

Ari-Matti Harri, Juha-Matti Liukkonen, Christopher Rowley,
Mika Aaltola, Antti Näsilä, Juhani Huovelin

AVAUS – Avaruuden uuden toimintaympäristön turvallisuusulottuvuudet ja liiketoiminta

Valtioneuvoston
selvitys- ja tutkimus-
toiminnan julkaisusarja

2020:8

ISSN 2342-6799

ISBN PDF 978-952-287-830-4

ISBN paino 978-952-287-831-1

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:8

AVAUS –

Avaruuden uuden toimintaympäristön turvallisuusulottuvuudet ja liiketoiminta

Ari-Matti Harri, Juha-Matti Liukkonen, Christopher Rowley, Mika Aaltola,
Antti Näsilä, Juhani Huvelin

Valtioneuvoston kanslia

ISBN PDF: 978-952-287-830-4

ISBN (nid.): 978-952-287-831-1

Tekijän organisaatio:

Ilmatieteen laitos: Ari-Matti Harri, Maria Genzer, Harri Haukka, Kirsti Kauristie, Johanna Tamminen

Reaktor Innovations Oy: Juha-Matti Liukkonen, Lauri Leukkunen

Demos Helsinki: Christopher Rowley, Oona Frilander, Maria Malho

Ulkopoliittinen Instituutti: Mika Aaltola, Anu Ruokamo, Katja Creutz

Isaware Oy: Juhani Huovelin

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy: Antti Näsilä

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2020

Kuvailulehti

Julkaisija	Valtioneuvoston kanslia		13.2.2020
Tekijät	Ari-Matti Harri, Juha-Matti Liukkonen, Christopher Rowley, Mika Aaltola, Antti Näsilä, Juhani Huovelin		
Julkaisun nimi	AVAUS – Avaruuden uuden toimintaympäristön turvallisuuslottuvuudet ja liiketoiminta		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston kanslian julkaisuja 2020:8		
ISBN painettu	978-952-287-831-1		
ISBN PDF	978-952-287-830-4	ISSN PDF	2342-6799
URN-osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-830-4		
Sivumäärä	100	Kieli	suomi
Asiasanat	avaruus, avaruusteknologian murros, turvallisuus, liiketoiminta, tutkimus, tutkimustoiminta		
Tiivistelmä	<p>Avaruustoiminnalla on jo kauan ollut suuri strateginen merkitys yhteiskunnan toimivuudelle, kansalliselle turvallisuudelle ja eri hallinnonalojen päätöksenteolle. Yhteiskunnan toiminnot hyödyntävät satelliittien tuottamaa ja välittämää dataa, jonka määrä ja maantieteellinen kattavuus ovat laajentuneet radikaalisti viime vuosina. Aiemmin laajamittainen avaruustoiminta oli mahdollista vain suurilla taloudellisilla panostuksilla ja sitä harjoittivat vain muutamat maailman suurvallat. Nyt teknologinen kehitys ja avaruusteknologian halventuminen on mahdollistanut myös pienimuotoisemman avaruustoiminnan, jolla voidaan vastata tehokkaasti yhteiskunnan ja elinkeinoelämän tarpeisiin ja toiveisiin. Tämä mahdollistaa täysin uusia sovelluksia ja palveluita, jotka perustuvat avaruudesta ja Maan pinnalta tehtyjen havaintojen tehokkaaseen yhdistämiseen. Tämä on New Space -ilmiö, johon liittyvää liiketoimintaa kutsutaan nimellä New Space Economy – uusi avaruusliiketoiminta.</p> <p>Uuden avaruusteknologian ja sen tuomien sovellusmahdollisuuksien esiinmarssi ei ole korvaamassa perinteisellä avaruusteknologialla toteutettuja järjestelmiä. Tämä on oleellista. Uudet teknologiat sekä tuovat mukanaan uusia avaruuden hyödyntämismahdollisuuksia että täydentävät perinteisiä avaruusjärjestelmiä.</p> <p>Tämä tutkimus tarkastelee uutta avaruustoimintaympäristöä kansallisen hyödyntämisen kannalta: miten sen tarjoama yhteiskunnan turvallisuuteen vaikuttava teknologia sekä liiketoimintapotentiaali voitaisiin valjastaa parhaiten palvelemaan suomalaista yhteiskuntaa.</p> <p>Jos saamme luotua uutta teknistieteellistä kyvykkyyttä kansallisella perusrahoituksella, sillä on tärkeä vipuvaikutus sekä liiketoimintaan että suomalaisten turvallisuuteen. Osaaminen ja innovaatiot houkuttelevat kasvurahoitusta, mikä mahdollistaa liiketoiminnan nopean kasvun. Avaruuden turvallisuuskäyttö edellyttää korkealaatuista osaamista ja hyötyä menestyvästä liiketoiminnasta.</p> <p>Aktiivisilla toimilla Suomi pystyy hyödyntämään avaruusteknisen murroksen tarjoamat laajat liiketoiminnalliset mahdollisuudet sekä toisaalta varautumaan turvallisuuteen liittyviin uusiin haasteisiin. Toimenpidesuosituksemme ovat tämän mukaisia.</p> <p>Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. (tietokaytoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.</p>		
Kustantaja	Valtioneuvoston kanslia		
Julkaisun jakaja/ myynti	Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi Julkaisumyynti: vnjulkaisumyynti.fi		

