suomalaisten toimijoiden osallistuminen on valtaosin TK-hankkeissa.

Satelliittipaikannusjärjestelmä Galileo sai alkunsa ARTES-ohjelmana, sittemmin se laajeni ESan Navigaatio-direktoraatiksi, jonka puitteissa suomalaiset toimijat nyt toteuttavat NAVISP-ohjelmassa TK-hankkeitaan maanpäällisiksi sovelluksiksi.

Suomi kohti uusia seikkailuja - Miehitettyjen lentojen ohjelma

Suomi oli vuosikymmeniä itsepintaisesti päättänyt olla liittymättä ESan Miehitettyjen lentojen ohjelmaan. Se nähtiin kalliina ja sen tulokset tuntuivat olevan kaukana. Siitä huolimatta muutama suomalainen toimija toimittanut laitteita ko. ohjelman Mars-luotaimiin. Vihdoin ajatukset ohjelmasta muuttuivat ja nähtiin tarpeelliseksi liittyä Miehitettyjen lentojen ohjelmaan, joka onkin ESan suurin ja kunnianhimoisin ohjelma.

Talouspoliittinen ministerivaliokunta hyväksyi Työ- ja elinkeinoministeriön esityksestä marraskuussa 2022 Suomen liittymisen Miehitettyjen lentojen ohjelmaan. Perusteena olivat Suomen vahvempi integroituminen strategiseen eurooppalaiseen ja kansainväliseen (ml. USA) huippututkimukseen. Miehitettyjen avaruuslentojen ohjelmassa tehdään vahvasti kansainvälistä yhteistyötä mm. National Aeronautics and Space Administration (NASA) kanssa, mikä edistää huippuosaamisen siirtoa Euroopan ja Yhdysvaltojen välillä. Liittymällä E3P-ohjelmaan Suomi laajentaa osallistumistaan kansainvälisiin avaruusprojekteihin ja vahvistaa omaa osaamistaan avaruustutkimuksen alalla. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia tieteelle, teollisuudelle ja kansainväliselle yhteistyölle.

European Exploration Envelope Programme (E3P-ohjelma) kattaa miehitetyt avaruuslennot ISS-avaruusasemalle tähdäten myös lentoihin Kuuhun. ESA ja eurooppalainen teollisuus ovat toteuttaneet merkittävän osan NASA:n ARTEMIS-ohjelman Orion-avaruuskapselista ja osallistuu Kuun kiertoradalle tulevan Gateway-avaruusaseman toteutukseen. Aboa Space Research Oy (ASRO) on toimittanut Artemis I-lennolle dosimetrin. Lunar Gateway-hankkeissa dosimetri toimitetaan kahteen instrumenttipakettiin. Linkki [Lunar Gateway](#)

Ohjelmassa toteutetaan myös miehittämättömien luotainten, laskeutujien ja autonomisten ajoneuvojen avulla Kuun ja Marsin tutkimusta. Ohjelma tekee paljon teknologiakehitystä ja omaa osion, jossa teknologioita kaupallistetaan. Suomalaiset avaruustoimijat ja uuden teknologian kehittäjät vastaavat tarjoamallaan ohjelman kehityskohteiden vaatimuksia. Ohjelma on tehnyt teknologiatilauksia pienessä määrin Suomesta.

Taulukko 3. ESA muiden ohjelmien avaruusaluksen tiedehyötykuorman tai järjestelmiin Suomessa toteutettuja osuuksia

Laukaisuaikajankohta	Satelliitti tai luotain	Suomen osuus
Avaruusturvallisuus – avaruussää		
28. syyskuuta 2003	SMART-1	XSM röntgeninstrumentti
Avaruusturvallisuus – avaruusromun mittaus		
22. lokakuuta 2001	PROBA	DEBIE mittalaite, Beyond Gravity jne.
7. helmikuuta 2008	ISS-avaruusasema	(DEBIE) – avaruusromumittalaite – Beyond Gravity jne.
Satelliittipaikannus		
21. lokakuuta 2011 ja 12. lokakuuta 2012	Galileo IOV, (ESA, EU), yhteensä 4 satelliittia	elektroniikkayksikkö, Beyond Gravity
Satelliittitietoliikenne		
17. tammikuuta 2017	SmallGEO	harvinainen tietoliikennesatelliittiosallistuminen
Eksploraatio – Marsin tutkimus		
8. maaliskuuta 2016	ExoMars	Schiaparelli-laskeutujassa Ilmatieteen laitoksen mittalaiteosuus
Eksploraatio – astronauttilennot		
6. marraskuuta – 11. joulukuuta 2022	Artemis I- avaruuskapseli (NASA, ESA)	ASRON ja Saksan DLR:n kehittämät säteilyannosmittarit
Piensatelliitit		
16. elokuuta 2021	Sunstorm	Kuva Spacen Cubesat-satelliitti, Isawaren XSM-röntgeninstrumentti, aurinkomonitori
30. kesäkuuta 2021	W-band, ESA ARTES	Kuva Space toteutti Cubesat-satelliitin, VTT sen 37,5/75 GHz tietoliikenteen

Ariane 6 – ensilento vuonna 2024

ESAn edeltäjä ELDO perustettiin vuonna 1962 tekemään Länsi-Euroopalle oma kantoraketti ja täten antamaan itsenäisen kyvyn toimia avaruudessa. Englantilainen Europa-raketti lensi koelentoja Australiasta. 1970-luvulla Ranska kehitti Ariane 1-raketin, joka kehittyi sukupolvien kautta kaupalliseksi menestykseksi, Ariane 4-raketiksi. Se korvattiin 1990-luvulla isommalla Ariane 5-raketilla osin Euroopan avaruussukkulan tarpeisiin. Vuonna 1995 ESAn ministerikokous leikkasi ESAn rahoitusta ja keskeytti sukulan suunnittelun. Tuolloin uskottiin tietoliikennesatelliittien koon jatkavan kasvuaan tuhansien kilogrammojen painoisiksi ja luovan Ariane 5-raketille hyvän markkinan. Kun viimeinen Ariane 5 lensi vuonna 2023, suurin osa satelliiteista oli kilojen tai muutamien satojen kilojen painoisia.

Ariane 6 on uusimman sukupolven raskaan nostokapasiteetin kantoraketti, joka on suunniteltu vastaamaan kasvaviin kaupallisten ja tieteellisten satelliittilaukaisujen tarpeisiin. Se kuitenkin on täysin kertakäyttöinen, amerikkalaisen kilpailijan Falcon 9:n raketin avainosien lentäessä kymmeniä

kertoja. Ariane 6:n palautti parin vuoden tauon jälkeen vuonna 2024 Euroopalle itsenäisten pääsyn avaruuteen.

ESAn rakettiohjelma on kehittänyt Euroopalle myös pienemmän italialaisen Vega-raketin, jonka uusin versio Vega C laukaistiin avaruuteen joulukuussa 2024. Vega vei avaruuteen EU:n Copernicus ohjelman Sentinel 1C-satelliitin. Tämä laukaisu palautti uskon myös pienempien eurooppalaisten laukaisimien kaupalliseen mahdollisuuteen.

Suomi ei ole liittynyt ESAn raketteja kehittävään ohjelmaan. Arvellaan, että seuraavalla Euroopan Unionin budjettikaudella 2028-34 EU aloittaisi kantorakettien kehittämisen rahoitusohjelman. Euroopassa on kehitteillä puolisen tusinaa uutta pientä kantorakettia ja Euroopan mantereelle on muutamia syntymässä satelliittien laukaisukeskuksia, mm. Kiirunaan. Suomi ei katsonut rakettimarkkinan olevan niin iso, että rakettien valmistusketjuun kannattaisi liittyä. Kyky satelliittien laukaisuun omalta maaperältä, varmaankin Lapista, on kuitenkin noussut mielenkiinnon kohteeksi.

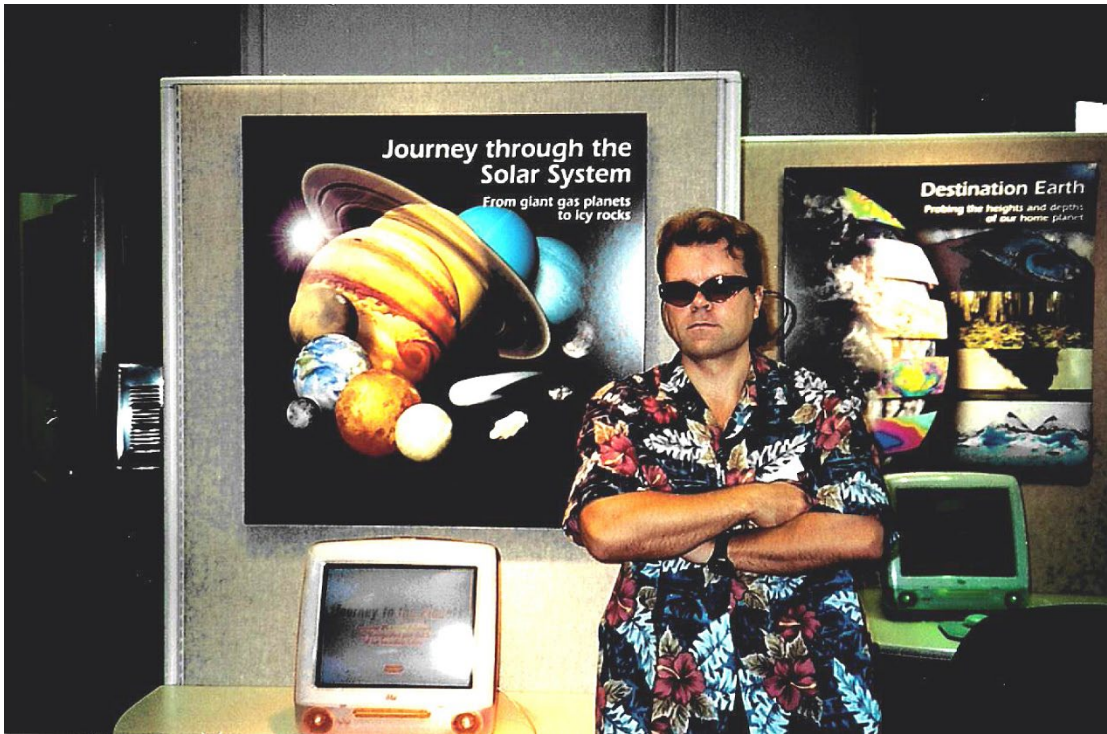
Ari-Matti Harri, Ilmatieteen laitos – Aurinkokunnasta Avaruustilannekeskukseen

Istuin joulukuun alkupuolella 1989 Roomassa Istituto Astronomicon kalsean pelkistetyssä kokoushuoneessa, jonne joku oli minut ystävällisesti ohjannut. Siellä järjestettiin ensimmäinen parin päivän suunnittelukokous **Huygens Atmospheric Structure Instrument (HASI)** -mittalaitteesta, jota professori Marcello Fulchignonin johdolla valmisteltiin Euroopan avaruusjärjestön Huygens-luotaimen kyytiin tutkimaan Titan-kuun kaasukehää.

Vierailuni aiheutti Ilmatieteen laitoksen vastaanottama faksi-sanoma Roomasta (siihen aikaan ei ollut sähköpostia), jossa professori Fulchignoni ilmoitti, että "we have money but no knowledge, can you help?". Tämän avunpyynnön taustalla oli Ilmatieteen laitoksen kauas kiirinyt maine planeettojen kaasukehien tutkimuksessa. Itse kyllä koimme, että osaava maineemme oli varsinkin NASA:n käytävillä hieman ylimitoitettua, mutta tämä **Huygens-luotain** oli meille selkeästi toteutettavissa oleva kiinnostava kohde. Ja siihen menimmekin mukaan hyvin tuloksin: HASI-instrumentin ja koko Huygens-luotaimen tulokset olivat tieteellisesti erittäin laadukkaita ja ymmärryksemme Titanista sekä koko Saturnuksen järjestelmästä lisääntyivät.

Huygens-luotaimen myötä Ilmatieteen laitos ensimmäisenä maailmassa havainnoi Titan-kuun kaasukehäprofiilin. Samanlaisia onnistumisia oli muuallakin aurinkokunnan tutkimuksessa, mm. **Marsin kaasukehän** pitkäkestoimmat paine- ja kosteushavaintosarjat, ensimmäinen mittausarja Marsin kaasukehästä aurinkotuulen pois pyyhkimästä vedestä (noin 0,5 kg/s), ensimmäinen mittalaitetekosketus ESA:n **Rosetta-luotaimen** kyydissä komeetalle. Aurinkokunnan kohteiden tutkimus oli myös keskeisessä roolissa Suomen ja Ilmatieteen laitoksen avaruusteknologiaosaamisen kehittämisessä nykyiselle korkealle tasolleen.

Samoihin aikoihin kaukokartoitustutkimus ESA:n kanssa alkoi tiivistyä ja siitä muodostuikin 90-luvun aikana tärkeä Suomen ESA-yhteistyön muoto, missä Ilmatieteen laitoksella on ollut merkittävä kansallinen rooli mm. **ENVISAT/GOMOS-otsonimittalaitteen** valmistuksessa ja hyödyntämisessä. Myöhemmin 2010-luvun taitteessa kuvaan astui Suomen ja ESA:n yhteistyö avaruussäätutkimuksen alalla, mikä on osaltaan myötävaikuttanut Ilmatieteen laitoksen menestyksellisiin operatiivisiin avaruussäätöpalveluihin, kuten **ilmailun globaaliin avaruussäätöpalveluun (PECASUS)**.



Kuva 20. ESA:lle ehdotettavan ATMIS/NETLANDER-instrumentin JPL-osion katselmointikokouksessa NASAn Jet Propulsion Laboratory-keskuksessa (JPL) Kaliforniassa, muistaakseni kesällä 2000. Olimme sopineet, että kaikilla ATMIS-tiimin jäsenillä on katselmointitilaisuudessa päällään hawaijipaidat (Ari-Matti Harri).

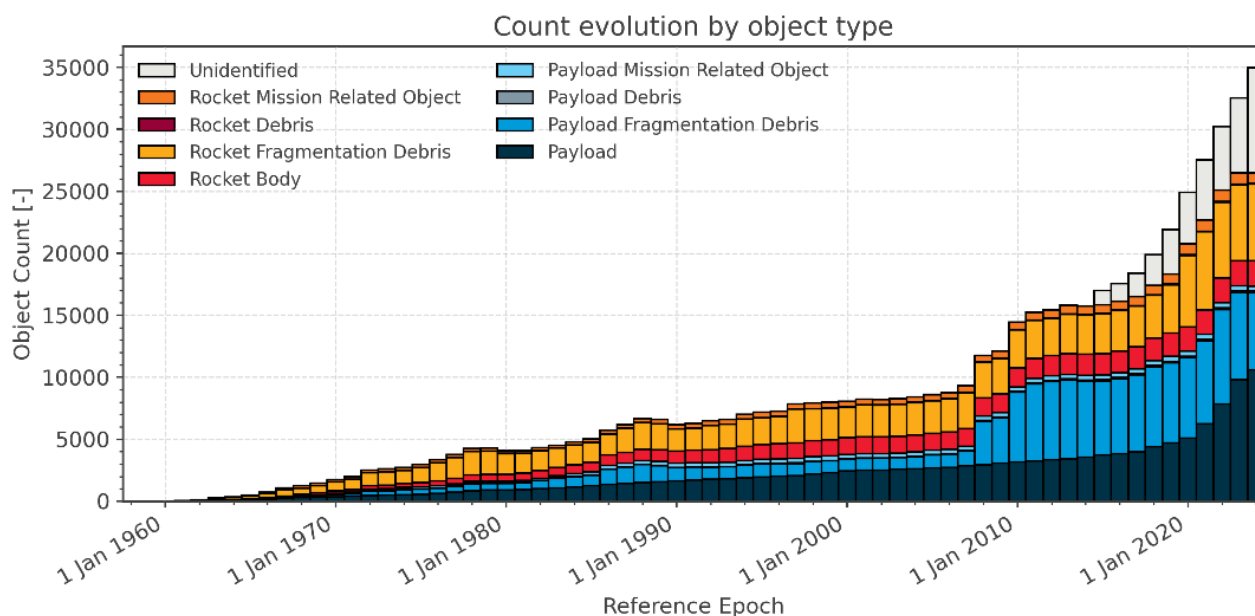
Viime vuosien aikana aktivoitui Suomen ESA-yhteistyö myös SST:n (Space Surveillance and Tracking, avaruudessa liikkuvien kappaleiden seuranta) alalla, mikä osaltaan johti Suomen syksyllä 2022 liittymään EU SST -organisaatioon, joka havainnoi ja ennakoii lähiavaruuden kappaleiden liikeratoja.

Avaruusriippuvaisuus edellyttää lähiavaruuden tarkkaa seurantaa ja analyysiä

Yhteiskuntien riippuvuus avaruustoiminnoista on kasvussa. Nojautumme enenevässä määrin satelliittipohjaisiin palveluihin. Näitä ovat mm. tietoliikenne, navigaatio ja paikantaminen, sääpalvelut, kaukokartoitus sekä turvallisuus- ja puolustukselliset toiminnot, jotka ovat osa nyky-yhteiskunnan arkea.

Satelliittijärjestelmien häiriötöntä toimintaa haittaavat lähiavaruuden ruuhkautuminen, avaruussään aiheuttamat häiriöt ja mahdolliset satelliittien sekä avaruusromun törmäykset. Lisäksi ajoittain Maahan putoavat satelliittien osat, Maan lähelle tulevat asteroidit ja komeetat (**NEO** – Near Earth Objects) ja avaruusromu saattavat aiheuttaa maan päällä vaaratilanteita. Tämän kokonaisuuden ymmärtämistä kutsutaan avaruustilannetietoisuudeksi (Space Situational Awareness).

Avaruustilannekuva tarkoittaa kokonaiskuvaa ja ymmärrystä lähiavaruuden kappaleiden liikeradoista ja ominaisuuksista, avaruussäästä sekä niiden vuorovaikutuksista. Näin pystytään arvioimaan satelliittien liikeratojen kehittymistä, törmäystodennäköisyyksiä ja Maahan iskeytyvien kappaleiden aiheuttamia vaaratilanteita sekä ymmärtämään ja ennakoimaan avaruussään vaikutuksia satelliittijärjestelmiin ja niihin perustuviin palveluihin.



Kuva 21. Viime vuosikymmenten saatossa avaruusesineiden määrän kasvu on ollut nopeata, syksyllä 2024 kiertoradalle oli lähetetty noin 20 000 satelliittia. Euroopan avaruusjärjestö ESA arvioi kiertoradoille sijoitetun laitteiston ja avaruusromun kokonaismassan olevan noin 13 000 tonnia. Lähde: ESA.

AvaTiKe - ympärivuorokautinen informaatio- ja viranomaispalvelu

Avaruustilanekuvan seuranta ja analyysiä varten perustettiin kansallinen Avaruustilannekeskus (AvaTiKe, Finnish Space Situational Awareness Center - FSSAC), jonka ympärivuorokautinen operatiivinen toiminta alkaa vuosina 2027–2028. Se muodostaa globaalin avaruustilanekuvan yhteistyössä ulkomaisten kumppaniensa (mm. EU SST, NOAA, USSPACECOM) kanssa ja jalostaa sitä omien havaintojen sekä analyysien avulla kansallisia tarpeita varten. AvaTiKe ylläpitää mahdollisimman reaaliaikaista avaruustilannekuvaa ja tarjoaa siihen liittyviä tietopalveluja Puolustusvoimille, muille viranomaisille ja huoltovarmuuden kannalta kriittisille yrityksille sekä yliopistoille ja tutkimuslaitoksille sekä toimii kansallisena asiantuntijana avaruustilannetietoisuuden alalla.

Tällä tavoin Avaruustilannekeskus auttaa yhteiskuntaa varautumaan ja ennakoimaan avaruusuhkien sekä satelliittipalveluiden häiriöiden vaikutuksia. Avaruustilannekeskuksen perustaminen edistää osaltaan Suomen kokonaisturvallisuuden tavoitteita, kuten kansallista kriisinsietokykyä, kriittisen infrastruktuurin ylläpitoa ja huoltovarmuutta sekä kyberturvallisuutta.