Presentationsblad

Utgivare	Statsrådets kansli	13.2.2020	
Författare	Ari-Matti Harri, Juha-Matti Liukkonen, Christopher Rowley, Mika Aaltola, Antti Näsilä, Juhani Huovelin		
Publikationens titel	AVAUS – Säkerhetsdimensionerna och affärsverksamhetsmöjligheterna för en ny verksamhetsmiljö för rymden		
Publikationsseriens namn och nummer	Statsrådets kanslis publikationer 2020:8		
ISBN tryckt	978-952-287-831-1		
ISBN PDF	978-952-287-830-4	ISSN PDF	2342-6799
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-830-4		
Sidantal	100	Språk	finska
Nyckelord	rymd, rymdteknik genombrott, säkerhet, business, forskning, forskningsverksamhet		
Referat	<p>Rymdverksamheten har redan länge varit av stor strategisk betydelse för ett välfungerande samhälle, för den nationella säkerheten och för beslutsfattandet. Samhällets alla funktioner drar nytta av satellitdata och dataöverföring via satelliter. Dessutom har volymen och den geografiska täckningen av data vuxit markant de senaste åren. Tidigare var en storskalig rymdverksamhet möjlig enbart med stora ekonomiska satsningar och endast ett fåtal av stormakterna kunde därför satsa på det. Den teknologiska utvecklingen och en billigare rymdteknologi har möjliggjort också småskalig rymdverksamhet som effektivt kan tillgodose samhällets och näringslivets behov och önskningar. Det möjliggör helt nya tillämpningar och tjänster som grundar sig på att man effektivt kan förena mätdata från rymden med data uppmätt på marknivå. Det här är ett New Space – fenomen, vars affärsverksamhet kallas New Space Economy – en ny rymdaffärsverksamhet.</p> <p>Den nya rymdteknologins frammarsch med tillhörande tillämpningar kommer inte att ersätta de system som producerats av den traditionella rymdteknologin. Det är viktigt att konstatera. Den nya teknologin för med sig både nya möjligheter för utnyttjandet av rymden och kompletterar dessutom de traditionella rymdsystemen.</p> <p>Denna studie utforskar en ny miljö för rymdverksamhet med tanke på de nationella möjligheterna att utnyttja affärspotential som finns för att tjäna det finska samhället.</p> <p>Att med nationell finansiering skapa nya tekniskt vetenskapliga resurser har en viktig hävstångseffekt på både affärsverksamheten och säkerhetstillämpningarna. Kunskap och innovation lockar tillväxtfinansiering och möjliggör på det viset en snabb tillväxt för affärsverksamheten. Utnyttjandet av rymden i säkerhetssyfte förutsätter tillgång till högkvalitativ kunskap och gynnas av en framgångsrik affärsverksamhet.</p> <p>Genom att agera aktivt kan Finland dra nytta av de omfattande affärsmöjligheter det rymdtekniska brytningskedet nu erbjuder och samtidigt förbereda sig för nya utmaningar för att bevara säkerheten. Våra åtgärdsrekommendationer är i linje med detta.</p> <p>Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan. (tietokayttoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.</p>		
Förläggare	Statsrådets kansli		
Distribution/ beställningar	Elektronisk version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Beställningar: vnjulkaisumyynti.fi		

Description sheet

Published by	Prime Minister's Office	13 February 2020	
Authors	Ari-Matti Harri, Juha-Matti Liukkonen, Christopher Rowley, Mika Aaltola, Antti Näsilä, Juhani Huovelin		
Title of publication	AVAUS – New Space - security dimensions and business potential		
Series and publication number	Publications of the Prime Minister's Office 2020:8		
ISBN (printed)	978-952-287-831-1		
ISBN PDF	978-952-287-830-4	ISSN (PDF)	2342-6799
Website address (URN)	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-830-4		
Pages	100	Language	Finnish
Keywords	Space, New Space, Safety, Business, Research, Research activities		
<p>Abstract</p> <p>Space activity has for a long time had a substantial strategic significance for the operation of the society, national safety, and administrative decision making. Societal functions utilize data produced and transmitted by satellites, the amount and geographical coverage of which has radically increased in recent years. In the past large-scale space activity required substantial financial investment and was only practiced by a few superpowers. Now technological development has created affordable space technology that provides an efficient means to respond to the needs and wishes of the society and industry. Completely new applications and services based on efficient combination of observations made in space and on ground are now possible. This phenomenon is called New Space and the related business opportunities are called New Space Economy.</p> <p>It is important to note that the emergence of new space technology and possible applications is not replacing systems implemented with traditional space technology. Clearly, new space technology is creating disruptive solutions and opportunities for utilizing space, but it also complements traditional space infrastructural systems like large scale satellite observational programs.</p> <p>This project investigates the new space environment from the point of view of national utilization: how could we best harness the emerging technology relevant for national safety as well as business potential to serve the Finnish society?</p> <p>Technological and scientific ability created using national basic funding will have important leverage on business and the Finnish safety. Know-how and innovations entice growth financing, enabling rapid growth of business. Utilization of space for the service of national safety requires high quality know-how, and will benefit from successful business.</p> <p>Prompt action will allow Finland to utilize the extensive business opportunities and to prepare for the new safety challenges created by the change in space technology. Our recommended actions are in line with this.</p> <p>This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.</p>			
Publisher	Prime Minister's Office		
Distributed by/ Publication sales	Online version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Publication sales: vnjulkaisumyynti.fi		

Sisältö

LUKIJALLE	9
1 Johdanto	14
1.1 Selvitystyön tausta	14
1.2 Selvityksen tavoitteet	16
1.3 Tutkimusmenetelmät ja toteutus	17
1.4 Raportin rakenne	18
2 Globaalin avaruustoiminnan murros	20
2.1 Pienikin pääsee nyt mukaan, mutta isot dominoivat	20
2.2 Avaruudesta on tullut arkipäiväistä ja kaupallista toimintaa	26
2.3 Ruuhka avaruudessa tuo uusia haasteita Suomen turvallisuudelle	28
2.4 Avaruusturismi ja muu tieteisfiktio on muuttumassa todellisuudeksi	29
3 Avaruustoiminta Suomessa tänään	31
3.1 Suomessa on tehty avaruusteknologiaa tehokkaasti ja itseohjautuvasti	31
3.2 Suomen avaruushallinto on kehittymässä – varoja puuttuu	37
3.3 Suomalainen avaruustoiminta – tiedehankkeiden lisäksi kohti kaupallista avaruutta	39
3.4 Suomen turvallisuusyhteistyö avaruustoiminnassa	52
4 Suomalainen avaruustoiminta globaalissa murroksessa	54
4.1 Toimintaympäristön muutos kiihtyy – avaruushallinto joutuu tulikokeeseen ..	54
4.2 Murroksen vaikutukset turvallisuuteen	58
4.3 Avaruustoiminnalla on hyvät lähtökohdat	62
4.4 Uuden avaruustoiminnan kasvun esteet	63
5 Suomalaisen avaruustoiminnan mahdollisia tulevaisuuskuvia 2030	66
5.1 Tulevaisuuskuvat hahmottavat mahdollisia kehityskulkuja	66
5.2 Tulevaisuuskuva A: Perinteisen teollisuuden valta	67
5.3 Tulevaisuuskuva B: Euroopan uusi avaruus	69
5.4 Tulevaisuuskuva C: Varautumisen aikakausi	71
5.5 Tulevaisuuskuva D: Kukoistava avaruusala Suomessa	72
6 Vastaukset tutkimuskysymyksiin	74
7 Toimenpidesuosituks	82