AvaTiKe toimii eri toimipisteisiin hajautettuna. Siviiliohtokeskus toimii Ilmatieteen laitoksen ja sotilasjohtokeskus Puolustusvoimien yhteydessä. Molemmat johtokeskukset toimivat itsenäisesti mutta läheisessä yhteistyössä. Keskuksen toteuttamisessa hyödynnetään nykyisiä viranomaistehtäviä ja -rakenteita.

Osallistuminen globaalin avaruustilannekuvan muodostamiseen edistää suomalaista avaruusalan tutkimusta ja mahdollistaa avaruustoimintaa koskevan suunnatun rahoituksen hakemisen EU:lta ja Euroopan avaruusjärjestöltä. Samalla se avaa mahdollisuuksia myös korkealaatuisen teknologian kehittämiseksi ja liiketoiminnalle.

Kansallisen Avaruustilannekeskuksen perustamista kaavailtiin usean vuoden ajan. Syksyllä 2022 käynnistettiin liikenne- ja viestintäministeriön johtama ohjausryhmä pohtimaan Avaruustilannekeskuksen perustamista. Ohjausryhmässä olivat edustettuina kaikkien hallintoalueiden ministeriöt. Ohjausryhmän sihteeristö oli Ilmatieteen laitokselta, jonka työtä tukivat ohjausryhmään nimetyt pysyvät asiantuntijat Maanmittauslaitoksesta ja Puolustusvoimista. Ohjausryhmä jätti raporttinsa toukokuussa 2023, jossa se yksimielisesti suositteli kansallisen Avaruustilannekeskuksen perustamista.

Avaruustilannekeskus perustuu niihin avaruusalan teknis-tieteellisiin kyvykkyyksiin, joita on Suomessa kehitetty osittain ESA-yhteistyön kautta – satelliittitekniologia, avaruussään ilmiöt, avaruustieteellinen instrumentaatio, kaukokartoitusmenetelmät. Tutkimuksesta päädytään menestykselliseen operatiiviseen toimintaan.



Kuva 22. Ari-Matti Harri puhui kesällä 2024 Space Business Forumissa Avaruustilannekeskuksesta.

Ari-Matti Harri, tutkimusprofessori, yksikönpäällikkö, Avaruustutkimus ja havaintotekniologia, Ilmatieteen laitos

Minna Palmroth, Helsingin yliopisto - Clusterista Vlasiatoriin, eli miten ESA:n Cluster-satelliitti vaikutti maailman tarkimman avaruusolosuhteita simuloivan mallin syntyyn

Minna Palmroth on suomalainen avaruusfysiikan professori, joka on tullut tunnetuksi erityisesti Maan magnetosfääriin ja aurinkotuuleen liittyvistä tutkimuksistaan.

Palmroth aloitti uransa jo 1990-luvulla ja oli mukana tutkimuksissa, jotka liittyivät Maan magnetosfääriin mallintamiseen ja aurinkotuulen vaikutusten tutkimiseen. Hänen työnsä on ollut keskeistä ESA:n projekteissa, kuten Cluster-missiossa.

Palmroth itse kertoo mielenkiintoisesti avaruusurastaan ja ESA projekteistaan:

Suomi ehti vanhentua ESA:n jäsenenä vain vuoden, ennen kuin tulin avaruusosalalle Ilmatieteen laitoksen kesäharjoittelijaksi vuonna 1996. Muistan kesät 1996-1998 hauskana aikana: kesäharjoittelijoita oli paljon, ja työilmapiiri Ilmatieteen laitoksen Geofysiikan tutkimuksessa oli mahtava. Työtehtäviin kuului päiväntasaajan ionosfääriin kuplintaan liittyvä tutkimus, jota tein FT Harri Laakson ohjauksessa. Vuonna 1999 oli aika valmistua maisteriksi, ja Pro gradu -työni käsitteli tätä päiväntasaajan alueen paikannussignaaleja sotkevaa avaruussäätöä. Myöhemmin urallani on ollut paljon hyötyä siitä, että olen tutustunut myös muihin kuin pohjoisten alueiden avaruussäätöihin.

Pian graduni jälkeen Harri Laakso lähti ESTEC:iin töihin, ja jatkoin väitöskirjan parissa tutkimusprofessori Tuija Pulkkinen ryhmässä. Väitöskirjani käsitteli Maan lähiavaruuden mallintamista käyttäen ns. **magnetohydrodynaamista (MHD) simulaatiomallia**, joka kattoi osia aurinkotuulesta ja Maan magneettikentän hallinnoimasta magneettikehästä, sekä sisälsi myös kytkennän ilmakehän ionisoituneeseen yläosaan eli ionosfääriin. Nämä niin sanotut globaalit simulaatiomallit ovat ratkaisevassa asemassa, kun avaruussäätöä aletaan tulevaisuudessa ennustaa samalla tavalla, kuin maanpäällistä säätä. Ongelmana avaruussäätömallinnuksessa maanpäälliseen säähän verrattuna on, että simulaatioalue on paljon suurempi (miljoona kilometriä kanttiinsa) ja fysiikkaa kontrolloivat yhtälöt ovat monimutkaisempia ja sisältävät mm. sähkömagneettiset vuorovaikutukset. Suurin ongelma on kuitenkin se, että maanpäällistä säätä mitataan tiuhalla mittariverkostolla, kun avaruudessa on hyvässä lykyssä vain muutama satelliitti kattamassa koko valtavaa simulaatioaluetta. Tästä syystä avaruussäätöennustaminen avaruussäätöille on tätä kirjoittaessa (vuonna 2024) suunnilleen samalla tasolla, missä sään ennustaminen oli 1950-luvulla.

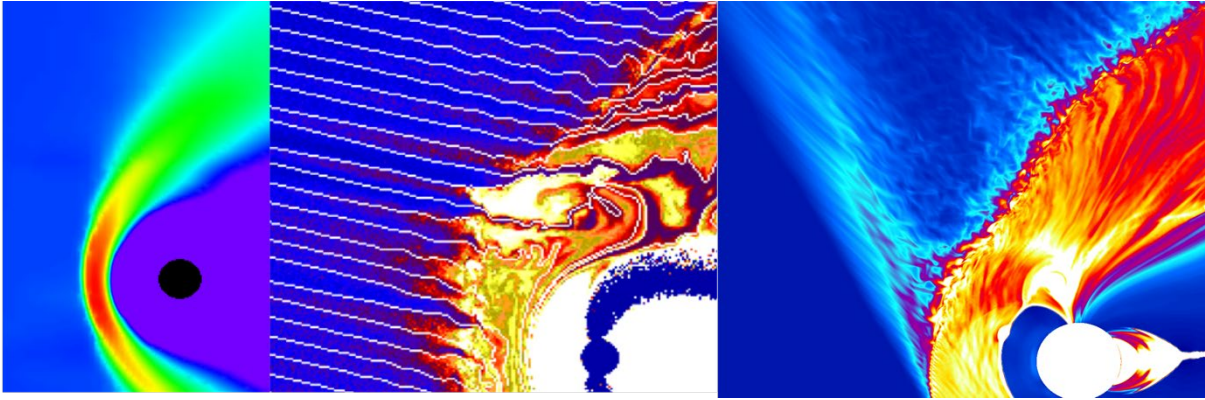
Väitöskirjaani tehdessäni olin jo tutustunut satelliittien mittauksiin, ja seurasin sivusta ESA:n Cluster-satelliitin rakentamista. Ilmatieteen laitos ei valitettavasti ottanut osaa tämän satelliitin rakentamiseen, vaikka ilmeisesti tähän oli tarjottu mahdollisuutta ESA:n puolesta. Cluster oli yksi ainoita missioita, joissa eurooppalaiset johtivat maailmanlaajuisesti alan kehitystä, sillä moni muu ESA:n missio meni sinne missä NASA jo oli; tekemään asioita, joita oli jo aiemmin tehty. Clusterin tarkoituksena oli ensimmäistä kertaa pystyä erottamaan paikallinen vaihtelu ajallisesta vaihtelusta, eli mitata neljän satelliitin tetrahedrimäisessä muodostelmassa. Yhden satelliitin mittaus on nimittäin aina epävarma sen suhteen, oliko havaittu muutos paikallinen, vai tuliko se jostain muualta mittauskohteeseen. Ennen Clusteria ei tällaista ollut tehty, eikä myöskään mitään usean satelliitin

eriaikaisia mittauksia hyödyntäviä menetelmiä ollut kehitetty. Se oli siis täysin uudenaikainen satelliittimissio, jollaista kukaan ei ollut vielä rakentanut – ja eurooppalaiset johtivat tätä kehitystä. Muistan vieläkin, miten hienolta se tuntui – nimittäin aika usein alamme johtava valtio eli Yhdysvallat kertoi tekevänsä aina kaiken ensimmäisenä.

Cluster oli myös yksi suuri syy siihen paradigmanmuutokseen, jonka päädyin tekemään. Nimittäin vuonna 2004, ollessani postdoc-kaudellani Boulderissa keskustelin kollegoiden kanssa paljon mallinnuksen tulevaisuudesta. Muistan kerran, kun istuin legendaarisen professori Dan Bakerin kulmahuoneessa, tulin sanoneeksi, että MHD-simulaatiot tulevat olemaan vanhentuneita mittausten kontekstina, kun Cluster alkaa tuottaa kunnolla dataa. Nimittäin Cluster mittasi niin sanotussa ioniskaalassa, joka oli MHD-simulaatioiden resoluutiota tarkempi, ja sisälsi sellaista fysiikkaa, mitä MHD ei pystynyt tuottamaan. Koska avaruuden olosuhteita kontrolloivat yhtälöt ovat niin monimutkaisia, kaikki globaalin skaalan mallit joutuivat tekemään approksimaatioita, ja MHD:ssa tehtiin niitä paljon. Sanoin, että meidän on pakko alkaa kehittää malleja, joissa otetaan ioniskaalaa tarkemmin kuvaavat niin sanotut kineettiset yhtälöt käyttöön. Muistan, kun minua katsottiin hiukan hölmistyneenä, kuin en olisi ihan ymmärtänyt, mitä sanoin. Eiväthän tuollaiset simulaatiot ole mahdollisia, minulle sanottiin.

Vlasiatorin pitkä tarina on kerrottu lyhyesti (Palmroth, 2022), mutta pääasia oli se, että onnistuimme lopulta kehittämään mallin, joka kattaa saman simulointialueen kuin MHD-mallit, mutta mallintaa ioniskaalassa ja tuottaa avaruuden olosuhteista tarkemman kuvan kuin mikään muu malli maailmassa (Kuva 19). Onnistumiseen liittyi vuosikausien työ tilanteessa, missä melkein kukaan ei uskonut, että lopulta onnistuisimme. Yhtenä kulmakivenä Vlasiatorin onnistumisessa on suurteholaskenta ja superkoneet, erityisesti alan eurooppalainen strategia. Suurena tukena ja lohtuna mallia kehitettäessä oli Cluster-yhteisö, sillä he janoivat ioniskaalan mallinnustuloksia. Nyt osamme ovat vaihtuneet. Kun Vlasiator on valmis, ei olekaan enää missioita, jotka voisivat varmistaa mittauksilla simulaatioiden ennustamia uusia, mullistavia ajatuksia (esim. Palmroth & muut, 2023). Niitä varten tarvittaisiin samanaikaisia mittauksia useammasta eri paikasta. Tällä hetkellä satelliittihavaintojen yhteisö tunnustaakin, että mallinnus on pidemmällä kuin mittaukset, ja nyt tarvitaan uusia konstellaatiosatelliitteja (Rae & muut, 2002).

Tätä kirjoittaessa ESA:n harvinainen leadership -missio Cluster vetelee viimeisiään. Sain kutsun sen hautajaisiin, missä se ohjataan viimeiseen leposijaansa Tyyneen valtameren. Cluster on uskomattoman hieno tarina, ja sen parasta antia on myös sen yhteyteen kerääntynyt mahtava porukka, joista moni on läheisimpiä ystäviäni. On harmi, ettei ESA ole Clusterin jälkeen tehnyt mitään lähiavaruuden alueella, vaan jättänyt tämän alueen fysiikan selvittämisen täysin yhdysvaltalaisten missioiden vastuulle. Nythän lähiavaruuden ymmärrystä juuri tarvittaisiin, nimittäin lähiavaruutta käytetään enemmän kuin koskaan ja suurimpana motivaationa on avaruuden tarjoama taloudellinen kasvu. On vaikea nähdä, että esimerkiksi maanpäällisestä säästä riippuva talouskasvu ei tarvitsisi sääolosuhteiden ymmärrystä. Meidän tulisi panostaa lähiavaruuden mittauksiin myös jatkossa. Mallinnusmenetelmät meillä jo on.



Kuva 23. Globaaleja lähiavaruuden olosuhteita mallintavia menetelmiä. Vasemmalla on kuva MHD-approksimaation tuottamasta tuloksesta. Keskimmäinen kuva on ionikineettinen malli kuten Vlasiatorkin (oikealla), mutta sen ja Vlasiatorin erona on, että Vlasiator ei mallinna suoraan hiukkasia, vaan niiden jakaumia. Hiukkasia mallinnettaessa (keskimmäinen menetelmä, Karimabadi & muut, 2014) tuloksesta tulee rakeinen, sen sijaan Vlasiatorin tulos on kohinaton. Kuvassa kaikilla menetelmillä on suunnilleen sama mallinnusalue. Aurinkotuuli puhaltaa vasemmalta, ja maapallon magneettikehä muodostaa virtausesteen, jonka eteen pakkautuu plasmaa shokkirintamaksi. Kuvattu suure on plasman tiheys.

Referenssit:

Karimabadi, H. & muut, The link between shocks, turbulence, and magnetic reconnection in collisionless plasmas, Phys. Plasmas, <https://doi.org/10.1063/1.4882875>, 2014

Palmroth, M., Daring to think about the impossible: The story of Vlasiator, Front. Astron. Space Sci., <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.952248>, 2022

Palmroth, M., & muut, Magnetotail plasma eruptions driven by magnetic reconnection and kinetic instabilities, Nature Geosci., <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01206-2>, 2023

Rae, J., & muut, What are the fundamental modes of energy transfer and partitioning in the coupled Magnetosphere- Ionosphere system? Exp. Astron., <https://doi.org/10.1007/s10686-022-09861-w>, 2022

Minna Palmroth, Laskennallisen avaruusfysiikan professori, Kestävän avaruustieteen ja -tekniikan huippuyksikön johtaja, Helsingin yliopisto

Avaruustoiminta VTT:llä

Suomen Euroopan avaruusjärjestön jäsenyyden 30-vuotisen taipaleen aikana avaruustoiminta Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:llä on muuttunut merkittävästi ja kasvanut. Pääsääntöisesti VTT osallistuu ESA:n eri ohjelmissa kilpailutettaviin tutkimusprojekteihin, mutta matkan varrelle on mahtunut mukaan myös hankkeita, joissa on tehty varsinaisia avaruuteen lähetettyjä tieteellisiä instrumentteja. Nämä instrumentit ovat luonnollisesti Euroopan avaruusjärjestön keskeistä toimintaa, ja ESA:n tutkimusohjelmat keskittyvät pääsääntöisesti joko tutkimaan uusia teknologioita, joilla tulevaisuudessa voi olla käyttöä avaruudessa, tai suoremmin kehittämään teknologioita, joita halutaan käyttää jo päätettyihin lähivuosina avaruuteen lähetettäviin instrumentteihin. Tähän perusasetelmaan on vuosien saatossa tullut kuitenkin mukaan yhä enemmän myös avaruusteknologioiden maanpäällistä hyödyntämistä ja kaupallistamista. Avaruustoiminta vaatii paljon rahoitusta ja resursseja, ja ESA:n jäsenmaat haluavat jäsenmaksuillaan myös laajemmin yhteiskuntaa hyödyttäviä ratkaisuja.

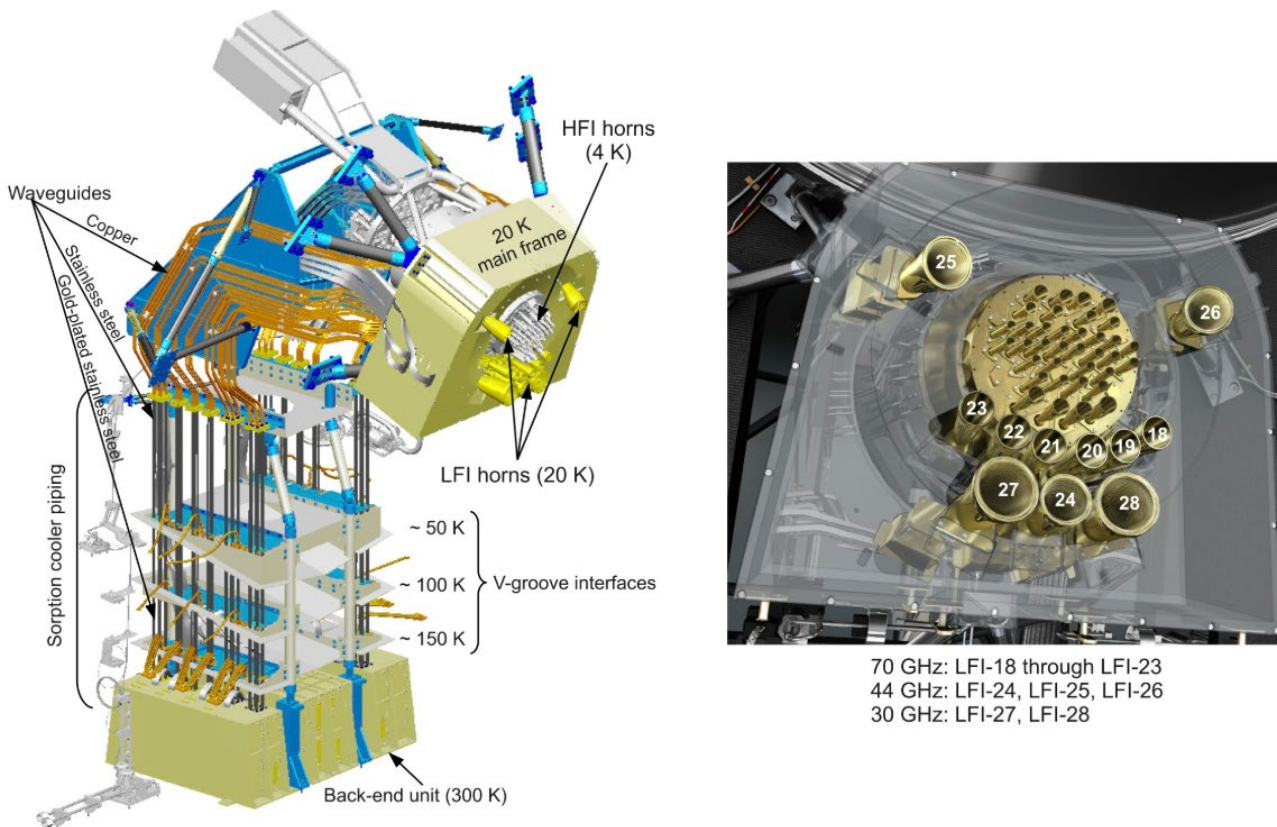
VTT:lle perinteisten radioteknologioita hyödyntävien tietoliikenteen, kaukokartoituksen ja astrofysiikan rinnalle on tullut hankkeita, joista hyötyvät yhä useammin VTT:n muutkin toimialat, kuten vaikkapa ainetta lisäävä valmistus, lisätty todellisuus tai biokontaminaatiotutkimus. Ohjelmistojen merkitys instrumentaation ohella kasvaa tekoälyn ja konenäön valtavan potentiaalnin siirtyessä yhä enemmän myös avaruuslaitteilla tuotetun datan käsittelyyn. Niin ikään itse avaruuslentotoiminta on muuttunut piensatelliittien (ns. CubeSat) yleistyessä, joskaan perinteiset satelliitit eivät ole poistuneet. Piensatelliitit ovat kuitenkin kasvavaa liiketoimintaa Suomessa ja Euroopassa, ja VTT osallistuu enenevässä määrin hankkeisiin, jotka hyödyntävät CubeSat-ratkaisuja.

Radioteknologioilla on perinteisesti ollut keskeinen rooli jo pelkästään kiertoradalla toimivien instrumenttien ja maan pinnalla olevien satelliittien maa-asemien välisen yhteydenpidon kannalta, olipa sitten kyseessä satelliittitelekkommunikaatio tai puhtaasti satelliittien ja niiden instrumenttien ohjaukskäskyjen välittäminen (telemetry). Tieteellisten instrumenttien, esimerkiksi meteorologisten, kaukokartoitus- ja astrofysikaalisten, välittämän datan määrä on jatkuvassa kasvussa, mikä aiheuttaa painetta yhä korkeampien taajuuksien ja kaistanleveyksien käyttöön satelliittiliikenteissä. Tällä hetkellä korkeimmat linkkitaajuudet, n. 26 GHz, ovat käytössä tai suunnitteilla kaukokartoitussatelliiteissa, mutta 40–60 GHz ja 75–110 GHz linkkejäkin jo suunnitellaan. Tähän liittyen VTT osallistui yhdessä suomalaisen Kuva Spacen kanssa ESA:n **W-Cube**-nanosatelliittihankkeeseen, johon VTT toteutti kaksitaajuisen majakkalähettimen, jota käytetään ilmakehän läpäisy tutkimuksiin 37,5 ja 75 GHz taajuuksilla. W-Cube laukaistiin avaruuteen vuonna 2021, ja se on yhä toiminnassa.

Tieteellisten hankkeiden kannalta millimetriaaltoalueen (30–300 GHz) taajuuksilla on merkittävä rooli, ja tämän taajuusalueen teknologioilla on Suomessa pitkäaikaista, kansainvälisesti tunnustettua, osaamista. Tämä kulminoitui vuonna 1995 VTT:n ja nykyisen Aalto yliopiston yhdistäessä osaamisensa ja perustaessaan MilliLabin (Millimetre Wave Laboratory of Finland). Professorit Antti Räisänen (Aalto) ja Jussi Tuovinen (VTT) olivat tässä keskeisessä roolissa, ja Tuovinen toimi MilliLab:n ensimmäisenä johtajana. MilliLab on Euroopan avaruusjärjestön ulkoinen millimetriaaltoteknologian laboratorio, jonka päätehtävä on tuottaa palveluita eurooppalaiselle avaruusteollisuudelle. Lisäksi MilliLab on osallistunut koko olemassaolonsa ajan kumppanina lukuisiin ESA:n tutkimusohjelmien mikro- ja millimetriaaltoteknologioita kehittäviin hankkeisiin. Aihepiirit ovat vaihdelleet

puolijohdepiireistä ja radiovastaanottimista antenneihin, RF-MEMS:iin ja millimetri- ja THz-aaltoalueen kuvantamislaitteisiin.

MilliLab:n alkuvuosiin liittyy VTT:n avaruustoimintaa 2000-luvun alkupuolella suurena ja kansainvälisesti merkittävänä hankkeena hallinnut 70 GHz radiovastaanottimien kehittäminen ESA:n Planck-satelliittiin, joka tutki maailmankaikkeuden kosmista tausta-aaltosäteilyä vuosina 2009–2013. Hanketta johti MilliLab-VTT ja MilliLab:n johtajana Tuovinen, ja instrumenttien toteutuksesta vastasi DA-Design (ent. Ylinen Electronics). Myös muita suomalaisia toimijoita, kuten **Metsähovin radiotutkimusasema** ja AL Safety Design Oy, oli vuosien varrella mukana instrumenttikehityksessä. Suomessa Planckiin liittyvä toiminta alkoi jo vuonna 1997 hankkeeseen kriittisesti liittyvien kryogeenisten millimetriaaltoalueen integroitujen piirien, erityisesti vahvistimien, tutkimuksella. Itse satelliitti-instrumenttien kehitys alkoi 2000–2001 kohdilla päättyen laukaisuun keväällä 2009. DA-Design:n puolella työtä johti Nicholas Hughes ja 2001 alkaen MilliLab-VTT:n osuutta Jussi Varis. Noin 10 vuoden kehitystyöhön liittyi monia mutkia matkassa ja ongelmia ratkottaviksi, mutta lopulta valmistuivat laukaisuhetkellään maailman herkimät 70 GHz radiovastaanottimet. Lopuksi on syytä todeta, että Suomen osuus myös Planck:n tieteellisen datan keräämisessä ja käsittelyssä oli merkittävää. Hankkeessa oli mukana kansallinen parhaimmistomme Helsingin yliopistosta, Helsingin yliopiston observatoriosta, Metsähovin radiotutkimusasemalta ja Tuorlan observatoriosta.



Kuva 24. Planck-satelliitin Low Frequency Instrumentti ja sen eri taajuuksien vastaanottimet (ESA).

Planckin jälkeen MilliLab-VTT ja MilliLab:n pitkäaikainen yhteistyökumppani DA-Design jatkoivat millimetriaaltoalueen vahvistimien ja vahvistinmoduulien kehittämistä yhä korkeammille (< 300 GHz) taajuuksille ja niiden luotettavuustestausta tulevia avaruuslentoja silmällä pitäen. Tämä vuosien

2008–2014 aikana tapahtunut toiminta oli Euroopan avaruusjärjestön katsannossa valmistautumista EUMETSAT:n toisen **sukupolven MetOp-satelliittien** (MetOp-SG) instrumentteihin, joiden teknisen toteutuksen EUMETSAT oli tilannut ESA:lta. MetOp-satelliiteilla tullaan tarkkailemaan maan ilmakehää, pintaa ja meriä. Tämän toiminnan kannalta keskeisten molekyylien värähtelytaajuuudet sijoittuvat millimetriaaltoalueelle, ja MetOp:n instrumentit tulevat kattamaan 18–664 GHz taajuusalueen jaettuna useampaan kanavanippuun. Airbus Defence and Space voitti ESA:n tarjouskilpailun MetOp-satelliittien rakentamisesta ja kilpailutti lukuisilta eurooppalaisilta toimijoilta eri kananippujen laitteistojen rakentamisen. Suomesta DA-Design voitti 89 GHz kanavan radiovastaanottimien toimituksen ja puolestaan tilasi näiden instrumenttien suorituskyky- ja luotettavuustestauksen MilliLab-VTT:ltä. MilliLab:n osalta toiminta alkoi vuonna 2015 ja jatkui kesään 2023. 89 GHz ohella MilliLab teki jonkin verran tilaustestausta myös 54 GHz instrumentteihin. MetOp-SG:n ensimmäisen satelliitin laukaisu on ajoitettu vuoteen 2025.

Astrofysiikkaan liittyen VTT:llä on pitkäaikaista kokemusta **SQUID-detektoreista**, joiden kehitystä VTT:llä on paljon edesauttanut niiden sovelluspotentiali ESA:n missioissa. Teknologian juuret Suomessa ovat 30 vuoden takana Olli Lounasmaan silloin johtamassa **TKK:n kylmälaboratoriossa**, ja tällä hetkellä avaruuden ohella kehityksen ajurina on Suomen voimakas panostus kvantti-informaatioon ja -tietokoneisiin. Euroopan avaruusjärjestön SQUID-hankkeiden tie on ollut kivinen. Tällä hetkellä VTT on mukana **NewATHENA-satelliittihankkeessa** (laukaisu 2030-luvulla), jossa SQUID-detektoreita tullaan käyttämään röntgenalueella. Hankkeen tausta on vuodesta 2001, jolloin satelliittimission nimenä oli XEUS ja myöhemmin IXO. VTT oli myös mukana vuonna 2007 ehdotetussa SPICA:n SAFARI-instrumenttihankkeessa, jonka oli tarkoitus tehdä havaintoja kaukoinfrapuna-alueella. SPICA kaatui kuitenkin vuonna 2020 rahoitusongelmin.

Tulevan 6G-tekniikan yksi keskeisimmistä visioista on satelliittien integroiminen osaksi maanpäällistä verkkoa siten, että käyttäjän ei tarvitse huolehtia tai olla tietoinen siitä, mitä kautta paras yhteys muodostetaan. Kun satelliittiyhteyden muodostamiseen tarvitaan tänä päivänä usein erillinen laite, niin tulevaisuudessa tavallisella matkapuhelimellakin tai IoT-laitteella voidaan tarvittaessa muodostaa yhteys myös satelliitin kautta. Tämä onkin jo rajatusti mahdollista ja työtä on aloitettu 5G-standardoinnin yhteydessä tavoitteena löytää ratkaisuja, joilla satelliittitietoliikenteen (SATCOM) integrointi mahdollistetaan mahdollisimman pienillä muutoksilla maanpäällisen verkon standardiin nähden. VTT on tehnyt yhteistyötä ESA:n kanssa useissa eri 5G-SATCOM projekteissa, joissa tavoitteena on satelliittitietoliikennemenetelmien ja simulointimallien rakentaminen suorituskyvyn parantamiseksi ja arvioimiseksi. Projektit ovat keskittyneet sekä maalinkin (device-satellite link) että satelliittien välisen yhteyden (inter-satellite link) kehittämiseen. Yhteistyön tuloksena on syntynyt useita julkaisuja ja ESA:n ja VTT:n yhteinen kolmitahoinen visio satelliittien hyödyntämiseksi tulevaisuuden tietoliikenneverkoissa mahdollistaen läsnäolon kaikkialla (ubiquity), joustavan liikkuvuuden (mobility) maalla, merellä ja ilmassa sekä tiedon levittämisen laajoille alueille (broadcast). Yhteistyön tiivistämiseksi VTT ja ESA ovat mm. sopineet **strategisesta kumppanuudesta 5G-SATCOM teknologian kehittämiseksi**.

VTT:n ensimmäinen hyperspektritekniikkaan perustuva ESA-projekti oli **Envisat-satelliitin GOMOS-instrumentin alijärjestelmien kehittäminen**. Suomen osuus Envisatin laitetoimituksista oli noin 16 miljoonaa euroa, joka on ESA-urakaksi pienelle jäsenmaalle suuri summa. Envisat oli näillä näkymin ESA:n viimeinen näin monimutkainen ja suuri satelliitti - sen kehittäminen kesti noin 14 vuotta (v. 1988 alkaen päättyen laukaisuun 2002). VTT oli mukana GOMOS-projektissa sen alusta lähtien myös alkuperäisessä laite-ehdotuksessa ESA:lle vuonna 1988, jonka laati kansainvälinen tiedemiesryhmä, jonka keskeisimmät tutkijat olivat Ranskasta ja Suomesta. Alkuperäisessä ehdotuksessa oli VTT:sta

mukana prof. G. Leppelmeier silloisesta VTT Instrumenttitekniikan laboratoriosta. ESA kutsui eri Euroopan maista tieteellisen neuvontaryhmän (GOMOS Scientific Advisory Group) määrittelemään GOMOS-instrumentin tieteelliset päämäärät ja suorituskykyvaatimukset. VTT:sta Heikki Saari oli tämän ryhmän jäsen 1993–1997.

VTT:n vastuulla oli GOMOS-instrumentin tärkeimmän optisen osan eli näkyvää ja ultraviolettivaloa analysoivan hyperspektrikameran laboratoriomallin kehittäminen ja mittaukset sillä. GOMOS-instrumentin UV- ja näkyvän valon spektrometri tuotiin VTT:lle, jossa sen detektori optimoitiin sellaiseen kohtaan, jossa sen resoluutio oli parhaimmillaan. Lisäksi VTT karakterisoi CCD-detektorien ominaisuudet niin, että näiden tulosten avulla GOMOS:n mittaamasta absorptiospektristä saatiin mahdollisimman paljon tietoa irti.

VTT:n toinen hyperspektrilaitteprojekti oli **OMI (Ozone Monitoring Instrument)** CCD-detektorimoduulien kehittäminen NASA:n EOS-Aura-satelliitiin (EOS = Earth Observing System). EOS Aura laukaistiin polaariradalle vuonna 2004. OMI on erityisesti otsonimittauksiin kehitetty kaukokartoitusmittalaite. Hankkeen vastuullisena yksikkönä toimi Hollannin avaruusorganisaatio NIVR, toimittaan instrumentin NASA:lle. Laitteen suomalaisosuuksien rahoituksesta vastasivat Tekes, Ilmatieteen laitos ja VTT. Tiedeohjelmasta vastasi Hollannin Ilmatieteen laitos KNMI, partnereinaan Suomen Ilmatieteen laitos ja NASA. Suomessa Ilmatieteen laitoksen Geofysiikan tutkimus kantoi vastuun myös projektin suomalaisosuuden yleisestä johdosta. Instrumentin rakensivat Fokker Space B.V. ja TNO-TPD Hollannista, sekä Patria Finavitec Oy Systems ja VTT Tietotekniikka Suomesta. Laitteen mittaussuunta on kohti maapallon pintaa. Sen poikkeuksellisen tarkkuuden takaavat VTT:n kehittämät pienikohinaiset detektoryksiköt, Patria Finavitec Oy:n toimittama elektroniikkayksikkö ja hollantilaisten rakentama uudenvuorokaudessa, kun aikaisemmin otsoni mitattiin vain kerran kolmessa vuorokaudessa.

GOMOS ja OMI instrumentit ovat push-broom tyyppisiä hyperspektrikameroita, jotka kuvaavat kohteesta viivamaisen alueen yhteen kuvaan. Tällä hetkellä ei ole operatiivista avaruusinstrumenttia, joka tuottaisi 2-dimensionaalista (2D) hyperspektridataa ilmakehästä. ESA Earth Watch ohjelman **ALTIUS-missio** (Atmospheric Limb Tracker for Investigation of the Upcoming Stratosphere) tulee olemaan ensimmäinen ilmakehäninstrumentti, joka tuottaa 2D-hyperspektridataa. ALTIUS kuvaa maapallon ilmakehää sivulta, mikä mahdollistaa ilmakehän eri kaasujen ja aerosolien pystysuuntaisten profiilien mittaamisen. ALTIUS:ta rahoittavat Belgia, Kanada, Romania ja Luxembourg. Projektin pääurakoitsija on Redwire Space. OIP Sensor Systems on instrumentin pääurakoitsija. VTT on osallistunut ALTIUS-instrumentin kehittämiseen vuodesta 2014 lähtien. VTT:n osuus ALTIUS-hankkeessa on sen UV-kanavan aallonpituuskaistojen valinnan mahdollistavan säädettävän suotimen kehittäminen aallonpituusalueelle 250–370 nm. Aallonpituusresoluutio vaatimus on 2 nm. Suomesta hankkeeseen osallistuvat ASRO Oy pääurakoitsijana ja VTT ja Ilmatieteenlaitos alihankkijoina. ALTIUS-laukaisu on näillä näkymin vuonna 2026. VTT:n neljään sarjassa olevaan Fabry-Perot-interferometriin perustuva ratkaisu valittiin ALTIUS-laitteen UV-kanavaan, koska VTT:n teknologia oli ainut riittävän kehittynyt vaihtoehto päätöstä tehtäessä.

Vuonna 2011 VTT pääsi mukaan myös Suomen nanosatelliittikehitykseen **Aalto-1 satelliitin** mukana. Suomen ensimmäisen satelliitin kyydissä laukaistiin maailman ensimmäinen nanosatelliitissa lentävä

hyperspektrikamera, joka oli täysin VTT:n käsialaa. Aalto-1 missiota seurasi useampi onnistunut nanosatelliittimissio mm. ESA **Picasso** ja **Reaktor Hello World** (Kuva Space). Näiden missioiden ansiosta VTT:n hyperspektritekniologia valittiin mukaan ESA:n **Hera** ja **Comet Interceptor** missioihin tutkimaan asteroidien ja komeettojen koostumusta. Hera laukaistiin onnistuneesti lokakuussa 2024 kohti Didymos asteroidia.

VTT:n kaukokartoitustutkimus on edennyt satelliittien kehityksen mukana jo yli 30 vuoden ajan. Data-analytiikkaa on tehty aina saatavilla olevilla aineistolla, satelliittikuvien ollessa tärkein aineiston lähde, mutta tätä on tarvittaessa täydennetty ilmasta kuvatuilla aineistoilla maastohavaintojen lisäksi. Viimeisin suuri murros tuli Sentinel-satelliittien tarjoaman datan myötä eli saatiin tarkempaa dataa kuin ennen ja useammin. New Space toimijoiden aineisto on tuonut tähän vielä lisää ulottuvuuksia erityisesti ajallisen saatavuuden myötä. ESA:n projektit ovat olleet tärkeitä aihealueen osaamisen kehittämisessä. Suurin osa tutkimushankkeista on yhteistyöhankkeita yksityisen sektorin, instituutioiden tai muiden organisaatioiden kanssa. VTT on koordinoinut useita keskeisiä EU:n ja ESA:n rahoittamia hankkeita metsäalalla, mukaan lukien edelleen käynnissä oleva Forest Carbon Monitoring, ESA-projekti, jossa satelliittikaukokartoituspohjaisia ennusteita metsän rakenteellisista parametreista yhdistetään metsänkasvu- ja hiilimallinnukseen hiililaskentajärjestelmän luomiseksi. Viimeisimpänä kehityssuuntana on ollut metsän digitaalisen kaksosen kehittäminen ESA:n hankkeissa. Metsän lisäksi sovellusalueita on jäämerenkulussa, kaivosteollisuudessa, maataloudessa, kaupunkialueiden analysoinnissa ja tilannekuvan luomisessa.

VTT operoi **Forestry TEP** -alustaa, joka on verkkoympäristö, joka mahdollistaa laajojen maankäyttöön ja metsien kartoitukseen liittyvien kaukokartoitussovellusten tehokkaan toteuttamisen ja palvelee kaupallisia, hallinnollisia ja tutkimuskäyttäjiä. Alusta käynnistettiin ESA:n rahoituksella ja alustaa on käytetty lukuisissa ESA:n projekteissa (mm. Accucarbon, Assesscarbon, Forest Carbon monitoring, PEOPLE-ER) kaukokartoitusdatan käsittelyyn ja analysointiin. Alustan tekninen kehittäminen ja palveluekosysteemin rakentaminen ESA:n ja muiden yhteistyökumppaneiden kanssa jatkuu aktiivisena.

Kirjoittajat:

- Jussi Varis, Senior Scientist, MilliLab-VTT, jussi.varis@vtt.fi
- Heikki Saari, Principal Scientist, VTT Optical Microsystems, heikki.saari@vtt.fi
- Anne Lönnqvist, Research Manager, VTT Safe & Connected Society, anne.lonnqvist@vtt.fi
- Antti Näsälä, Principal Scientist, VTT Microspectrometers, antti.nasila@vtt.fi

Lisää tietoa:

- <https://www.vttresearch.com/fi/toimialat/avaruusteollisuus>
- <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/avaruustekniologia>
- <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/hyperspektritekniologia>
- <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/kaukokartoitus>
- <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/powder-piloting-materiaaliratkaisuja-jauheista-valmiisiin-tuotteisiin>
- <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/virtuaalinen-ja-lisatty-todellisuus>
- <https://f-tep.com/>

Pekka Laurila, ICEYE Oy, ICEYE:n tarina - Suomalainen avaruusseikkailu, joka ylitti kaikki odotukset

1990-luvun alussa HUTSAT-mikrosatelliittihanke oli rohkea askel suomalaiselta tiedeyhteisöltä. Tuolloin avaruustekniikan professorina Teknillisessä korkeakoulussa (TKK) toiminut Martti Hallikainen oli edelläkävijä, joka ymmärsi avaruustekniikan koulutuksen ja tutkimuksen merkityksen Suomelle. Hän johti HUTSAT-projektia, joka oli ensimmäinen askel kohti suomalaista satelliittiosaamista. Vaikka HUTSAT-projekti ei koskaan johtanut varsinaisen satelliitin laukaisuun, se loi pohjan tuleville menestystarinoille ja innosti uusia sukupolvia avaruusalan pariin.

Yksi näistä tarinoista on ICEYE, yritys, joka on noussut suomalaisen avaruusosaamisen kirkkaimmaksi tähdeksi. ICEYE:n juuret ulottuvat Aalto-yliopiston nanosatelliittiohjelmiin, joissa joukko visionäärisiä opiskelijoita ja tutkijoita kehitti piensatelliitteja. Vuonna 2014 tämä Aalto-1 tiimistä ponnistanut opiskelijaryhmä perusti ICEYE:n ja lähti määrätietoisesti viemään kehittämänsä teknologiaa maailmalle. Alkutaival oli täynnä haasteita, mutta perustajien intohimo ja usko omaan tekemiseen kantoivat hedelmää. Aalto-yliopiston, Business Finlandin ja ESAn tuki oli korvaamatonta alkuvaiheen rahoituksen ja kehitystyön kannalta.