8 Yhteenveto	86
Lyhenneluettelo	90
Liitteet	92
Lähdeluettelo	95

LUKIJALLE

Uuden avaruuden aika – näin Suomi pääsee mukaan ja pysyy turvallisena

Ihmiskunta on astunut uuden, kaupallisen avaruuden aikaan. Se tarjoaa Suomelle uusia mahdollisuuksia, mutta samalla myös uusia turvallisuusuhkia. Järkevällä hallinnolla ja järkevästi kohdennetuilla hankinnoilla voimme vivuttaa itsemme muiden avulla omia voimiamme korkeammalle – niin liiketoiminnassa kuin kyvyssämme huolehtia Suomen turvallisuudesta.

Avaruuden uusi aika alkoi, koska avaruusteknologian kehittyminen, pienentyminen ja erityisesti laukaisupalvelujen halventuminen ovat kuluneen digitalisaation vuosikymmenen aikana laskeneet avaruustoiminnan kustannuksia radikaalisti. Käytännössä kaikki valtiolliset toimijat ja pienehköt yritykset ja muut organisaatiot pystyvät toteuttamaan omia satelliittihankkeitaan. Ennen avaruus oli parin suurvallan kilpakenttä ja satelliitit isoja – nyt NASA ostaa yksityisiltä alihankkijoilta rahtipalveluja avaruusasemille ja avaruuteen nostetaan pikkusatelliittien parvia. Oman valvontasatelliitin saa taivaalle puolella miljoonalla eurolla. Dinosaurusten aika on ohi ja pienemmät toimijat valtaavat elintilaa.

Samaan aikaan avaruudessa toimivien järjestelmien tuottaman datan määrä, kattavuus ja monipuolisuus on moninkertaistunut. Tämä mahdollistaa täysin uusia sovelluksia ja palveluita, jotka perustuvat avaruudesta ja Maan pinnalta tehtyjen havaintojen tehokkaaseen yhdistämiseen. Siksi kansainvälisesti puhutaan New Space -ilmiöstä. Se tarkoittaa merkittäviä uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Vuonna 2018 avaruussektorille sijoitettiin ennätyselliset 3,2 miljardia dollaria yksityistä pääomaa – tätä murrosta kutsutaan New Space Economyksi, kaupallisen avaruuden ajaksi.

Avaruusjärjestelmiin perustuu jo nyt kymmenen prosenttia Euroopan bruttokansantuotteesta. Esimerkiksi paikannus- ja navigaatiopalvelut, sään ennustaminen, ympäristön ja ilmastonmuutoksen seuranta sekä monet maa- ja metsätalouden palvelut perustuvat satelliittien tarjoamiin ratkaisuihin. Myös 5G-standardiin ollaan määrittelemässä

yhteistoimintaa satelliittien kanssa. Suuntaus on selvä, ja siksi Suomen kannattaa vetää yhteen omaa vahvaa osaamistaan avaruustoiminnasta ja nostaa se uudelle tasolle. Avaruuspohjaiset kaupalliset ratkaisut ovat luonnostaan globaaleja. Kiertoradoilla ei ole kielimuuria. Se luo valtavan markkinapotentiaalin myös suomalaisille avaruusinnovaatioille.