Ensimmäiset kolme magnitudia

Onnistumiseen tarvitaan usein onnekas sattumien ketju joka johtaa mahdollisuuksiin ja siihen päälle kovaa työtä joka johtaa tuloksiin.

ICEYE:n tapauksessa sattumien ketju alkaa **Teknillisen Korkeakoulun avaruuslaboratoriosta**, jossa erään kurssin päätteeksi opettaja ja oppilaat, Jaan Praks ja Antti Kestilä etunenässä, päättivät että aika voisi olla kypsä ensimmäiselle suomalaiselle satelliitille. Aikaisempien suunnitelmien ajoista maailma oli muuttunut siten, että oli jo realismia ajatella, että alle miljoonalla voidaan saada aikaan kokonainen nanosatelliitti ja sille kaupallinen laukaisu. Vastaavia projekteja oli jo yhdysvaltalaisissa ja eurooppalaisissa yliopistoissa käynnissä ja laukaisua yksinkertaistava **CubeSat-standardi** oli ilmeinen valinta. Teknillisen korkeakoulun muutosmyllistyksessä Aalto-yliopistoksi tähän kunnianhimoiseen opiskelijaprojektiin oli sittemmin löytynyt erään tutkimusrahaston pohjilta rahoitus ja mahdollisuuden avauduttua hyvin nopeasti mukaan kertyi avainjoukko motivoituneita opiskelijoita. Aalto-1 oli ihan oikeasti menossa avaruuteen, sitä kannatti kehittää tosissaan.

Omalta osaltani onnekas sattuma oli vuoden 2011 Kaukokartoituspäivät, jossa tapasin Aalto-1:n tiimistä **Rafal Modrzewskin, Antti Kestilän ja Jaan Praksin**. Saunaillassa selvittelimme mitä projekti vielä tarvitsee ja oma harrastuneisuuteni 3d-mallintamisessa ja animoinnissa osoittautui tärkeäksi puuttuvaksi palaseksi. Oli ilmiselvää, että "Suomen ensimmäisestä satelliitista" oli vaikeaa tehdä uutisjuttua ilman hyvää havainnekuva. Tästä kulmasta pääsin nopeasti mukaan myös kovaan tekemiseen, sillä hyvällä visualisoinnilla saadaan myös hiottua teknisiä konsepteja tai yhteensopivuuksia paremmaksi. Olin toki myös kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien maisteriopiskelija, mutta sitä en tohtinut vielä uskoa, että voisin sensoriteknologiaan tai

signaalinkäsittelyyn tarjota mitään merkittävää uutta verrattuna yliopiston ja VTT:n tieteelliseen pohjaan.

Seuraava onnekas sattuma oli se, että Aalto-yliopistoon juuri yhdistyneen kauppakorkeakoulun puolelta kutsuttiin ensimmäistä kertaa myös tekniikan opiskelijoita mukaan **“Venture Formation”** (kasvuyrityksen perustaminen) -kurssille. Aalto-1 sähköpostilistalta löytyikin kolme innokasta lähtijää. Muodostimme Rafalin ja Antin kanssa tiimin, joka haki kurssille. Ideana oli selvittää uuden piensatelliittiteknologian ympäriltä uusia mahdollisia markkinoita, joita ei perinteisillä avaruusohjelmilla ollut vielä katettu. Saimme kyllä kuulla, että “teknologia etsii markkinaa” on tyypillinen insinöörien tapa epäonnistua kaupallisesti, mutta kiistämättä uudella teknologialla varmasti oli uusia käyttötarkoituksia ja onhan avaruus sentään ääretön, joten pääsimme mukaan.

Kurssia ohjasi Aallon opettajien lisäksi Stanfordin yliopiston Technology Ventures -ohjelman professori Michael Lyons, joten insinööreinä päätimme ottaa homman tosissaan näytön paikkana. Seurasi kovaa työtä. Selvitimme ja laskeskelimme useita mahdollisia kohdemarkkinoita ja sovelluksia, joissa piensatelliittiparvet voisivat tuoda ratkaisevaa hyötyä, mutta ennen kaikkea olimme yhteydessä mahdollisiin käyttäjiin selvittääksemme, ovatko he valmiita maksamaan hyödystä niin, että liiketoimintamalli toimisi. Näistä puheluista löytyi toinen käynnissä oleva murros, eli **arktisten alueiden aukeaminen liikenteelle**.

Kurssin loputtua 2012 keväällä, arktisen merijään kartoittaminen reaaliaikaisesti meriliikenteen turvallisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi oli valikoitunut selkeäksi käyttötapaukseksi, ja sen edelleen selvittämiseen saimme Aalto Center for Entrepreneurshipin myöntämää rahaa 5000 euroa, jolla pääsimme alan konferensseihin Suomessa. Selvisi, että nopea kartoittaminen on tärkeää, mutta olosuhteet eivät todellakaan salli jatkuvaa seurantaa optisilla sensoreilla - pimeys ja pilvet ovat jatkuva tila. Eli palvelu olisi toteutettava tutkasensorilla.

Seurasi jälleen kovaa työtä. Lähdimme rakentamaan teesiä pienestä kuvaavasta tutkasta jonka voisi monistaa **suureen parveen piensatelliitteja**. Oli selvää, että sellaista ei ole aikaisemmin tehty ja meidän tulisi todistaa teknologia prototyypillä. Tähän tarvittiin merkittävä määrä resursseja, joita kolmelta opiskelijalta ei omasta takaa löytynyt, joten lähdettiin rakentamaan Tekesin Tutkimuksesta uutta tietoa ja liiketoimintaa **(TUTL) -ohjelmaan hakemusta**, jolla teknologia ja sen ympärillä oleva liiketoiminta voitaisiin validoida prototyypillä. Tästä tulikin aikanaan suurin Radiotieteen ja -tekniikan laitoksen rahoitushakemus, kokonaissummaltaan noin 2 miljoonaa euroa. Onnekaasti löysimme ja saimme vakuutettua hankkeeseen mukaan erittäin uskottavan johtoryhmän, sisältäen niin arktisen teknologian kuin kasvuyritysten johtamisen rautaisia ammattilaisia. Sen lisäksi varsin onnekaasti laitoksen johtoa ja dekaania myöten löytyi uskoa, tai ainakin ymmärrystä, suurille haaveillemme.

2012 lopussa rahoitus myönnettiin ja pääsimme rakentamaan tiimiä ja teknologiaa toden teolla. Seuraavan kahden vuoden aikana olimme päässeet teoriasta käytäntöön ensin simulaattorien ja laboratoriomallien kautta ja lopulta lentotesteihin ilmasta käsin. Onnekaasti avaruuslaboratorion **Skyvan-lentokone** oli vielä olemassa ja Jaan järjesti budjetistaan tilaa testeillemme. Syksy 2014 menikin Otaniemen ja Malmin väliä sahatessa, välillä ilmassa pyrähtäen. Ensimmäiset SAR-kuvat omasta sensoristamme saimme aikaiseksi jäänmurtajista Katajanokalla ja tottakai Otakaari 5:n rakennuksesta, lentokorkeutena huikeat 1000 metriä.

Vaikka tuosta pisteestä satelliittiin päästäksemme mittausetäisyyden piti vielä kasvaa 800-kertaiseksi ja alustan nopeuden lähes 200-kertaiseksi, alkoi olla selvää, että tiimillä on kyky nämäkin hyppy saavuttaa. Vuoden 2015 alussa prototyypiprojektin budjetin loputtua tehtiin seuraava hyppy tuntemattomaan, eli spin-off yliopistolta yritykseen. Tämän siirtymän oli toki tarkoituskin tapahtua – jo alusta asti oli tiedossa että haluamme rakentaa globaalin liiketoiminnan tämän teknologian varaan – mutta jännittävää se silti oli. Ensimmäinen tekomme uudella yrityksellä ja nollan euron tilipussilla oli järjestää merijään havaitsemisen **testikampanja suurelle öljy-yhtiöasiakkaalle**, mihin tarvitsimme vuokralle niin jäänmurttajan kuin lentokoneenkin ennen kuin tuloksia saatiin ja laskuja päästiin lähettelemään, eli innovatiivisuutta tarvittiin myös muualla kuin insinööritoiminnoissa.

Yrityksen ensimmäinen rahoitus tuli siis asiakkailta, mutta lentokoneeseen kelpaavasta prototyypistä ensimmäiseen satelliittiin, saati suureen konstellaatioon, oli vielä pitkä matka. Rahoitusta kasvuun kerättiin teknologiasijoittajilta **Piilaaksosta ja Suomesta**, ja sen lisäksi ensimmäisen satelliitin prototyypin riskiä jakamaan saatiin myös Tekes- ja EU Horisontti 2020 -ohjelmia. Vuosina 2015-2017 tavoite oli selkeä: **maailman pienimmän SAR-kuvaavan satelliitin suunnittelu**, rakentaminen ja laukaisu – ilman että rahat loppuvat matkalla. Verrattuna kansainvälisiin avaruusohjelmiin budjetti oli varsin minimaalinen, mutta toisaalta jatkon kannalta oli tärkeää että satelliitista tulee kustannustehokas, sillä muuten niitä ei voi isossakaan mittakaavassa laukaista tarvittavaa parvea.

Prototyypivaiheen huipentuma, ICEYE:n ensimmäinen satelliitti **ICEYE-X1** pääsi avaruuteen tammikuussa 2018 Intian avaruusjärjestön ISRO:n PSLV-kantoraketilla. Siitä tuli historian toinen Suomeen rekisteröity satelliitti, Aalto-1:n päästyä avaruuteen 2017 kesällä. ICEYE-X1 oli maailman ensimmäinen alle 100 kg painava SAR-satelliitti ja se viimeistään saattoi suomalaisen avaruusteknologian maailman valokeilaan.

“SAR mikrosatelliiteissa? Sitä ajateltiin mahdottomuutena - ICEYE on tehnyt sen”, kirjoitti Twitteriin silloinen ESA ESRIN-johtaja Josef Aschbacher.

ICEYE oli nyt myös Suomen ensimmäinen kaupallinen satelliittioperaattori ja kuin sattumalta, Suomen ensimmäinen laki avaruustoiminnasta astui voimaan presidentti Niinistön allekirjoituksella samana päivänä.

Seurasi edelleen kovaa työtä. Todistettu avainteknologia ja maailman jatkuvasti kasvanut tarve todennettuun reaaliaikaiseen tietoon on siitä eteenpäin osoittautunut tehokkaaksi yhtälöksi. 2018 - 2025 aikana yritys on kerännyt yli 500 miljoonaa dollaria kansainvälistä rahoitusta ja satelliittikonstellaatio on kasvanut nopeasti, niin satelliittien määrässä kuin sensorien suorituskyvyssä. Tänä päivänä ICEYE operoi **maailman suurinta SAR-satelliittien parvea**, joka tarjoaa dataa ja analytiikkaa eri toimijoille tuntien aikaskaalassa. Vuoden 2025 tammikuussa ICEYE on laukaissut jo **44 satelliittia** avaruuteen ja suunnitelmissa on vähintään kymmeniä lisää vuosittain tästä eteenpäin.

Asiakaskunta on kasvanut alkuperäisestä jäänseurantaideasta varsin laajaksi ja monipuoliseksi. Yrityksen palveluita hyödyntävät mm. valtiot, vakuutusyhtiöt, humanitaariset järjestöt ja tutkimuslaitokset. Kyky vastata tietotarpeeseen olosuhteista ja päivänajasta riippumatta tuntien viiveellä missä vaan maailmassa on osoittautunut arvokkaaksi asiaksi. ICEYE:n dataa käytetään mm.

luonnonkatastrofien seurantaan, infrastruktuurin valvontaan, meriliikenteen turvallisuuden parantamiseen ja ympäristönsuojeluun. Merkittäviä humanitaarisia ja taloudellisia hyötyjä on päästy tuottamaan erityisesti tulvien, metsäpalojen ja tuulituhojen reaaliaikaisella raportoinnilla, joihin analyysituotteiden kehitys on pisimmällä. Tiedontarve on useimmiten suurin juuri silloin kun hätäkin on suurin. Kaikista äärimmäisin esimerkki viime aikoina on sota Ukrainassa – jo varsin aikaisin Venäjän hyökkäyssodan alettua teimme periaatepäätöksen, että emme voi tästä olla sivussakaan ja siten olemme olleet tarjoamassa tietoa ja asiantuntijapalveluita Ukrainan puolustustaistelun tarpeeseen jo vuosien ajan.

Se, että reilussa kymmenessä vuodessa olemme päässeet tekkarien haaveilusta maailman tapahtumiin konkreettisesti vaikuttavaksi toimijaksi ja samalla **yli 700 hengen** työnantajaksi, on varsin pysäyttävä ajatus. Tästä kunnia kuuluu varsin laajalle joukolle ihmisiä. Teknologia-alalla tunnetaan hyvin ajatus, että kaikessa kehityksessä seisomme aina edellisten jättiläisten harteilla. ICEYE:n tapauksessa harteita tarvittiin myös muilta kuin teknologian osalta, jotta kaksikymppiset opiskelijat saivat mahdollisuuden lähteä rakentamaan mahdolltomaksi ennustettua ratkaisua. Nyt voimme toivottavasti jo osaltamme leventää suomalaisia harteita myös tuleville hankkeille kurkottaa korkeammalle.

Eikä ICEYE vielä läheskään valmis ole. Onnekkaiden sattumien sarja tuottaa myös tunteen vastuusta ajaa kasvu päätyyn asti.

Uskomme, että tällä teknologialla ja tiimillä meillä on todellinen mahdollisuus saada luotua maailmaan uusi digitaalisen infrastruktuurin avaintoimija, jossa objektiivinen reaaliaikainen tieto yhdistettynä mihin tahansa liiketoimintaan tuottaa uusia toimivia markkinoita, turvallisuutta ja tehokkuutta jopa miljardeille ihmisille globaalisti. Tavoitteenamme on saada aikaan saman kertaluokan vaikutuksia, kuten esimerkiksi satelliittinavigaatiosta, josta on tullut oletettu osa jokapäiväistä elämää ja liiketoimintaa. Siinä on suomalaiselle avaruusosalalle vielä muutama magnitudi kasvunvaraa tarjolla. Omasta puolestamme olemme noin tuplanneet henkilöstömme ja liikevaihtomme tähän mennessä vuosittain viimeisen vuosikymmenen ajan, joten miksipä tätä trendiä ei voisi jatkaa vielä toisen. Ennen omaa eläkeikääni itse asiassa niitä mahtuisi vielä kolme.

ICEYE ja Euroopan avaruusjärjestö ESA

ICEYE:n suhde ESA:an on moninainen: palveluiden toimittaja, palveluiden asiakas, kehitysohjelmien partneri. Nykyään avarusteollisuuden eurooppalaisen kasvun näkökulmasta olemme myös tärkeä neuvonantaja. ESA on tukenut ICEYE:n kehitystä alusta asti ja yhteistyö on jatkunut tiiviinä läpi vuosien.

Eurooppalaiset mikrosatelliittiohjelmat kuten ERS, SMOS tai Sentinel-1 ovat kaikki osaltaan niitä teknologisia harteita jotka Euroopassa ovat mahdollistaneet kukin aikanaan maailman johtavan teknologian kehityksen ja joiden perinnön päälle ICEYE SAR-tutkakuvauksen perusteet rakentuvat.

ESA on myöntänyt ICEYE:lle rahoitusta useisiin projekteihin, jotka ovat auttaneet yritystä kehittämään teknologiaansa ja laajentamaan toimintaansa. ESan tuella pilotoitiin ICEYE:n konstellaation käyttöä

EMSA:n (**European Maritime Safety Agency**) tarpeisiin tunnistaa ja seurata öljypäästöjä Välimerellä. Yksi lähiaikojen merkittävimmistä yhteistyöprojekteista on ollut Kreikan kansallisen satelliittiprojektin tukeminen. ICEYE toimittaa hankkeessa SAR-satelliitteja ja dataa Kreikalle ja yhteistyössä ESA:n kanssa auttaa laajentamaan kreikkalaista avaruussektoria.

ESA on myös valinnut ICEYE:n mukaan useisiin tärkeisiin ohjelmiin, kuten **Copernicus-ohjelmaan** ja EU:n pelastuspalvelumekanismiin. Copernicus-ohjelmassa ICEYE:n SAR-dataa käytetään mm. tulvien ja metsäpalojen seurantaan. EU:n pelastuspalvelumekanismissa ICEYE:n dataa käytetään mm. luonnonkatastrofien uhrien auttamiseen.



Kuva 25. Taiteilijan näkemys ICEYE-satelliitista Skandinavian päällä. (Iceye)

ESA ja ICEYE ovat tehneet yhteistyötä myös uusien teknologioiden kehittämiseksi. Yksi esimerkki tästä on koneoppimisen soveltaminen SAR-dataan. ICEYE on kehittänyt algoritmeja, jotka pystyvät automaattisesti tunnistamaan ja luokittelemaan kohteita SAR-kuvista. Tämä teknologia on erittäin hyödyllinen esimerkiksi luonnonkatastrofien seurannassa ja infrastruktuurin valvonnassa. ICEYE on myös pyrkinyt aktiivisesti hyödyntämään muissa ESA-ohjelmissa kehitettyjä teknologioita, esimerkiksi satelliittien propulsiota ionimoottoreilla.

Pitkä yhteistyö on ollut erittäin hedelmällistä molemmille osapuolille. ESA on saanut käyttöönsä ICEYE:n innovatiivista teknologiaa ja ICEYE on saanut ESA:lta arvokasta tukea ja rahoitusta. Yhteistyö on auttanut ICEYE:tä kasvamaan ja kehittymään yhdeksi maailman johtavista New Space -yrityksistä.

ICEYE:n tarina on inspiroiva esimerkki suomalaisesta yrittäjyydestä ja innovaatiokyvystä. Yritys on osoittanut, että pienestäkin maasta voi ponnistaa globaaliksi toimijaksi avaruusteknologian alalla. ICEYE:n menestys on myös rohkaissut muita suomalaisia yrityksiä investoimaan avaruusteknologiaan ja luomaan uusia innovaatioita.

ICEYE:n tulevaisuus näyttää valoisalta. Yritys suunnittelee laajentavansa satelliittikonstellaatiotaan entisestään ja kehittävänsä uusia palveluita ja sovelluksia SAR-datalle. ICEYE:n odotetaan jatkavan kasvuaan ja vahvistavan asemaansa yhtenä maailman johtavista New Space -yrityksistä. ICEYE:n visio on luoda merkittävä uusi digitaalisen infrastruktuurin kerros maailman kansalaisille, joka tarjoaa luotettavaa reaaliaikaista tietoa, turvallisuutta ja tehokkuutta mihin tahansa toimintaan maapallolla.

Pekka Laurila, strategiajohtaja ja perustajajäsen, ICEYE Oy

ESAn hallinto

Miksi Suomi ei liittynyt aiemmin ESAan

Euroopan avaruusjärjestö (ESA) perustettiin 31.5.1975 avatulla yleissopimuksella, joka tuli voimaan 1980. ESA jatkoi edeltäjiensä (ELDO, ESRO) toimia koordinoitakseen ja vahvistaakseen eurooppalaista avaruustutkimusta, mutta niitä vahvempana.

Suomella oli pitkä matka eurooppalaiseen avaruusjärjestöön ESAan useista syistä, jotka liittyvät sekä maamme taloudelliseen tilanteeseen, että avaruusalan kehittymiseen Suomessa. Avaruustutkimus ja -teknologia ovat olleet erittäin kalliita aloja. Ennen 1990-lukua Suomi oli keskittynyt taloudellisten resurssiensa suuntaamiseen muihin aloihin, kuten teollisuuden kehittämiseen, koulutukseen ja sosiaalipalveluihin. Avaruusosalalle sijoittaminen ei ollut Suomen prioriteettilistan kärjessä, koska avaruusalan merkitystä maan taloudelle ja turvallisuudelle ei vielä ymmärretty.