Nyt pelikenttä on muuttunut. Avaruustoiminnan hyödyntäminen on digitalisoitunut, demokratisoitunut ja kaupallistunut, hyvässä ja pahassa. Se tuo turvallisuushakia, mutta antaa Suomelle myös mahdollisuuden nousta avaruuden tähtisarjaan. Toki olemme jo korkealla mitalitaulukossa. Suomalaiset toimijat ovat jo vuosikymmenien ajan osallistuneet vaativiin kansainvälisiin avaruushankkeisiin ja olleet keskeisessä asemassa uusien avaruusratkaisujen luomisessa. Meillä on myös tällä hetkellä kykyä suunnitella, rakentaa ja operoida nano- ja mikrosatelliitteja.

Menestyminen kaupallisuuden avaruuden aikana vaatii kuitenkin parempia puitteita suomalaiselle avaruustoiminnalle: toisaalta toimintakykyisemmän avaruushallinnon ja toisaalta yhä syvempiä kotimaisia ja kansainvälisiä kumppanuuksia julkisten toimijoiden ja yritysten välillä. Kaupallisen avaruuden aikana turvallisuuspolitiikka ja liiketoiminta kietoutuvat yhteen tiukemmin kuin äkkiseltään luulisi – kaupallista toimintaa tarvitaan nimenomaan siksi, että valtio pystyy kehittämään kykyään pitää Suomi turvallisena.

Kaupallisen avaruustoiminnan kenttä on väistämättä kansainvälinen. Nykyisissä avaruusjärjestelmien rakentamisen ja käytön arvoketjuissa mikropiirit tulevat yhdestä maasta ja aurinkopaneelit toisesta, kokoonpano tehdään kolmannessa ja laukaisu kiertoradalle mahdollisesti neljännessä maassa. Avaruusjärjestelmän operaattori ohjaa järjestelmää tietoverkkoon kytkettyjen radioasemien kautta ja tuottaa palveluita tietoverkon yli.

Tällä on vaikutuksia niin turvallisuuspolitiikkaan kuin valtion rooliin yritysten rahoittajana.

Avaruusjärjestelmien tuotantoketjujen kompleksisuus lisää niiden haavoittuvuutta kybervaikuttamiselle. Monimutkaiset tuotantoketjut tekevät turvallisuuden kannalta kriittisen järjestelmien ylläpidosta haastavaa. Toiminnan jatkuvuutta on yhä vaikeampi taata. Samalla teknologian halventuminen ja kehittyminen lisää mahdollisuuksia alueiden tarkkailuun ja valvontaan valtioiden välisistä rajoista piittaamatta. Emme nytkään tiedä tarkkaan, millaisia valvontajärjestelmiä yllämme on. Suojautuminen muiden satelliitteja operoivien tahojen kyvyltä muodostaa tarkkaa tilannekuvaa vaatii tiiviimpää eurooppalaista ja bilateraalista yhteistyötä.

Koska yhteiskunnan toiminnot perustuvat kasvavassa määrin avaruuspalveluihin, niistä on tullut kiinnostavia sotilaallisenkin vaikuttamisen kohteita. Paikannuspalveluiden ja viestiliikenteen häirinnästä on jo useita esimerkkitapauksia. Siksi kaupallisen avaruuden aikana tarvitaan uusia kyvykkyyksiä.

Suomi voi hankkia niitä kykyjä kansainvälisen yhteistyön ja kumppanuuksien kautta. Mutta jotta pääsemme sitomaan itseämme eurooppalaiseen ja trans-atlanttisiin satelliittijärjestelmiin, Suomella pitää olla jotain omaa osaamista tarjottavanaan. Pelkkä entinen osaaminen ei aina enää riitä. Teknisen yksittäisen mittalaitteen rakentamisen lisäksi meillä pitää tulevaisuudessa olla esimerkiksi kykyä sarjatuotantoon. Se tukee myös suomalaista avaruusliiketoimintaa, mutta toisaalta helpottaa Suomen pääsemistä mukaan kumppanuuksiin jotka antavat huoltovarmuutta, aluevalvontamahdollisuuksia tai tiedustelukykyä.

Avaruuden kaupallistuminen on vielä muotoutuva markkina, jossa ei ole tarjolla helppoja pikavoittoja. Esimerkkinä toimivat julkisten toimijoiden globaalit avaruussääkeskukset – joista yksi on Ilmatieteen laitoksella Suomessa. Niiden perustoiminnalle on kyllä maksaja eli lentoliikenne, mutta tuon toiminnan päälle ja rinnalle on nykyään mahdollista rakentaa lisää kaupallisia markkinoita. Kukaan ei osaa siksi varmuudella valita yrityksiä, joiden ideaan kannattaa sijoittaa rahaa. Kilpailijoita on paljon. Monin paikoin luodaan vielä avaruuden infraa ja toimintaa, jonka päälle todellinen markkina ja palvelut voivat syntyä.

Avaruuden kaupallistuminen on kuitenkin megatrendi, joka ei pysähdy. Tämä murros on mahdollista kääntää taloudelliseksi toiminnaksi myös Suomessa. Siihen mukaan pääseminen ei kuitenkaan onnistu yksin valtiolta eikä yksin yrityksiltä, vaikka ne saisivat riskirahaa toimintaansa.

Oleennaista on huomata valtion uusi kaksoisrooli. Sen pitää rahoittaa vanhaa ja synnyttää uutta. Uusi avaruustoiminta syntyy isojen valtioiden välisten järjestelmien ja vanhojen teknologioiden ympärille. Niiden ylläpito maksaa, eikä tiedekään halpene. Kaupallinen avaruustoiminta taas on yhä halvempaa, mutta se ei vielä synny itsestään. Siksi valtion on syytä tehdä kansallisesti suunnattuja hankintoja tutkimustoiminnan liepeille syntyvien yritysten palveluille. Valtion kanssa tehdyt pilottihankkeet ovat tarpeellisia referenssejä, kun suomalaiset yritykset kytkeytyvät mukaan avaruuden kansainvälisiin arvoketjuihin.

Julkisten toimijoiden tekemiä hankintoja voidaan kutsua ankkurihankinnoiksi. Taustalla ovat muiden maiden positiiviset kokemukset. Perinteisistä hankinnoista poikkeavat pitkät kumppanuussopimukset valtion kanssa ovat monen yhdysvaltalaisen avaruusyrityksen menestyksen syy. Ankkuriasiakkuudet mahdollistavat tilauksia ja ennustettavaa kassavirtaa kaupallisille palveluntuottajille, joka tekee näistä myös pääomasijoittajille kiinnostavia kohteita ja siten mahdollistaa itsenäisesti elinkelpoisen ja kasvukykyisen yritystoiminnan kehittymistä. Näin avaruustoiminta ei ole kokonaan valtion vastuulla eikä toisaalta vaadi yrityksiltä liian nopeaa tuottoa puhtaana kaupallisilta markkinoilta.

Tällä tavalla kehittynyt suomalainen kyky voisi olla esimerkiksi osaamisemme pohjalta kehitetty satelliittikonstellaatioiden operointi, jossa hyödynnämme pohjoisen sijaintimme tuomaa laajaa näkyvyyttä polaarirataisiin satelliitteihin. Aluksi voisimme myös kehittää

Sodankylän maa-asematoimintaa kaupallisesti helpommin hyödynnettävään suuntaan esimerkiksi lisäämällä tuettuja taajuusalueita ja tekemällä yhteistyötä kaupallisen toimijan kanssa.

”Ratkaisuja on: kohdennetut hankinnat, selkeämpi hallinto sekä EU-tason rahoitus- ja sääntelyratkaisut.”