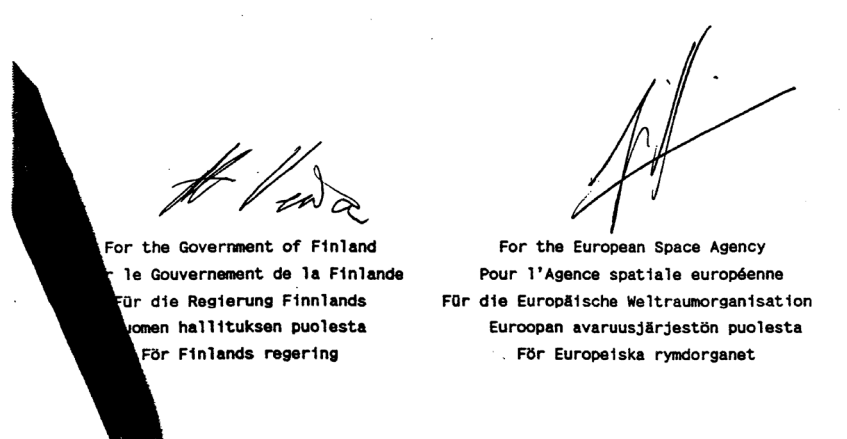
Suomi alkoi kehittää avaruusalan osaamistaan ja teknologiaa myöhemmin kuin monet muut Euroopan maat. Avaruusalan tutkimus ja teollisuus olivat pieniä Suomessa 1980-luvulla, ja kansallisia resursseja ja teknologista tietämystä oli rajoitetusti. Tämä johti siihen, että Suomi osallistui avaruustoimintaan aluksi pienessä mittakaavassa, jolloin rooli oli rajatumpi. Liitännäisjäsenyys ESAssa mahdollisti Suomen osallistumisen joihinkin sen ohjelmiin ilman täysjäsenyyden tuomia taloudellisia sitoumuksia. Tämä toimi välivaiheena ennen täysjäsenyyttä, kun osaamista ja resursseja kasvatettiin.

Poliittiset ja strategiset taustat

Suomen liittyminen Euroopan avaruusjärjestöön vaati poliittista päätöstä ja strategista sitoutumista. Päätös ESA-jäsenyydestä kypsyi 1990-luvun alkupuolella, kun maan teknologiapolitiikka ja kansainvälinen asema kehittyivät. 1990-luvulla Suomen taloudellinen ja teknologinen tilanne parani, ja hallitus alkoi nähdä avaruusalan strategisena ja taloudellisena mahdollisuutena.

Suomen liittyminen Euroopan unioniin vuonna 1995 oli myös merkittävä tekijä. EU-jäsenyys vahvisti Suomen halua integroitua tiiviimmin Euroopan yhteistyöelimiin. Aiemmin Suomi oli ollut varovainen liittymään moniin monikansallisiin järjestöihin, mutta EU-jäsenyyden myötä maan kansainvälinen rooli kasvoi, mikä lisäsi kiinnostusta ja valmiutta liittyä ESAan.

ESA:ssa oli liittymisvaiheessa vielä ennakkoluuluja Suomen liittymistä kohtaan. Liitännäisjäsenenä Suomi ei saanut osallistua kokouksiin ja alkuvaiheessa oli vaikea saada kaikkia tarvittavia dokumentteja. Näiden tekijöiden vuoksi Suomi liittyi ESA:n vasta vuonna 1995, kun olosuhteet olivat suotuisimmat ja maa pystyi sitoutumaan täysimittaiseen osallistumiseen Euroopan avaruushjelmassa.



Kuva 26. Liittymissopimuksen allekirjoittajat v 1994⁵

Täysjäsenyyden myötä Suomelle avautui mahdollisuudet ja oikeudet osallistua kaikkeen järjestön toimintaan ja ohjelmiin. Liittymispäivästä alkaen järjestöä koskevat yleissopimuksen määräykset sekä kaikki neuvoston toimenpiteet ovat olleet myös Suomea sitovia. Täysivaltaisena jäsenenä Suomi on samassa asemassa kuin muut jäsenvaltiot neuvoston, ESA:n toimielinten, päätösten, päätöslauselmien ja muiden toimien ja järjestön tekemien sopimusten osalta.

ESA:n kuuluu tänä päivänä kaikkiaan 23 jäsenmaata. Lisäksi muutamat maat ovat liitännäissopimuksella ESA:ssa. Yleissopimuksen perusteella mikä tahansa valtio voi liittyä yleissopimukseen muiden jäsenvaltioiden yksimielisellä päätöksellä. Yksimielisyys on myös korostetussa asemassa yleissopimuksen ehdoissa. Ehtojen muuttaminen vaatii mm. kaikkien jäsenmaiden yksimielisen hyväksymisen ja siksi Suomi pienenä maana on saanut tasavertaisen mahdollisuuden vaikuttaa mm. ESA:n teollisuuspolitiikkaan sekä asemaan avaruusjärjestössä suurempien valtioiden rinnalla.

For Peaceful Purposes

ESA:n tarkoituksena on ylläpitää ja edistää avaruustutkimusta, tekniikkaa ja niiden avaruussovellutuksia koskevaa **yksinomaista rauhanomaista yhteistyötä Euroopan valtioiden välillä tavoitteenaan tieteelliset sovellutukset ja toiminnalliset avaruusjärjestelmät**. Tarkoituksena on toteuttaa sellaisia mittavia avaruusprojekteja joihin yksittäisellä jäsenvaltiolla ei ole mahdollisuuksia. ESA:n tarkoitus ja päämäärän toteutus on sisällytetty ESA:n ohjelmiin, teollisuuspolitiikkaan sekä aina yksittäisiin hankkeisiin ja sopimusehtoihin asti.

⁵ [Liittymissopimus](#)

ESA:n teollisuuspolitiikka

ESA:n toiminnan kulmakivenä on ollut teollisuuspolitiikka, jonka perustalle ESA:n tähänastiset saavutukset ovat pohjautuneet. Sen keskeiset tavoitteet ovat olleet seuraavat:

- ESan ohjelmien tehokas toteuttaminen
- jäsenmaiden avarusteollisuuden kilpailukyvyn mahdollistaminen
- oikeudenmukainen teollisuus palaute

Yksi ESA:n päätavoitteista on hankintojen avulla edistää eurooppalaisen teollisuuden kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla. Tämä on erittäin tärkeää sovellutusohjelmissa, etenkin tietoliikenteessä ja laukaisujärjestelmissä, joissa on globaalit kaupalliset markkinat. Myös kaukokartoitukseen on tullut kaupallisia mahdollisuuksia, ensin EU:n Copernicus ohjelman puitteissa, sitten laajetessa etenkin New Space-toimintaan. ESA:n avaruustieteen ohjelma mahdollisti suomalaisen teollisuuden mukaantulon ja kehittänyt teknologista kilpailukykyä ja luonut osaamista myös kaupallisille markkinoille.

New Space eli pienet mutta suorituskykyiset satelliitit avasivat markkinat yksityisen sektorin toimijoille ja startup-yrityksille. ESA on mahdollistanut startup-yritysten piensatelliittien lähettämisen Arianen kylkiäisenä ja teknologien tuen eri ohjelmissa.

ESA:n ohjelmat toteutetaan "fair return"-periaatteella, jossa eri maiden yritykset kilpailevat ESA:n hankintojen toimituksista, mutta samalla ESA huolehtii siitä, että kukin jäsenmaa saa tilauksia osallistumisosuutensa suhteessa. Tämän saavuttamiseksi hankintoja kilpailutetaan tarvittaessa rajoitetusti vain niiden maiden kesken, joilla on teollisuus palautevajeita.

Suomelle aivan oleellista onkin ollut juuri se, että Suomelle saadaan riittävä teollinen palaute ja tämä on kirjattu Suomen liittymissopimukseenkin. Käytännössä suuri osa ESan tilauksista tehdään vapaan kilpailun kautta. Täten yrityksen ja maan tilauskanta yleensä heilahtelee hyvä ja huonon välillä. Suomi - ja moni muu pieni ja isokin maa - on vuosien varrella ESan erityistoimien avulla ja sopimuksin huolehtinut teollisesta palautteestaan. Tieto ja taito karttui jo 1990-luvulla parantaen kilpailukykyä.

Miten ESA toiminnat on organisoitu Suomessa

Kun Suomi liittyi ESan, neuvottelut hoiti silloinen Kauppa- ja teollisuusministeriö. Pian tämän jälkeen Tekesiin (Teknologian kehittämiskeskus) perustettiin avaruusyksikkö. Tekesin tehtävänä oli aktivoida yrityksiä osallistumaan ESA-hankkeisiin. Tekes, myöhemmin Business Finland, rahoitti useimpien ESA-ohjelmien osallistumisen. ESan pakollisten toimintojen rahoitusosuuksien hallinta siirrettiin vuonna 2020 Työ- ja elinkeinoministeriön alaisuuteen.

Tekesin sijaan valinnaisista ja vapaaehtoisista toiminnoista vastaa nykyään Business Finland. ESan budjetti ja ohjelmakausi ovat kolmevuotisia. Valtioneuvosto hyväksyy Suomen osallistumisen ESan toimintoihin ja rahoitukseen sekä neuvotteluvaltuudet etukäteen. Näistä päätetään ESan ministerineuvoston kokouksissa joka kolmas vuosi, joissa jäsenvaltioiden avaruusasioista vastaavat ministerit ovat läsnä. Seuraavan kerran ESan budjetista sekä tavoitteista ja strategioista päätetään marraskuussa 2025. Myös ESan uudistumiskyky punnitaan ministerineuvoston neuvotteluissa. Vahva lobbaus on jo käynnissä.

ESA:n kokonaisbudjetti on tällä hetkellä noin 8 miljardia euroa. Suomen osuus pakollisista toiminoista on 1,36 %. eli noin 12 miljoonaa euroa vuodessa. Tämä summa maksetaan riippumatta siitä, haluammeko osallistua ESA:n tiedeohjelmiin tai raketiteknologian kehittämiseen. On kuitenkin tärkeää korostaa, että saamme tämän summan vähintäänkin takaisin teollisena palautteena ja bonuksena tietotaitona.

Suomella on kansallisena koordinoituelimenä [avaruusasiain neuvottelukunta](#), jonka jäseninä ovat kaikki avaruustoimintoihin osallistuvat ministeriöt. Hajautettua järjestelmää koordinoi avaruusasiain [neuvottelukunnan sihteeristö](#), joka koostuu ministeriöiden ja avaruustoimintoja toimeenpanevista virkamiehistä. Työ- ja elinkeinoministeriössä on päätoiminen sihteeristö. Neuvottelukunnalla on teknologiapohjaisia poikkihallinnollisia jaostoja, jotka käsittelevät säännöllisesti ESA:n toimintoja ja yleistä avaruuspolitiikkaa. Neuvottelukunta julkaisee vuosittain avaruustoimintojen raportin. Niinpä eduskunnalle esitetyt tavoitteet ja talousarvioissa esitetyt budjetit on neuvoteltu yhteistyössä ja hyväksytty poikkeuksitta vuosien ajan.

Suomalaisen toimintakulttuurin keskeinen piirre, päätöksenteon yksimielisyyden tavoittelu ja neuvottelumenettelyt, ovat verrattavissa ESan toimintakulttuuriin, jossa myös pyritään yksimielisyyteen suurissa päätöksissä. Avaruushankkeet ovat niin kalliita ja laajoja, että ne vaativat vuosikausien ennakkosuunnittelua ja sitoutumista sekä ESA:n tasolla että jäsenmaissa. Yksimielisyys Suomen tavoitteista onkin lähes aina saavutettu. On kietovaa ajatella, että nyt tehtyihin päätöksiin, esim. aloittaa uuden taivaankappaleen tutkiminen, vaaditaan sukupolvien työ ja tulokset voivat olla vasta vuosikymmenien päästä käytettävissä. Monelle tutkijalle työ kauaskantoisissa avaruusprojekteissa on koko elämän mittainen tehtävä.

Minne mennään ESA: Suomalaisen yritysten tulevaisuus ESA:ssa

Suomalaisen yritysten tulevaisuus Euroopan avaruusjärjestön hankkeissa näyttää lupaavalta useista syistä. Suomi on onnistunut rakentamaan vahvan avaruusteknologian osaamiskeskittymän, ja maalla on useita yrityksiä, jotka pystyvät tarjoamaan innovatiivisia ratkaisuja ESA:n tarpeisiin. Tässä on joitakin keskeisiä tekijöitä ja mahdollisuuksia, jotka vaikuttavat suomalaisen yritysten tulevaisuuteen ESA:ssa.

Suomalaiset startupit voivat hyödyntää kasvavaa kiinnostusta avaruusalan investointeihin ja rahoitukseen. ESA:n ja Euroopan komission tarjoamat rahoitusohjelmat voivat tarjota merkittävää tukea innovatiivisten projektien toteuttamiseen.

Rahoituksen saaminen voi kuitenkin olla kilpailtua, ja yritysten on pystyttävä osoittamaan selkeä liiketoimintamalli ja tekninen toteutettavuus.

ESA:n satelliittien tuottaman datan hyödyntäminen on kasvava ala. Suomalaiset yritykset, jotka keskittyvät datan analysointiin ja sovellusten kehittämiseen (esimerkiksi ympäristön monitorointiin, ilmastonmuutoksen seurantaan ja kaupunkisuunnitteluun), voivat olla avainasemassa ESA:n datan hyödyntämisessä. Tämä tarjoaa erityisiä mahdollisuuksia startup-yrityksille, jotka kehittävät koneoppimiseen ja tekoälyyn perustuvia ratkaisuja.

Kestävä kehitys ja avaruusromun hallinta

Kestävä kehitys ja avaruusromun hallinta ovat nousevia teemoja ESA:ssa. ESA:n pyrkimys vähentää avaruusromua ja kehittää uusia menetelmiä satelliittien hallintaan luo mahdollisuuksia innovatiivisille suomalaisille teknologioille. Suomalaiset yritykset, kuten Aurora Propulsion Technologies, jotka kehittävät ratkaisuja avaruusalusten hallintaan ja avaruusromun vähentämiseen, voivat löytää kasvavia markkinoita.

Koulutus ja osaamisen kehittäminen

Suomalaiset yliopistot ja tutkimuslaitokset, kuten Aalto-yliopisto ja Ilmatieteen laitos, ovat avainasemassa koulutettaessa uusia sukupolvia avaruusinsinöörejä ja -tutkijoita. Tämä osaaminen voi suoraan hyödyttää suomalaisia yrityksiä, jotka hakevat asiantuntijoita ja innovatiivisia ideoita.

Alan nopea kehitys vaatii jatkuvaa koulutusta ja osaamisen päivittämistä, jotta Suomi voi pysyä kilpailukykyisenä globaalissa avaruusteknologiassa.

Tulevaisuudennäkymä

Suomalaisten yritysten tulevaisuus ESA:ssa näyttää lupaavalta, erityisesti niille, jotka pystyvät tarjoamaan innovatiivisia ja kestävä kehityksen mukaisia ratkaisuja. Teknologian kehitys, ESA:n lisääntyvät kansainväliset yhteistyöhankkeet ja uusien liiketoimintamallien kehittäminen tarjoavat lukuisia mahdollisuuksia. Menestyäkseen suomalaisten yritysten on kuitenkin pystyttävä jatkuvasti innovoimaan ja sopeutumaan nopeasti muuttuviin markkinoihin.

Kari Tilli, Tekes - Eurooppalaista avaruusyhteistyötä edistämässä

Istuin joulukuussa 1986 Euroopan Avaruusjärjestön ESan päämajan aulassa Ilmatieteen laitoksen pääjohtajan kanssa. Kaukokartoitusohjelmaneuvoston kokous oli alkanut Mario Nikisin suuressa neuvotteluhuoneessa, ja odotimme kutsua kokoukseen.

Meillä oli oikeus osallistua ohjelmaneuvoston kokouksiin, mutta miksi emme olleetkaan mukana kokouksessa?

Suomi oli liittynyt kaukokartoitusohjelmia valmistelevaan teknologiaohjelmaan. Oikeus osallistumisesta kokouksiin oli määritelty sopimuksessa: saimme osallistua vain kokouksen niihin osiin, joissa Suomi on mukana. Ihmettelimme, mitä tämä voisi tarkoittaa käytännössä: puheenjohtajan valintaa, asialistan hyväksymistä vai ainoastaan teknologiaohjelmaa, johon olimme liittyneet?

Tilanne oli epäselvä ja epätyytyttävä Suomen delegaation kannalta. Jos sopimusta tulkitaan pilkulleen, merkitsee se meille kahden päivän odottelua aulassa ja osallistumista ehkä 30 minuutin ajan teknologiaohjelman asioiden läpikäyntiin. Teknologiaohjelma oli vasta alkamassa, joten juuri mitään raportoitava tai keskusteltavaa ei ollut.

Odotimme aulassa saamamme ohjeen mukaisesti. Kokousta edeltävänä päivänä olimme tavanneet ESan päälakimiehen ja kysyneet häneltä, miten meidän tulisi menetellä.

Meidän onneksemme saimme lyhyen odottelun jälkeen kuulla, että ohjelmaneuvosto hyväksyi Suomen delegaation osallistumisen kokouksiin ilman rajoituksia.

Suomi oli sittenkin tervetullut eurooppalaiseen avaruusyhteisöön. Uskoimme, että ohjelmaneuvoston ruotsalainen puheenjohtaja tuki varauksetta Suomen osallistumista ja vaikutti osaltaan päätökseen.

Miksi Suomen sopimukseen oli liitetty tämä rajoitus? Suomi oli avaruusalalla marginaalinen ja jäsenmaille tuntematon toimija. Järjestön ja jäsenmaiden puolelta haluttiin ehkä varmistaa, että ongelmatilanteissa Suomen osallistumista voitaisiin rajoittaa. Lause voidaan tulkita myös luottamuksen puutteeksi.

Luottamuksen puute oli tullut esille jo Suomen liitännäisjäsenyysneuvotteluissa. Voisi olettaa, että liittyminen olisi suoraviivainen asia ja sopimuksissa voitaisiin käyttää Norjan ja Itävallan vastaavia liitännäisjäsenyys sopimuksia. Neuvottelut etenivät kuitenkin hitaasti.

Epäluottamus Suomea kohtaan tuli selkeästi esille, kun Suomen neuvotteluvaltuuskunta esitteli ESan jäsenmaille Suomen aikeita kahdenkeskisissä tapaamisissa. Suhtautuminen vaihteli tällöin epäilevästä asenteesta ystävälliseen vastaanottoon.

Neuvottelut edistyivät vasta, kun ESan pääjohtaja ja järjestön neuvotteluvaltuuskunta vierailivat Suomessa. Osa järjestön henkilöistä tunsu Suomen hyvin ja oli vierailut maassamme aiemmin. Uskon kuitenkin, että vierailu poisti lopullisesti Suomeen kohdistuvia epäluuloja.

Toinen tärkeä askel oli Suomen ehdotus liittymisestä ESAn pakolliseen tiedeohjelmaan ja uuteen kaukokartoitusohjelmien valmisteluohjelmaan. Tämä toive korosti Suomen halua vahvistaa erityisesti tiede- ja tutkimusyhteistyötä, mikä on varsin neutraali aihepiiri, ilman teollisuuspoliittisia ristiriitoja.



Kuva 27. ESAn pääkonttori ennen 2020-luvun remonttia.

Kansainvälinen T&K-yhteistyö oli niukkaa 1980-luvulla ja toimijana olimme siksi varsin tuntematon. Mahdollisuuksia oli myös tarjolla vähän. Tästä syystä suomalainen teollisuus tuki vahvasti pyrkimyksiä liittyä kaikkiin mahdollisiin yhteistyöohjelmiin.

Suomen marginaalinen asema ja luottamuksen puute poliittisella tasolla tulivat uudelleen esille, kun Suomea ei kutsuttu aluksi mukaan Ranskan aloitteesta käynnistettyyn teollisen yhteistyön kannalta tärkeään EUREKAan. Tämä oli suuri pettymys suomalaiselle tiede- ja teknologiayhteisölle. Tilanteen korjaaminen edellytti korkeantason keskusteluja, joissa Suomen liitännäisjäsenyyttä ESAssa käytettiin esimerkkinä Suomen pyrkimyksistä ja kyvyistä.

Liitännäisjäsenyyden toteuduttua oli tärkeää päästä täysillä mukaan eurooppalaisen tiede-, teknologia- ja innovaatioyhteisöön. Meidän piti osoittaa olevamme luottamuksen arvoisia ja päteviä ja luotettavia yhteistyökumppaneita.

Alusta alkaen tutkijamme menestyivät ESAn tutkimusaihekilpailuissa ja pääsimme rakentamaan mittalaitteita järjestön tiedesatelliitteihin.

Delegaatiotasolla päätimme kutsua ESAn ohjelmanevostoja ja järjestön ohjelmajohtajia tutustumaan Suomeen. Erityisen tärkeää oli luottamuksellisten suhteiden rakentaminen järjestön sihteeristöön, joka on avainasemassa teollisuustilausten edistäjänä.

Teollisuuden osallistumista tuettiin konkreettisesti kutsumalla myös eurooppalaista avaruusalan teollisuutta tutustumaan suomalaisiin yrityksiin. ESAn suuret hankkeet toteutetaan laajan teollisuuskonsortion voimin. Vierailujen avulla konsortioiden vetäjäyritykset kartoittivat suomalaisille sopivia työpaketteja. Tämä on välttämätöntä, koska ESAn tarjouspyynnöissä edellytetään

hahmotelmaa jäsenmaiden teollisuuden osallistumisesta ja teollisuustilausten jakautumasta eri maiden kesken.

Mielestäni näiden vierailuiden järjestämisessä onnistuimme hyvin.

Toimin täysjäsenyyden toteuduttua ESan neuvostossa Suomen delegaation johtajana. Neuvosto käsitteli kaikkia ESan ohjelmia, joten kiinnostavia aiheita ja työtä oli runsaasti. Opin arvostamaan järjestön sihteeristön ammattitaitoa ja muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta äänestimme sihteeristön ehdotusten hyväksymisen puolesta.

Halusimme neuvoston delegaatteina rakentaa toimivat ja läheiset suhteet ESan pääjohtajaan ja ohjelma-alueiden johtajiin. ESan teollisuuspolitiikan ryhmä oli tärkeä suomalaisen teollisuuden tilausten edistäjänä.

Suomen liitännäisyyskaudella tiede- ja tutkimushankkeisiin osallistuminen käynnistyi ripeästi. Teollisuustilauksia saatiin kuitenkin niukasti mahdollisuuksiin verrattuna. Syynä oli luonnollisesti Suomen teollisuuden vähäinen kokemus avaruuslaitteiden rakentamisesta.

Täysjäsenyyden alkaessa 1995 Suomen teollisuustilauksissa oli merkittävä alijäämä. Liitännäisjäsenyyskaudella ESA ei taannut teollisia tilauksia Suomelle, mutta täysjäsenenä tilanne muuttui.

ESAn sihteeristö suhtautui hyvin rakentavasti Suomen teollisuuden haasteisiin ja alijäämään. Täysjäsenyyden alussa käynnistettiin järjestön sihteeristön ja Suomen delegaation eli käytännössä TEKESin asiantuntijoiden välinen yhteinen Finland Task Force. Tavoitteena oli ideoida ja koordinoita uusien tilausten saantia teollisuudelle ja yritysten valmiuksien kehittämistä. Yhteistyö oli työryhmässä hyvin lämminhenkistä.

Vastaavaa yhteistyötä jatkettiin myöhemmin ESan teollisuuspolitiikan johtajan ja hänen ryhmänsä kanssa. He vierailivat TEKESin kutsumana useita kertoja Suomessa ja keskustelut olivat aina hyvässä ja rakentavassa hengessä.

Keskeistä oli luottamuksen rakentaminen ja osoittaa, että suomalaiset toimijat pystyvät rakentamaan vaativia avaruuslaitteita ja osallistumaan laajoihin hankekonsortioihin sekä tutkijoina että teollisuuspartnereina.

Jäsenyys Euroopan avaruusjärjestössä on tukenut suomalaisen tieteen ja tutkimuksen sekä innovaatiotoiminnan kansainvälistymistä. Avaruushankkeet ovat kansainvälisiä ja edellyttävät laaja-alaista yhteistyötä, jossa osapuolten on luotettava sekä tutkimus- että yrityskumppaneihinsa.

ESAn ohjelmat ovat tiede- ja tutkimuspainotteisia. Niiden kautta yritykset ovat luoneet valmiuksia osallistua satelliitteja operoivien järjestöjen hankintoihin ja kaupalliseen avaruustoimintaan.

Kari Tilli toimi teknologia- ja liiketoimintajohtajana Tekesissä. Hänen työhistoriansa ulottuu ESA-yhteistyön alkuvaiheisiin. Tilli oli Suomen jäsenyyttä ESAssa valmistelevalle asiantuntijavaltuuskunnan jäsenenä vuonna 1985 ja Suomen neuvotteluvalluuskuntien asiantuntijajäsenenä vuosina 1985–1986 sekä 1993–1994. Tilli toimi Suomen delegaattina ESan neuvostossa vuodesta 1994 ja delegaation johtajana vuosina 1997–2015 sekä delegaattina kaukokartoitusohjelman neuvostossa ja teollisuuspolitiikan komiteassa.

Petri Peltonen, TEM - Very old space – Old space – New space

Sattuma johdatti 1986 Tampereen teekkarin diplomityöntekijäksi Hollming Oy Elektronikkaan ja yhteen Suomen ensimmäisistä avaruusprojekteista, jossa yksityinen yritys oli isossa roolissa avaruustekniikan kehittäjänä ja valmistajana. Kyseessä oli ”very old space” hanke: Neuvostoliiton tiedeakatemian sittemmin huono-onninen Phobos-luotain ja sen laser-mittalaite LIMA-D. Sen kehittämiseen ja tieteelliseen yhteistyöhön osallistui Suomen Ilmatieteen laitos. Minun tehtäväkseni tuli suunnitella ja toteuttaa tuon tiedeinstrumentin tarvitsemia emoaaluksen sähköisiä toimintoja simuloiva maatukilaitteisto. Sain matkustaa useammankin kerran IBM PC -pohjaisen maatukilaitteen kanssa junalla Helsingistä Moskovaan IKI-instituuttiin LIMA-D:n tyhjiökammiotesteihin. Joka kerralla rautaesiripun rajaa ylittäessä sai jännittää: salaperäinen tekninen laite ja matkani tarkoitusperät herättivät epäilystä koppelakkisissa neuvostovirkailijoissa.

Suomi liittyi ESan liitännäisjäseneksi 1987. Tämä avasi uusia ovia länteen tieteessä, teknologiassa ja teollisessa yhteistyössä. Oma matkani jatkui Tampereelta 1989 ESTECiin Noordwijkiin ensin Young graduate -pestille ja tämän jälkeen varsinaiseen ESan henkilökunnan vakanssiin. Vuodeksi aiottu piipahdus venyi yli seitsemään vuoteen. Noina vuosina ESA kasvoi nopeasti ja tavoitteet olivat korkealla: laajojen satelliittiohjelmien ja kansainvälien avaruusaseman lisäksi suunnittelupöydällä oli jopa Hermes-avaruussukkula. Itse työskentelin Product Assurance-insinöörinä useissa satelliittiprojekteissa, Ariane 5:n kehityshankkeissa ja ESTECin testauskeskuksen toimissa. Työ ja vapaa-aika kansainvälisessä työyhteisössä oli kaikin puolin avartavaa ja palkitsevaa. Hyvin tutuksi tulivat myös silloiset eurooppalaiset ”old space” -yritykset kuten Aerospatiale, British Aerospace, Dornier, MBB, Contraves, Casa ja Alenia.



Kuva 28. ESan ESTEC-keskus Hollannin Noordwijkissä: tutkimusta ja satelliittien testausta. (ESA).

Vuonna 1996 koitti kohdallani paluu Suomeen ja Tekesiin. ESan täysjäsen Suomesta oli tullut vuotta aikaisemmin. Tekesille oli annettu tehtäväksi ESA-yhteistyön pääasiallinen hallinto ja ennen kaikkea suomalaisten yritysten, tutkimuslaitosten ja yliopistojen aktivointi osallistumaan ESan eri ohjelmiin. Maakohtaisen palautteen kaava jyvitti kullekin jäsenmaalle oman odotusarvoisen osuuden ohjelman teollisesta tilauskannasta. Tämän turvin kammettiin tilauksia myös suomalaisille yrityksille. Kyse oli kuitenkin staattisen eurooppalaisen "old space" -avaruuskakun jakamisesta: tilaa tai todellista tarvetta uusille tulokkaille ei aina ollut. Kaupallinen tuotteistaminen ja avaruusliiketoiminnan jatkuvuus olivat suomalaisille yrityksille näissä olosuhteissa vaikeaa.

Suomalainen erityisyys oli se, että ESA-yhteistyön toimeenpano osoitettiin monialaiselle teknologia- ja innovaatorahoittaja Tekesille. Useimmissa muissa maissa tehtävän hoiti oma kansallinen avaruusvirasto. Tekesin rahoituksen lähtökohta ESan ohjelmamaksujen kohdentamisessa ja kansallisissa avaruushankkeissa oli teknologialiiketoiminnan kehittäminen, avaruusdatan sovellukset ja toimialojen uudistaminen, ei niinkään näyttävät ja julkisuudessa otsikkotilaa saavat ESan astronauttihankkeet tai kantorakettien kehittämisohjelmat.

Avaruusalalla uusi vuosituhat toi tullessaan piensatelliitit ja entistä ketterämmän yrityslähtöisen avaruustoiminnan, "new space". Avaruus olikin yhtäkkiä saavutettavissa nopeasti ja huokeasti modulaarisilla cubesateilla. Tämä avasi täysin uuden ulottuvuuden suomalaisen avaruustoiminnan kehittämiselle; tällä tontilla ei tarvinnut taistella elintilasta vanhojen ja vakiintuneiden toimijoiden ja toimintatapojen kanssa. Mahdollisuuteen tartuttiin etenkin Otaniemen kampuksella. Ensimmäinen suomalainen satelliitti Aalto-1 laukaistiin 2010.

Samaan aikaan Suomessa lähti liikkeelle kunniahimoinen startup-yrittäjyyden ja yritysten uusi kantaalto. Modulaarinen piensatelliittiteknologia, nuorten yrittäjien halu haastaa avaruusalan vallitsevat toiminta- ja ansaintamallit sekä avaruusdatan nopeasti skaalautuvat uudet käyttökohteet tarjosivat murroskohdan. Suomesta tuli nopeasti yksi Euroopan kuumimpia avaruus-startup -keskittymiä, joka on tuottanut useita merkittävään kansainväliseen kasvuun yltäneitä ”New space” -yrityksiä. Avaruusosalalle ESA-jäsenyyden myötä odotettu kasvava avaruusliiketoiminta löytyikin sektorilta, jossa ESA ei ollut erityinen aloitteentekijä. Toisaalta menestyneet startupit käänsivät katseet Suomeen ja toimivat alkusysäyksenä myös ESan uudistumiselle.

Omat työurani johti kauppa- ja teollisuusministeriöön, sittemmin työ- ja elinkeinoministeriöön teknologia-, innovaatio- ja teollisuuspolitiikan askareisiin. Avaruusasiat olivat esillä osana laajempia kokonaisuuksia niin kriittisten teknologioiden ja teollisen kilpailukyvyn kehittämisessä Euroopassa kuin pohdittaessa ESan ja EU:n komission ja näiden toimielinten keskinäisiä valtasuhteita avaruussektorilla. Meillä Euroopassa ei osattu tai haluttu ymmärtää ”new spacen” muutosvoimaa, vaan rakennettiin edelleen vahvan valtiojohtoisen ja valtiorahoitteen avaruuspolitiikan varaan. Ero Yhdysvaltoihin on revennyt nopeasti: siellä ilmiömäisellä vauhdilla kehittyneet ja kasvaneet yksityiset ”new space” -yritykset ovat vuosikymmenessä ottaneet teknologiajohtajuuden oli sitten kyse kiertoradan saavuttamisesta, operatiivisista satelliittikonstellatioista ja jopa miehitetyistä avaruuslennoista.

Tarvitseeko Eurooppa tai Suomi tulevina vuosikymmeninä ESAa? Vastaus on ”kyllä, mutta”. Menestyäksemme tarvitsemme uudistuvan ja ketterän ESan, sellaisen, joka kykenee luopumaan vanhasta ja tarttumaan rohkeasti uuteen.

Petri Peltonen, alivaltiosihteeri, Työ- ja elinkeinoministeriö

Håkan Sandell, Tekes - Avaruusasioihin liittyvä työni 1967-2012

Opiskeluni ja työni ovat alusta alkaen liittynyt avaruuteen. Luin lehdestä muistaakseni jo vuonna 1954 että Neuvostoliitto aikoo laukaista avaruuteen maata kiertävän keinotekoisen satelliitin eli tekokuun ja ihmettelin sitä. Olin säilyttänyt lehdestä otetun uutisleikkeen ja muistin sen kun Sputnik laukaistiin 4.10.1957 ja lähetti piipittäväää radiosignaalia.

Ylioppilastutkintoni jälkeen aloitin opiskeluni teknillisen korkeakoulun sähköosastolla vuonna 1963 ja valitsin alkuvaiheen jälkeen pääaineeksi radiotekniikan. Diplomityöni ”650 MHz radarsystem för satellitundersökningar” TKK:n radiolaboratorion prof. Martti Tiurin johdolla oli suuritehoinen tutkajärjestelmä kuun pinnan muotojen tutkimiseen 7 kW:in UHF klystronilähettimen tutkaimpulssien avulla. Kolmen metrin lähetysantenni oli Erikinkadulla Sähköosaston katolla. Viritin itse klystronin keinokuormaa käyttäen UHF kanavan 43 taajuudelle. Valitettavasti PTH ilmoitti, ettei voi hyväksyä Radiolaboratorion jo ennen projektin alkua lähetettyä taajuuslupahakemusta, kuulemma se häiritsisi itäisen naapurimme kaukovalvontatutka-asemia. PTH antoi toisen taajuuden, mutta se tuli liian myöhään, koska kideohjattu lähetys- ja vastaanottolaitteisto olisi pitänyt rakentaa alusta alkaen uusiksi. Myöhemmin tehtiin muutamia testejä Helsingin ja Oulun välillä ja saatiin mm. kaikuja lentokoneista.

Lisensiaattityöni ”Planering och konstruktion av en mottagningsstation för telekommunikationssatellitexperiment med frekvenser större än 10 GHz” liittyi Italian suunniteltuun [SIRIO](#)-satelliittiin, jonka avulla tehtiin sadevaimennuksen tilastollisia mittauksia häiriöttömien satelliittilinkkien suunnittelua varten. Olin pohjoismaiden ainoa kutsuttu edustaja mukana SIRIO-satelliittikokeiluissa. Radioaaltojen etenemismittauksia tehtiin Metsähovin radiotutkimusaseman 14 m antenniin asennetulla vastaanottimella.

Olin sen jälkeen sekä vt. että vs. mikroaaltotekniikan apulaisprofessorina vuosina 1974 ja 1975. Vuosina 1976-1980 olin Suomen Akatemian nuorempana tutkijana ja samalla Suomen Akatemian rahoittaman sadevaimennustutkimusryhmän johtajana vuoteen 1984 asti. Tutkimusryhmäni teki myöhemmin sateen etenemistilastoja ESA:lle.

Osallistuin lisäksi myös amerikkalaisen ja maailman ensimmäisen opetussatelliitin [ATS-6](#):n (Applications Technology Satellite) NASA:n mm-aaltojen etenemistutkimuksiin. PR-toimintana vastaanotimme itse valmistetulla äänidekooderilla ensimmäisinä Pohjoismaissa Ranskasta ESA:n OTS-satelliitin (Orbital Test Satellite) kautta lähetettyjä suorita SECAM (eri standardi kuin Suomessa käytetty PAL) satelliittitelevisiolähetyksiä hauskoine mainoksineen yhteistyönä Yleisradion ja MTV:n kanssa.

Lähdin vuonna 1984 KTM:n kutsusta ja valtiosopimuksella Suomen edustajaksi Ruotsiin ja projektiin insinööriksi [Tele-X](#)-projektiin Svenska Rymdaktiebolagetissa ([SSC](#)). Vastasin siinä Tele-X:n antennimoduulin kehittämisestä, testauksesta ja hyväksymisestä Ranskassa ja Ruotsissa sekä Suomessa valmistetusta Tele-X:n TV-lähetysasemasta, jonka sijainti oli Norjan telehallinnon omistama Nittedalin satelliittimaasema Oslon lähellä. Tele-X mahdollisti suorat DBS lähetykset ja nopeat video- ja datalinkit.

Osallistuin Tele-X:n laukaisukampanjaan ja testeihin [Ranskan Guayana](#)ssa 1989. Oli valtava määrä dokumentteja ja monimutkainen organisaatio eikä täysin läpinäkyvä alihankintaketju. [Kourou](#)hun toimitettiin yksistään 10 m³ (1900 kg) dokumentteja.

Aerospatiale johti 120 henkilön tiimiä ja testejä oli ympäri vuorokauden ja sen takia hotellihuoneeseeni oli kytketty suora linja, josta pystyi soittamaan Ruotsiin, jos ongelmia tuli. Minun piti olla tavoitettavissa myös yöllä koska ongelmatilanteessa antennimoduulin testeissä minun piti päättää pysäytetäänkö testit jatkoselvityksiä varten vai voiko jatkaa. Erikssonin kannettavalla tietokoneella tein joka ilta yhteenvedon päivän testeistä ja lähetin raportin modeemin kautta Rymdbolagetin avaruusyksikön johtajalle.



Kuva 29. Harvinaisiin pitempiin Kourou-vierailuihin liittyy yleensä isäntien järjestämiä vierailu viidakkoon tai Pirunsaarelle. (Sandell, 1989)

Valitettavasti en voinut jäädä Kourouhun laukaisuun asti, koska minun piti lähteä takaisin Ruotsiin Tele-X:n hyväksymistesti-valmistelujen takia. Olin kampanjan aikana tutustunut Saab Spacen Kouroussa työssään olevaan propulsioinsinööriin ja hän vei minut edellisen laukaisun jo laukaisualustalla olevaan laukaisuvalmiin Arianeraketin luo, josta kaasua mm. nestemäisestä tyypestä siirsi moottorien suuttimista. Käynnissä oli ns. laukaisuharjoitus, jonka aika testataan kaikkien järjestelmien toiminta paitsi itse laukaisua. Hänen johdollaan menimme tukitornissa alhaalta ylös nokkakartioon asti. Hänen kulkulupansa saattoi sallia käynnin, mutta minun kahdella kulkuluvallani ei olisi ollut asiaa.

Myöhemmin tapahtui kuolemaan johtuva tapaus, kun kaksi työntekijää oli tankatun raketin tukitornissa töissä ja tyyppi esti hapen saantia ja he tukehtuivat. Turvallisuusvaatimuksia kiristettiin ja pääsy ilman suojavälineitä kiellettiin.

Vastasin yhdessä kollegani Peter Heintzin kanssa in-orbit testien (satelliitin hyväksymistestit) suunnittelusta ja toteutuksesta Tele-X:n laukaisun jälkeen. Testit tehtiin [Nittedal](#)ista Norjassa Valmetin toimittaman 8 m antennilla varustetun TV-lähetysaseman avulla. Tele-X:n ohjaus- ja komentokeskus sekä operaattorit olivat sen sijaan Kiirunassa Ruotsissa, missä myös oli ESA:n avaruuskeskus ESRANGE Ranskan SPOT kaukokartoituskuvien vastaanottamiseen.

Testien aikana sattui kaksi yllättävää ja vakavaa tilannetta: Ylikuormitus lineaarisuutta mitattaessa (ohjelmointivirhe ja kun tehonsyötön rajoitus ei toiminut seurasi satelliitin ylikuumennussuojan laukeaminen). Antennin peittoalueen mittauksessa lähetettiin käsky askeltaa, kun signaali yhtäkkiä katosi. Antenni oli mennyt ääriasentoon ja olisi voinut jumittua (syy offsetlukema suuntauksessa ja redundanssi). Muilta osin kaikki toimi spesifikaatioiden mukaisesti. Tässäkin oli hauska yksityiskohta sikäli, että kirjoitin osan ohjausaseman HP:n tietokoneohjelmamoduuleista HP Basic-ohjelmalla itse, vaikka se olikin suomalaisten lähetysaseman toimittajien vastuulla. Tele_X oli tärkeä referenssi Suomen teollisuuden ja tutkimuslaitosten avaruustekniikan osaamisesta, kun Suomi haki ESA:n jäsenyyttä 1987.

Avaruusasiat siirtyivät vuonna 1989 liikenneministeriöstä kaupp- ja teollisuusministeriölle ja minut kutsuttiin Avaruusasiain neuvottelukunnan pääsihteeriksi, jossa vastasin Suomen avaruuspolitiikan suunnittelusta ja –toiminnasta neuvottelukunnan kanssa.