Kotipesä pitää siis laittaa ensin kuntoon. Ratkaisuja on: aiemmin mainitut kohdennetut hankinnat, selkeämpi hallinto ja vaikuttaminen EU-tason rahoitus- ja sääntelyratkaisuihin.

Ensinnäkin suomalainen avaruushallinto kaipaa virtaviivaistamista – nyt se hajautuu todella moneen paikkaan. Suomella ei ole toimintakykyistä aktiivista ”avaruusvirastoa”. Kaupallisen avaruuden aikana valtion aktiivisen avaruustoimijan olisi elintärkeää olla poikkihallinnollinen ja toimintakykyinen.

Toiseksi tarvitaan myös panostusta avaruustoiminnan kansalliseen rahoitukseen. Avaruustoimintaa on Suomen avaruusstrategian mukaisesti toteutettu ensisijaisesti Euroopan Avaruusjärjestö ESA:n kautta. Nykyään Suomen ESA-rahoituksen taso on alle prosentin ESA:n budjetista, kun sen järjestön peruskirjan mukaan pitäisi olla 1,34 prosenttia.

Tämän raportin tekoprosessi tavoitti työpajoissa laajan joukon alan toimijoita. Niissä syntyi selvä näkemys, että Valtioneuvoston kanslian kannattaisi käynnistää yhteiskehittämisen prosessi Suomen avaruustoiminnan tiekartan luomiseksi. Tiekartassa määriteltäisiin Suomen avaruustoiminnan 3–5 kansainvälistä keihäänkärkeä, joita Suomi lähtee edistämään. Niitä voisivat olla arktiset alueet, avaruuden kestävä käyttö ja satelliittidatan hyödyntämisen standardointi.

Suomi voisi olla aloitteellinen yhteisten EU-standardien ja määräysten kehittämässä, koska juuri niiden avulla luodaan myös markkinoita. EU:n kautta Suomi voi vaikuttaa myös toisella tavalla markkinoiden syntyyn, kun EU:n uuden avaruusasetuksen synnyttämä uusi Euroopan tason avaruustoimija EU Space Agency syntyy ja jos ankkurihankinnat saadaan käyttöön. EU laati vuonna 2018 ehdotuksen, jossa EU:n Galileo-paikannusjärjestelmästä vastanneen GSA:n rooli kasvatettaisiin EU:n avaruusvirastoksi. Viraston budjetti avaisi myös miljardimarkkinan kaupallisille avaruuspalveluille Eurooppaan, mutta nyt se makaa uuden parlamentin hyväksyttävänä. Innovatiivisissa hankinnoissa julkisen ja yksityisen avaruusyhteistyö on määritelty kaupallisen avaruuden aikaan paremmin sopivalla tavalla.

Tämä raportti kuvaa suomalaisen ”avaruuskentän” – valtionhallinnon, tutkimuslaitosten ja alan yritysten – tilaa suhteessa avaruustoiminnan laajempaan muutokseen kaupallisen avaruuden aikana. Tulos on selvä. Juuri nyt on hyvä aika kiihdyttää tahtia ja tehdä suomalainen osaaminen näkyväksi itsellemme ja muille. Määrätietoisempi avaruuspolitiikka ja

yrityskumppanuudet sekä niiden riittävä ja järkevästi suunnattu rahoittaminen ovat keinoja, joilla voimme vivuta itsemme korkeammalle kiertoradalle avaruusmittelöissä. Hyöty on ilmeinen: saamme lisää osaamista, lisää liiketoimintamahdollisuuksia ja lisää turvallisuutta.

Nyt on aika valloittaa kaupallinen avaruus. Aktiivisilla toimilla Suomi pystyy hyödyntämään avaruusteknisen murroksen tarjoamat laajat liiketoiminnalliset mahdollisuudet sekä toisaalta varautumaan turvallisuuteen liittyviin uusiin haasteisiin.