Nyt alkoi toimintani [ESA](#):n eri elimissä. Minut nimitettiin ESA:n korkeimman päättävän elimen ESan neuvoston asiantuntijaksi Suomen delegaatiossa. Delegaation johtaja oli prof. Pekka Jauho, Avaruusasiain neuvottelukunnan puheenjohtaja.

Suomi oli ESA:n liitännäisjäsen ja Kanada ulkoinen jäsen ja meillä oli rajoitetut oikeudet eikä pääsyä kaikkiin elimiin. Suomella ja Kanadalla oli jaettu huone ESA:n päämajassa Pariisissa. Koska olin opiskelijana 1960-luvulla ollut Suomen ja Kanadan välisessä Hart House-opiskelijavaihdossa Torontossa oli minulla kauan ollut hyvät suhteet Kanadaan ja yhteistyö toimi hyvin. Esimerkiksi jos Kanadan edustaja ei ollut kokouksessa paikalla piti aina huomauttaa, että päätöslauselmissa tuli maininta miten asia koskee Kanadaa ulkoisena jäsenenä ja päinvastoin Suomea liitännäisjäsenenä jos Suomen edustaja ei ollut paikalla.

Vuonna 1993 siirrettiin sihteeristövastuu avaruusasioista KTM:stä Tekesiin ja työni Tekesin avaruusyksikössä alkoi. Suomesta tuli vuonna 1995 ESA:n täysjäseneksi seitsemän vuoden koeajan jälkeen. Suomi vaati pääsyn ESA:n talous- ja hallintokomiteaan (AFC) ja minut nimitettiin komitean jäseneksi. Nyt alkoi paljon työtä vaativat uudistukset. Olin työryhmässä, joka suunnitteli siirtoa kansallisista valuutoista rahayksikkö Ecu:uun ESA:n budjetissa sekä neuvoston työryhmässä koskien retroaktiivisia korjauksia. Olin lisäksi ESA:n tietokanta- ja asiakirjatyöryhmässä uudistamassa tietokantapolitiikkaa. ESA:n tietokannat ja asiakirjahallinta ovat [ESRIN](#):issä Italiassa ja siellä on myös satelliittidatan vastaanotto ja tallennus.

ESA:n jäsen sopimus takaa 95 %:n teollisen palautteen maksetuista jäsenmaksuista. Ylläpidin omat palautelistan Suomen avaruusasioiden päättäjiä varten ja kävin ESA:ssa ollessani usein ESA:n tilauksista ja palautteista vastaavan yksikön johtajan ja palauteasiantuntijan luona keskustelemassa ja pyytämässä aineistoa Suomen saamista tilauksista.

Olin myös ESA:n tiedeohjelmakomitean SPC:n asiantuntijana 1994-95 ja osallistuin tietoliikenneohjelman JCB:n kokouksiin kun Tekesin vastuhenkilö oli estynyt.

Vastasin vuodelta 1994 lähtien suomalaisten rekrytoinnista ESA:aan ja siinä riitti työtä, koska Suomella oli rahoitukseen suhteutettuna liian vähän ESA:n eri toimipisteissä työskenteleviä

suomalaisia. Huippuvirkoja oli vaikea saada ja kävin toistuvasti hallintojohtajalle muistuttamassa, että Suomen täysjäsenyys sopimus edellyttää, että suomalaisille hakijoille tulisi antaa etusija uusien työntekijöiden rekrytoitaessa. Hallintojohtajan toimistossa sain nähtäväksi päätökset tehdyistä rekrytoinneista jäsenmaittain, mutta en saanut pyynnöistä huolimatta tietoja kirjallisina.

Aina ei pätevyyskään auttanut. ESA:n Italiassa sijaitsevan datakeskus ESRIN:in laajennustöihin haettiin projektipäällikkö ja onnistuin saamaan ison rakennuskonsernin projektipäällikkö kiinnostumaan tehtävästä. Hän oli johtanut useita rakennusprojekteja ulkomailla ja oli sekä sopiva että pätevä tähän tehtävään. Yllätyin päätöksestä valita italialainen tehtävään ja vaadin selityksiä. Kuulemma piti valita italialainen, koska vain italialainen voi vakuuttavasti kirotta italiaksi ja johtaa italialaisia rakennustyömiehiä!

Aloitin [ESA:n teknologiasiirto-ohjelman](#) koordinoinnin ja seurannan vuonna 1994. Suomi sai sopimuksen ja rahoituksen kansallisen toimijan ja ESA:n välillä vuonna 2001. Turku Science Park vastasi teknologia siirroista Suomessa. Tie oli takkuinen, kun vain muutama prosentti ESA:n avaruuskäyttöä varten kehitetyistä innovaatioista ja teknologioista, joita tarjottiin maanpäällisiä sovelluksia varten onnistuttiin hyödyntämään ja teollisuuden mielenkiinto niistä oli aika vähäinen.

Vuonna 1996 sain uusia tehtäviä. Minut nimitettiin Ariane laukaisuohjelman (Ariane launcher Programme Board) delegaatiksi, koska Suomella oli pieni rahoitusosuus ESA:n laukaisuinfrastruktuuri-ohjelmassa. Suomi ei osallistunut Ariane-laukaisurakettien kehitykseen, vaikka maksoimme puolet Suomen BKT-osuudesta ohjelmaan, joka oli kaikille jäsenmaille pakollinen ohjelma. Myös tiedeohjelma on pakollinen, mutta muut ohjelmat ovat valinnaisia ja jäsenmaat ilmoittavat ohjelman alkaessa millä rahoitusosuudella aikovat osallistua ja mihin osioihin.

Suomi tuli jäsenyyden myötä välillisesti myös salaisen (ns. kassakaappisopimuksen) Arianen tuotantodeklaraation osapuoleksi, joka oli suoraan jäsenmaiden välinen sopimus. Kun sopimus vuonna 2001 uudistettiin ja jatkettiin 5 vuodelle myös Portugal ja Suomi liittyivät siihen. Kaikki muut sopimukset, jotka neuvosto on hyväksynyt ovat ESA-sopimuksia.



Kuva 30. Håkan Sandell Ranskan Guyanassa maaliskuussa 2009 – lähinnä Galileo-laukaisuja varten Kouroun raketikeskukseen rakennettiin Sojus-rakettien laukaisualusta, joka on kopio Baikonurissa sijaitsevasta. Sen käyttö on sittemmin päättynyt.

Sain Ariane-ohjelma delegaattina koulutusta Ranskan avaruusjärjestö CNES:iltä ja vierailu järjestettiin Ranskassa Ariane-raketin moduuleja ja moottoreita valmistaville tehtaille. Mielenpainavin oli Arianen päämoottori Vulcain Enginen testikäyttö Snecman-tehtaalla Vernonissa vierailuni aika. Palon kestävästä tiilistä rakennettu suojamuori erotti meidät toisella puolella olevasta 120 sekunnin kestoisesta koekäytöstä. Ensin oli tankattu ”polttoainetta” kahden rekkakuorman verran ja palokunta opastanut meitä ja antanut korvasuojaimia. Teho oli koekäytön yhteydessä GW:ien luokkaa.

Sekä ääni että värinä menivät kehon läpi suojamuurista huolimatta. Intensiivinen lämpö ja liekit tehostivat tunnelman. Tämä kokemus on ihan eri, kun laukaisuihin osallistuminen, koska katsojat ovat tarkkailutilassa, joka on kilometrien päässä laukaisualustasta.

2000-luvulla tuotantosopimuksen uusiminen tuli ajankohtaiseksi, kun Italia tarjosi piensatelliittien laukaisuun Vega-raketin kehitystyöt ja Venäjä Sojus-raketin laukaisut ESA:lle. Alkoi pitkä prosessi uuden laukaisusopimuksen uusimiseksi hallitusten välisenä sopimuksena (IGA) ESA:n jäsenvaltioiden kanssa. Konsensusta ei löytynyt ESA neuvoston työryhmässä sopimuksen kattavuuden laajentamisyriyksille, joten päätettiin laukaisuohjelman johtaja Fabrizin ehdotuksesta edetä kahdessa vaiheessa: jatkaa tuotantodeklaraatio kahdella vuodella ottamalla huomioon markkinoilla tapahtuneet muutokset, kuten hintakehitys, kansainvälinen kilpailu ja siltavaiheen avulla taata jatkuvuutta Arianen toimittajayrityksille.

Vega-maat olivat vaatineet yhtäläinen käsittely ja oikeudelliset instrumentit (rahoitus) myös Vegalle kuin mikä Arianelle tuotantodeklaraatioissa annetaan. Totesin, että Suomessa on vain tehty päätös Ariane-rakettien käytöstä, emmekä halua kytkentää ja lisävelvoitteita laukaisuohjelmaan, joka ei ole taloudellisesti kannattava eikä kilpailukykyinen maailman markkinoilla, jotta Suomi voisi hyväksyä

tuotantodeklaraation jatkamista. Tuotantodeklaraatio hyväksyttiin ESA:n ministerikokouksessa joulukuussa 2005 Suomen linjan mukaisesti.

Tämän jälkeen jatkoi laukaisuohjelmien hyödyntämisvaiheen käsittely hallitusten välisenä sopimuksena (IGA) Ruotsin avaruushallinnon johtaja Per Tegnerin johdolla. Osallistuin neuvotteluihin kauppa- ja teollisuusministeri Seppo Kääriäisen valtuuttamana neuvottelijana yhdessä Tuija Ypyän kanssa.

Koska laukaisurakettien yritykset eivät suostuneet antamaan hinta- ja muita teollisia ja kaupallisia tietoja jäsenmaitten valtuuttamille edustajille tehtiin ESA:n päämajaan häiriösuojattu tila, johon vain nimetyillä henkilöillä aikavarauksen jälkeen oli pääsy. Mukaan ei saanut ottaa oikeastaan mitään!! Kova oli pelko, että liikesalaisuudet vuotavat kilpailijoihin, mutta mielestäni se oli hätävarjeluun liioittelua. Kävin useita kertoja huoneessa lukemassa laukaisurakettien talous – ja valmistukseen liittyviä raportteja.

Tämä vaihe oli mielenkiintoinen, koska isot jäsenmaat yrittivät saada läpi omia näkemyksiä ja joudun kerran huomauttamaan Per Tegnerille, kun hän keskeytti puheenvuoroni, että Suomella on tässä foorumissa yksi ääni kuten kaikilla muilla jäsenmailla. Sain Englannista usein tukea ehdotuksilleni, mutta kerran tuli kiista yhdestä englanninkielisestä sanasta, joka mielestäni oli liian kattava ja ehdotin tilalle toisen synonyymin brittien tuella. Ehdotukseni hävisi äänestyksessä, mutta vaadin pöytäkirjaan merkinnän, että Suomelle sopimuksessa käytetty sana on sitovuudeltaan ehdottamamme sanan mukainen. Hallitusten välinen sopimus hyväksyttiin lopussa muodossa, joka ei tuonut Suomelle merkittäviä taloudellisia lisävelvoitteita ja Suomi ratifioi sopimuksen 26.11.2009.

Kourouhun rakennettiin uusia laukaisualueita Vegalle ja Sojusille, joihin minulla oli mahdollisuus tutustua, kun Ariane-ohjelmaevosto piti yhden kokouksen laukaisuasema CSG:ssä Ranskan Guayanassa vuonna 2009.

IRC on myös pitänyt kokouksen CSG:ssä. Ensimmäinen Sojus-laukaisu [Kourousta](#) tapahtui syksyllä 2011. Vegan esilento oli 13.2.2012 ja olin kunniavierana paikalla Jupiterin ohjauskeskuksessa Rymdbolagetin entinen toimitusjohtaja ja eläkkeelle jäänyt ESA:n laukaisuohjelman johtaja Fredrik Engströmin vieressä. Sain hyvän vastaanoton, vaikka olin äänekkäästi kritisoinut Vega-raketin järjestyttä. Tarkalleen aikataulun mukaisesti Vega lähti kuin raketti ja katosi nopeasti pilvien taakse (yllättävän nopea lähtö Ariane 5:een verrattuna) ja jäljellä jäi vain laukaisuraketin vana. Sää oli pilvinen ja sateinen ja siitä syystä laukaisu näkyi paremmin monitoreista.

Osallistuin myös maailman johtavien avaruushallintojen yhteistyöelimen [SAF:n](#) (Space Agency Forum) kokouksiin. Uusi organisaatio nousi SAFISY:n menestyksestä kansainvälisen avaruusvuoden 1992 suunnittelussa. SAF:in tehtävä ja mandaatti sisältävät missiot maapallolle ja maapallosta, avaruustiede, julkista toimintaa, miehitetyt avaruuslennot ja koulutus.

ESA:n ja YK:n foorumeissa on pohdittu, miten avaruusinfrastruktuuria voitaisi käyttää luonnonkatastrofien ennustamisessa, laajuuden toteutamisessa ja avustus- sekä jälleenrakentamisen edistämiseksi. Olen myös osallistunut tähän työhön useassa työryhmässä, jossa kaukokartoitussatelliiteilla on merkittävä rooli.

Ulkosuhdekomiteassa käsiteltiin mm. avaruusromuongelmaa, joka on suurin uhka avaruusinfran käytölle. ESA:n Darmstadtissa sijaitseva [ESOC](#) (European Space Operations Centre) vastaa yhdessä NASA:n kanssa kaikkien yli 10 cm romukappaleiden ratojen seurannasta avaruudessa. Pienempiä on niin paljon, että niitä voi vain seurata tilastollisin menetelmin. Dr. Walter Flury oli ESA:n avaruusromujohtaja ja ESA:n jäsenmaat saivat häneltä sähköpostitse päivittäin varoitukset, jos omalle

alueelle oli vaarana, että ilmakehän läpi putoaisi avaruusromukappaleita. Osallistuin avaruusromutyöryhmän kokouksiin ja olin Suomen yhteyspiste ja –henkilö, jolle varoitukset lähetettiin. Mir avaruusaseman paluu maahan vuonna 2001 ei rataennusteitten mukaan uhannut Suomea, mutta annoin ennusteet ulkoministeriölle, joka varoitti suurlähetystöjä vaarasta. Putoaminen tapahtui onneksi asumattomalle alueelle Tyynen valtameren päällä 1500 km kaakkoon Australiasta.

Varsinaisten ESA ohjelmien lisäksi tein paljon yhteistyötä ESA:n tiedotusyksikön kanssa ja olin mukana koordinoimassa Suomea koskeva ESA:n julkaisu, joka jaettiin kaikille jäsenmaille. Vastasin myös ESA:n koulutusohjelman tarjoamien harjoittelupaikkojen tiedottamisesta, ja osallistujia Suomesta on päässyt ESA:n Young Graduate Trainee-ohjelmaan (alle 27-vuotiaille opiskelijoille tai jo työssä oleville). Olin myös Suomen nimittämä yhteyshenkilö miehitettyjen avaruuslentojen ohjelmassa (Manned Space Programme Board) kansainvälisen avaruusaseman ([ISS](#)) asioita varten, vaikka Suomi ei osallistu tähän.

Cernistä lähtöisin Alpha Magnetic Spectrometer 2 ([AMS-02](#)), pimeän aineen ja antimaterian tutkimiseksi oli määrä laukaista avaruusasemalle toiseksi viimeisellä NASAn sukukulalennolla STS-134 Kennedy Space Centeristä Floridasta. Laukaisun ajankohta siirrettiin alkuvuonna 2011 useampana kertana kunnes 17.4.2011 ajankohta vakiintui ja kutsut lähetettiin.

Suomesta laukaisua katsomaan oli kutsuttu professori Eino Valtonen Turun yliopistosta ja allekirjoittanut Tekesistä. AMS-konsortion vetäjä nobelisti Samuel Ting (MIT) kutsui meidät Kennedy Space Centeriin NASA:n kautta.

ESA-toiminta on antanut minulle laajan verkoston ja paljon kansainvälisiä ystäviä astronautteja mukaan lukien. Olen saanut olla mukana viemässä Suomi ja Suomen teollisuus kansainvälisille markkinoille ja myös edistää avaruustutkimusta ja avaruuteen liittyviä koulutusmahdollisuuksia suomalaisille.

Olen Huntsvillessä Alabamassa harjoitellut kuukävelyä ja ollut mukana sukukulalennossa siellä olevassa sukukulalentosimulaattorissa. Erityisesti olen joutunut perehtymään avaruuslainsäädäntöön ja –juridiikkaan sekä hallintoon kansainvälisten sopimusten käsittelyjen yhteydessä ESA:n eri toimielimissä.

Hyvät suhteet isojen maitten päättäjille on Suomelle pienenä maana tärkeä ja strategiani olla pyytämättä puheenvuoroa joka asiassa oli menestys, koska kun pyysin puheenvuoron, minua kuunneltiin. En myöskään pelännyt vaatia tietoa ESA:n virkamiehiltä, koska heidän pitää palvella jäsenmaita.

Håkan Sandell, KTM, Tekes, ESA-delegaatti useissa komiteoissa, avaruusasiain neuvottelukunnan pääsihteeri

Tuija Ypyä, Avaruusteknologiaa taivaalle

Kuulennot veivät minutkin avaruuden pariin. Seurasin kaikki Apollo-lennot aina ensimmäisistä viimeisempään. Vuonna 1995 siirryin Tekesiin EU:n T&K-sihteeristöön juristiksi. Kerroin kiinnostuksestani avaruuteen, ja seuraavana vuonna sain mahdollisuuden päästä mukaan ESA:n hallintokomiteaan Suomen delegaatiksi. Alkuvuosina kokousmatkat ESAan aloitettiin aina Pariisissa suurlähetystössä piipahtamalla ja miettimällä, mitä kontribuutioita voisimme tuoda kokoukseen. Osallistuin työryhmiin ja muihinkin ohjelmakomiteoiden kokouksiin aina Neuvostoa myöten. Mutta jo muutaman vuoden kuluttua saimme resurssit kuntoon, ja keskityin hallintokomiteaan. Suomen ensimmäinen AFC puheenjohtaja oli teollisuusneuvos Gösta Diehl, jonka kanssa olin jo pari vuotta osallistunut kokouksiin. Toisena puheenjohtajuusvuotena kutsuimme hallintokomitean Suomeen ja esittelimme muun muassa jäänmurtajiamme, joissa käytetään satelliittitekniikkaa. AFC-urani kesti aina vuoteen 2023.



Kuva 31. AFC-kokouksen ensimmäisen päivän lopuksi illallinen ESAn ESAC-keskuksessa autiomaassa Madridin kupeessa.

Alkuvuosien tärkeimpänä oppina pidän sitä, että koko organisaatio tuli tutuksi. Myös Tekesissä innostus avaruusasioista oli suurta. Teimme strategioita ja mietimme, kuinka saisimme koko kansan mukaan

toteuttamaan ponnistelemaan avaruuden valloittamisessa tai ainakin myötämielisesti suhtautumaan sen kalliisiin toimintoihin. Järjestimme pari suurta avaruusnäyttelyä Kaapelitehtaalla, joissa vieraili tuhansia ihmisiä aina tasavallan presidenttiä myöten.

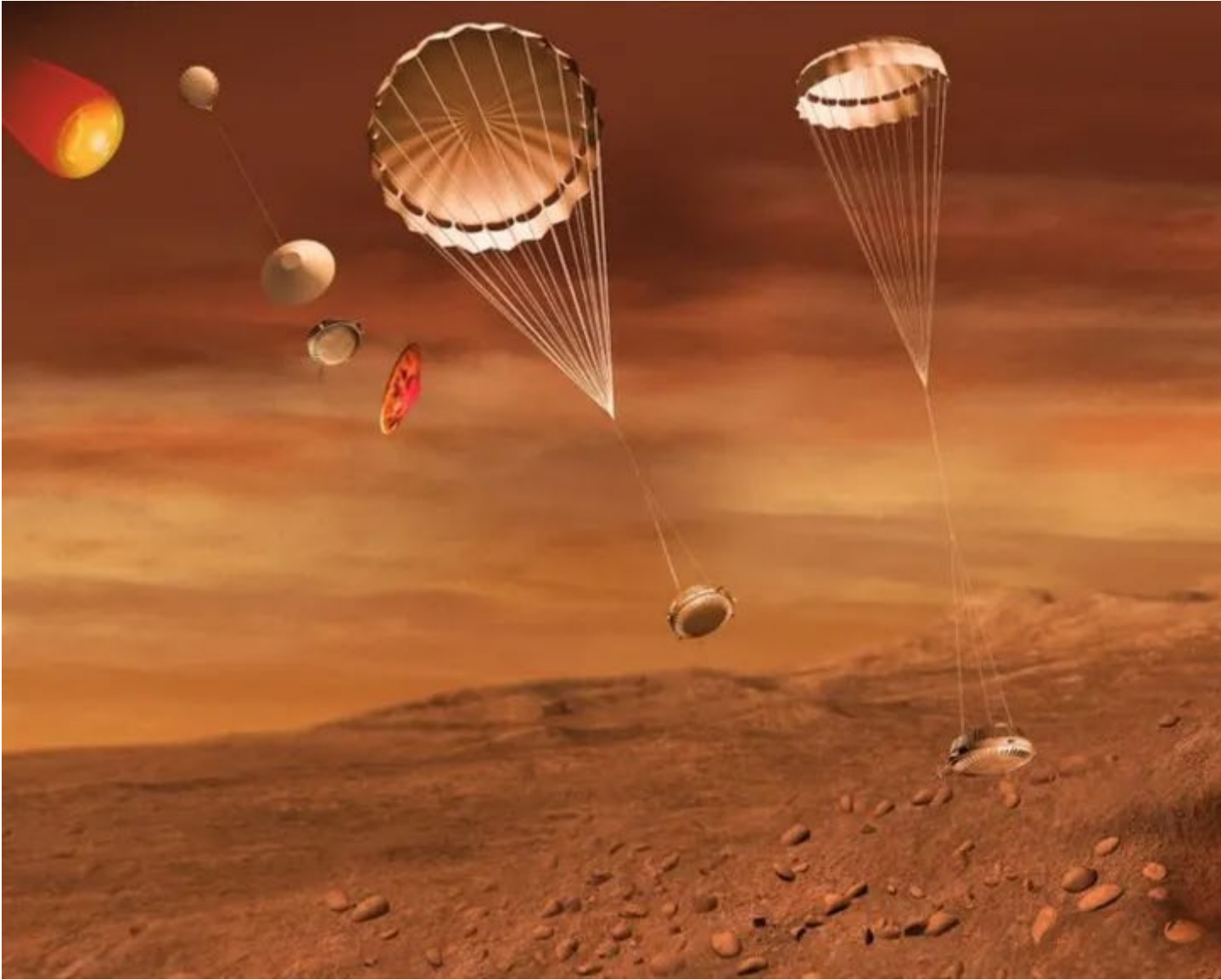
Tavoitteenamme oli saada suomalaisia yrityksiä mukaan hankkeisiin ja varmistaa, että he tiesivät mihin lähtisivät. Järjestimme Tekesissä yrityksille koulutustilaisuuksia, joita kutsuimme kinkereiksi. Tutkimme yhdessä ESan sopimuksia ja niiden mukaisia oikeuksia ja velvollisuuksia yrityksille, muun muassa taustaineistojen ja ESA:n datan osalta. Keskeistä oli myös selvittää, millaisia oikeuksia muiden jäsenmaiden yrityksillä oli suomalaisiin tutkimustuloksiin ja immateriaalioikeuksiin.

Vastuukysymyksiin liittyen julkaisimme myös sopimusoppaan, joka vieläkin on hyvin relevantti opas, kuinka hankkeet pyöritetään ja sopimukset ESan kanssa tehdään. Valitettavasti tätä opasta ei ole saatavilla netistä.

ESA:n hallintokomiteassa käsitellään lähes kaikki ESan hallintoon, valtioiden maksuusuksiin, budjetteihin ja niiden seurantaan liittyvät asiat. Asiat esitellään neuvostolle, joka tekee niistä päätöksen. Alkuvuosina Suomi ei aina saanut kaikkia tarvittavia papereita, joita ESan virkamiehet olivat valmistelleet kokouksiin. Lopulta nostin harmistuneena asian kokouksessa esille ja sanoin, että kieltäydymme äänestämästä. Halusimme asiasta pöytäkirjaan asiasta lausuman, mikäli emme saa papereita. Minulle esiteltiinkin ne toisessa huoneessa, mutta en saanut niitä mukaani. Pian tämän jälkeen Suomellekin alettiin jakaa kokouksissa käsiteltävät asiakirjat ennakkoon.

ESAssa päätöksiä tekee vain kaksi komiteaa: Neuvosto ja turvallisuuskomitea. Turvallisuuskomitean toiminnan suunnitteluun ja alkuvuosiin osallistuin myös. Samoihin aikoihin Suomessa kirjoitettiin julkisuuslakia. ESAssa ja EU:ssa aloitettiin Galileo paikantamisohjelman suunnittelu, johon liittyi paljon kokouksia, aina Brysselin Nato-konttoria myöten. Kuljetin leimattuja papereita laukussani Tekesin kassakaappiin turvaan. Eurooppa tarvitsi omat paikantamissatelliitit, joita EU voi operoida itsenäisesti. Viranomaisten välistä salassa pidettävää materiaalia liikkuu tämän tyyliisissä hankkeissa, joten sekä henkilöitä ja yrityksiä koskeva ”security clearance” oli suunniteltava alusta asti. Suomi halusi olla myös mukana Galileo-hankkeissa ja muissa tulevilla avaruushankkeissa. Myöhemmin Kauppa- ja teollisuusministeriössä valmisteltiin erillissopimuksia ESA maiden kanssa, jotta paperit voisivat liikkua turvallisesti. Ulkoministeriöstä tuli [Kansallinen turvallisuusviranomaisen](#). **Sopimukset luovat puitteet Suomelle ja suomalaisyrityksille osallistua hankkeisiin, jotka edellyttävät turvallisuusluokitellun tiedon vaihtamista.**

ESA-työhöni on liittynyt paljon kokouksia. Laskin istuneeni pelkästään Pariisin kokouksissa yli kaksi vuotta ja muissa ESan residensseissä ja Brysselin kokouksissa toiset kaksi vuotta. Siirryin kauppa- ja teollisuusministeriöön vuonna 2004, ja suurin osa tehtävistäni seurasi mukana. Vuoden 2005 alussa pääsin todistamaan **Cassini-Huygens** luotaimen laskeutumista Saturnuksen Titan kuuhun. Se oli jännittävä tapahtuma ja sen onnistuminen oli ollut valmistelun kohteena vuosikymmeniä. Laskeutumistilaisuuteen oli kutsuttu todistajia kaikista ESA-maista ja myös amerikkalaisia alkuperäisen suunnitelman tekijäitä. Aamupäivällä meille ilmoitettiin, että ”Baby has cried”. Hurraa huudoista ei meinannut tulla loppua, kun Australiasta oli saatu ensimmäinen signaali laskeutuneesta luotaimesta. Iltajuhlaan saapuikin jo kuvia Titan kuun pinnalta, jotka olivat kuin takapihaltamme; hiekkamöykkyjä. Vanhat tutkijat itkivät ilosta ja hetki oli hyvin tunteellinen. Mikä hienointa, laskeutuja Huygens-laskeutujassa oli käytetty Ilmatieteen laitoksen ja TKK:n suunnittelemaa painemittausjärjestelmää, Vaisalan valmistamia paineantureita ja pehmeän laskeutumisen takasi radioaltimetrin valmistanut Ylinen Electronics.



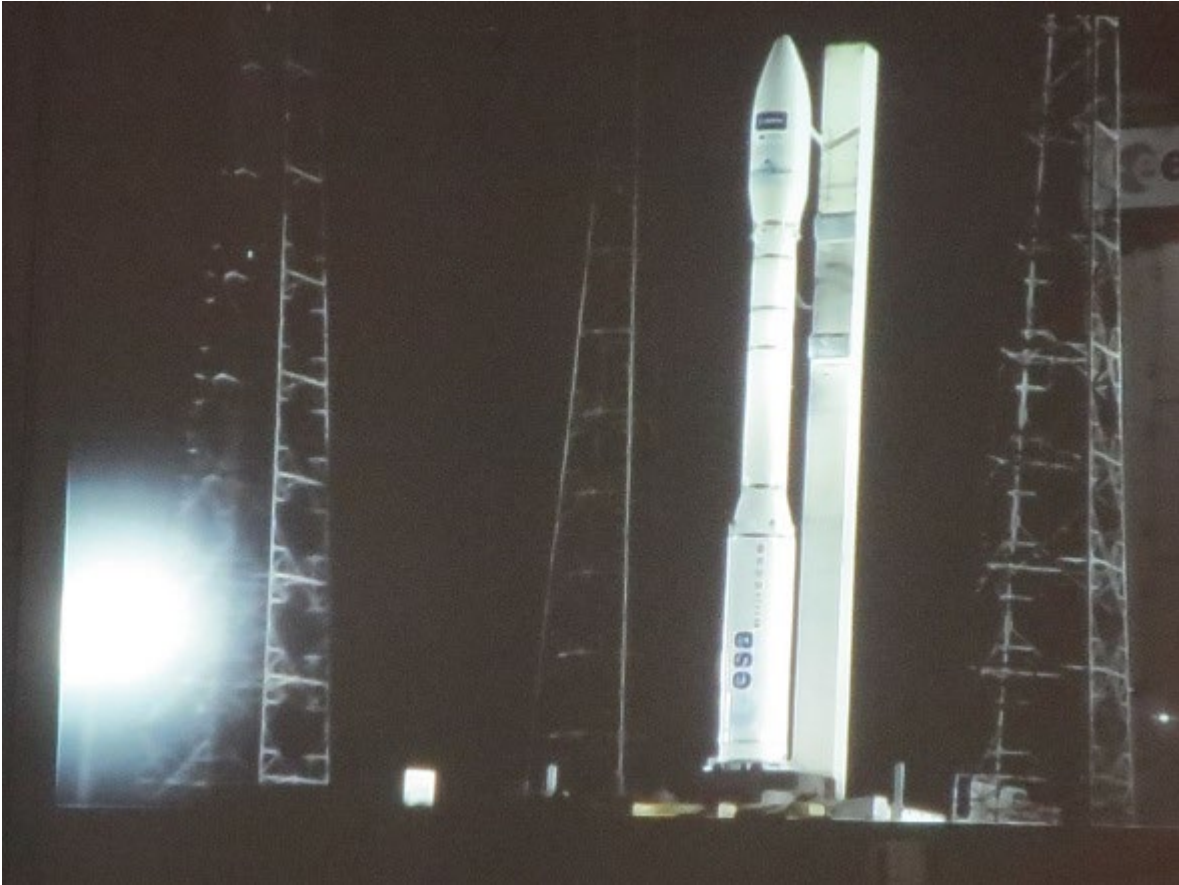
Kuva 32. Huygens-luotain laskutumassa Saturnuksen Titan-kuun pinnalle (ESA via BBC).

Vuonna 2017 pääsin Ranskan Guyanaan seuraamaan Sentinel 2:n laukaisua Vegalla. Jo alkuun matkasta oli tulla draama, sillä bussimme törmäsi yöllä suureen jaguaariin ja olimme ajautua viidakkoon. Laukaisupaikan lähellä kaikille jaguaareille on laitettu seurantapanta, mutta tämä onneton yksilö oli ilman pantaa.

Tästä eteenpäin matka sujui hyvin ja verkostoiduimme toisten valtioiden edustajien kanssa. Sain taputella lähteviä raketteja ja toivottaa niille hyvää matkaa. Olin lisäksi hyvin ylpeä siitä, että luotaimessa oli suomalaista teknologiaa kuten Ruag Space Finlandin Tampereella valmistamaa elektroniikkaa.



Kuva 33. Ranskan Guayanan Kourussa laukaistiin 5.3.2017 avaruuteen Vega-raketti, joka toimitti satelliitin 786 km korkeuteen kiertoradalleen Sentinel 2 B -satelliitin.



Kuva 34. Tuija kertoo "Vain kaksi minuuttia ennen laukaisua komentokeskuksen ovet näköalaparvekkeille avattiin ja siirryimme katsomaan laukaisua, joka tapahtui yötaivaalle klo 22.49 paikallista aikaa. Yhtäkkiä taivaanrannan täytti tulimeri ja valkoinen Vega ampaisi taivaalle. Kun satelliitti oli viimein radallaan, kuultiin suuret hurraa-huudot ja taputukset. Koko komentokeskuksen väki halasi toisiaan helpotuksesta. Näin myös muutaman kyynelehtivän vieraan ja ymmärsin, mitä merkitsee pitkän ja monivuotisen työn tuloksen saattaminen matkaan. Kuten eräs liikuttunut kutsuvieras totesi – "That was my whole life".

Suomalaiset ovat osallistuneet ESan avaruustutkimukseen innostuksella. Hankkeet ovat olleet menestystarinoita ja tapahtuneet kaikki yhteistyössä. Henkilökohtaisesti ESA-avaruusmatka on ollut elämäni hienoin matka.

Tuija Ypyä, varatuomari ja työ- ja elinkeinoministeriössä toimiva neuvotteleva virkamies. Hän on toiminut avaruusasioiden parissa vuodesta 1995.

Avaruudesta inspiraatiota

Tänä vuonna juhlistamme Suomen 30-vuotista jäsenyyttä Euroopan avaruusjärjestössä. Tämä dokumentti kuvaa jäsenyytemme merkitystä ja vaikuttavuutta niin henkilökohtaisella kuin kansallisella tasolla. On ollut ilo lukea näitä kokemuksia, jotka korostavat suomalaisten avaruustutkimuksen, teknologian kehittämisen ja kansainvälisen yhteistyön edistämistä.

Euroopan avaruusjärjestön toiminta on ollut merkittävä osa omaa työtäni jo lähes 20 vuoden ajan. Erityisesti mieleeni ovat jääneet ne hetket, jolloin ESA:n toiminnassa on ollut läsnä aito eurooppalainen yhteistyön henki.

Omalla urallani ensimmäiset avaruustoimintaan liittyvät kokemukset sijoittuvat jatko-opintoja edeltävään aikaan. 1990-luvun alussa Paltamon Korpitien koulusta olimme suorassa yhteydessä ylilentoa suorittavaan avaruusasemaan. Nämä keskustelut avaruuden olosuhteista ja työskentelystä avaruusasemalla vahvistivat kiinnostustani matemaattis-luonnontieteellisen alan opintoihin. Ehkäpä nuo keskustelut innoittivat minut myöhemmin hakeutumaan Ilmavoimien lentoreserviupseerikurssille, olihan usean astronautin tausta koelentäjänä. Oulun yliopistossa maisteriopintojen aikana osallistuin Cluster-hankkeen epäonnistuneen laukaisun seuraamiseen vuonna 1996, mikä toi konkreettisesti esille avaruustoiminnan tekniset riskit. Arktisen geofysiikan parissa tehdyt opinnot veivät minut vuodeksi Huippuvuorille ja myöhemmin FINNARP-retkikuntaan Etelämantereelle, jossa satelliittien tuottama aineisto oli keskeistä tutkimukselle.

Kansallinen avaruustoimintamme on kehittynyt merkittävästi viime vuosina. Yksityinen avaruusliiketoiminta on osoittanut, että avaruustoiminta voi olla myös taloudellisesti kannattavaa ja luoda kestäväää kasvua ja hyvinvointia. Kansallisen avaruusstrategiamme 2025 kunnianhimoinen tavoite oli osoittaa, että avaruustoiminta on potentiaalinen kasvuala myös Suomessa. New Space Economy -ohjelma vuosina 2018–2022 tuki tätä tavoitetta tarjoamalla verkostoitumista ja rahoitusta alan yrityksille. Ohjelman ansiosta yrityksemme kasvoivat ja vahvistivat yhteistyötään Euroopan avaruusjärjestön kanssa.

Juuri vahvistettu Suomen avaruusstrategia 2030 tavoittelee avaruustoiminnan laajaa hyödyntämistä yhteiskunnan eri osa-alueilla. Euroopan avaruusjärjestön nykyiset ja uudet ohjelmat tukevat strategian tavoitteita tarjoamalla mahdollisuuksia tutkimukseen, kansainväliseen yhteistyöhön ja liiketoiminnan kehittämiseen.

Katse tulevaisuuteen

Toimintamme Euroopan avaruusjärjestön jäsenenä on ollut tuloksekasta, ja voimme luottavaisesti rakentaa tulevaisuutta kehittyneiden valmiuksien varaan. Järjestö päivittää parhaillaan omaa pitkän aikavälin strategiaansa vuoteen 2040 ja valmistautuu vuoden 2025 ministerikokoukseen.

Suomi tukee ESA:n tavoitteita planeettamme elinvoimaisuuden säilyttämiseksi, tieteen edistämiseksi, Euroopan resilienssin ja autonomian vahvistamiseksi sekä yritystemme kilpailukyvyyn ja kasvun

tukemiseksi. Kansalliset panostukset tutkimukseen ja kehitystoimintaan tarjoavat mahdollisuuden kehittää toimintaamme systemaattisesti.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia, jotka ovat olleet mukana tällä 30-vuotisella matkalla. Teidän panoksenne ansiosta Suomi on ollut ja tulee olemaan merkittävä osa avaruuden tutkimusta ja kehitystä.

Kimmo Kanto

Suomen ESA neuvoston päädelegaatti

Liite: Muutamia Internet-lähteitä

Useimmat alla listatuista ovat englanninkielisiä.

Euroopan avaruusjärjestön pääsivusto <https://www.esa.int/>

ESAn tiedeohjelma https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science

ESAn kaukokartoitusohjelma https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth

ESAn tietoliikenneohjelma
https://www.esa.int/Applications/Connectivity_and_Secure_Communications

ESAn teknologiaohjelmat
https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology

ESAn satelliittipaikannusohjelma
https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation

ESAn astronautti- ja tutkimusmatkaohjelma
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration

ESAn satelliittien lennonjohto-ohjelma
https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations

ESAn kaupallistamisohjelma <https://www.esa.int/esearch?q=commercialisation>

ESAn raketiohjelma https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation

ESAn työpaikat https://www.esa.int/About_Us/Careers_at_ESA

ESAn uutishuone <https://www.esa.int/Newsroom>

ESA TV https://www.esa.int/ESA_Multimedia/ESA_Web_TV

Työ- ja elinkeinoministeriön avaruussivusto <https://tem.fi/avaruus>

Suomen avaruuslaki <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180063>

Avaruusasiain neuvottelukunta <https://tem.fi/avaruusasiain-neuvottelukunta>

Space Finland – Suomen avaruustoiminnan esittelysivusto <https://spacefinland.fi/etusivu>

Business Finlandin kooste New Space toimijoista
<https://spacefinland.fi/documents/60305973/77113623/Finnish+New+Space+Economy+Landscape+offering.pdf/a96d9dbf-6b4e-aaa3-551e-77ea56e36b06/Finnish+New+Space+Economy+Landscape+offering.pdf?t=1675327864038>

Tässä julkaisussa mainittuja organisaatioita

Ilmatieteen laitos

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avaruustutkimus-ja-havaintoteknologiat>

Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskuksen tutkimus

<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

<https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/avaruusteknologia>

Helsingin yliopisto <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/avaruus>

Turun yliopisto <https://www.utu.fi/en/university/faculty-of-science/physics-and-astronomy/research>

Oulun yliopisto <https://www.oulu.fi/en/university/faculties-and-units/faculty-science/space-physics-and-astronomy>

Yrityksiä

Beyond Gravity (monikansallinen yhtiö, Suomen yksikön taustalla olivat RUAG, Patria, Finnyards, ja alussa Hollming) <https://www.beyondgravity.com/en>

DA-Design (avaruustoiminta sai alkunsa Insinööritoimisto Ylinen Oy:ssä) <https://www.da-group.fi/ratkaisut/avaruuteen/>

Huld (avaruustoiminta sai alkunsa Space Systems Finland Oy:ssä) <https://huld.io/industries/space/>

New Space yrityksiä

Aurora Propulsion Technologies <https://aurorapt.space/>

Iceye <https://www.iceye.com/>

Kuva Space <https://kuvaspace.com/>

ReOrbit <https://www.reorbit.space/>

Euroopan Unionin avaruustoiminta (DG DEFIS, EUSPA jne.) https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/eu-space-programme_en

Suomen kartoitusilmakuvaukset 100 vuotta : Maanmittauslaitoksen ilmakuvausten historiaa 1924–2024, Maanmittauslaitos, 2024. <https://helda.helsinki.fi/items/052ecf2a-8515-4773-bf18-4c1f2cc78e49>