Tekijät

Helmikuu 2020

1 Johdanto

1.1 Selvitystyön tausta

Avaruustoiminta on suuressa murroksessa. Avaruusteknologian kehittyminen ja miniatyrisointi sekä laukaisupalvelujen halventuminen ovat laskeneet avaruustoiminnan kustannuksia radikaalisti viime vuosikymmenen aikana. Erityisesti pienten, niin sanottujen nanosatelliittien ja mikrosatelliittien valmistus- ja laukaisukustannukset ovat edelleen jyrkässä laskusuunnassa. Tämän myötä kynnys valmistaa tai hankkia, laukaista ja operoida satelliitteja sekä jopa satelliittiverkkoja ja -parvia on madaltunut. Aikaisemmin vain suuret valtiot ja kansainväliset organisaatiot kykenivät harjoittamaan avaruustoimintaa. Tänä päivänä käytännössä kaikki valtiolliset toimijat ja tutkimuslaitokset sekä yritykset ja muut yksityiset organisaatiot missä tahansa maassa pystyvät tarvittaessa toteuttamaan omia satelliittihankkeita, koska tarvittavat komponentit ja palvelut voidaan hankkia kaupallisesti ja vain pienellä murto-osalla aiemmin vaadittua investointia.

Avaruustoiminnalla on strateginen merkitys koko yhteiskunnan yleiselle toimivuudelle, kansalliselle turvallisuudelle ja eri hallinnonalojen päätöksenteolle. Keskeisessä roolissa ovat satelliittien tuottama ja välittämä data. Esimerkiksi paikannus- ja navigaatiopalvelut, sään ennustaminen, ympäristön ja ilmastomuutoksen seuranta, sekä monet maa- ja metsätalouden palvelut perustuvat satelliittien tarjoamiin ratkaisuihin. Myös 5G -standardoinnissa määritellään parhaillaan satelliittien hyödyntämistä televerkon kattavuuden lisäämiseksi.

Avaruustoiminnan murroksella on potentiaalia lisätä yhteiskunnan julkisten ja kaupallisten organisaatioiden joustavuutta ja mahdollistaa uudenlaisia toiminta- ja palvelumalleja, jotka voidaan ulottaa maantieteellisesti hyvin laajoille alueille, mikä tuo runsaasti uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Toisaalta se lisää mahdollisuuksia alueiden tarkkailuun ja valvontaan valtioiden välisistä rajoista piittaamatta. Tällä on vaikutuksia kansalliseen turvallisuuteen ja se tuo mukanaan uusia turvallisuuspoliittisia haasteita.

Avaruudessa toimivien järjestelmien tuottaman datan määrä, monipuolisuus, maantieteellinen kattavuus sekä saatavuus on parantunut radikaalisti viime vuosina, ja trendi on

edelleen vahvistumassa. Tämä mahdollistaa täysin uusia sovelluksia ja palveluita, jotka perustuvat avaruudesta ja Maan pinnalta tehtyjen havaintojen tehokkaaseen yhdistämiseen. Edellä kuvatut muutokset kuuluvat New Space -ilmiöön, johon liittyvää kaupallista toimintaa kutsutaan nimellä New Space Economy – Uusi avaruusliiketoiminta. Suomeksi sitä voi kutsua kaupallisen avaruuden ajaksi.

Avaruustalouden kasvu ei ole vielä näkynyt merkittävänä alan rahallisen volyymin kasvuna, mikä johtuu laukaisujen, satelliittien ja laitteiden halpenemisesta. Avaruusalan toimijoiden ja avaruuteen perustuvien palvelujen määrän kasvaessa avaruus näkyy myös tavallisille ihmisille ja kuluttajille entistä konkreettisemmin ja siitä on tulossa osa arkea. Muutos näkyy avaruustoimijoiden ja erilaisten sovellusten ja soveltamisalueiden määrän kasvuna myös Suomessa. Avaruusala voi nousta suurten teollisuuden alojen joukkoon tulevaisuudessa, mikä edellyttää kansallisten panostusten lisäksi ponnistuksia kansainvälisen yhteistyön lisäämiseen.

Avaruus on keskeisessä roolissa myös puolustussektorilla, ja lähes kaikkia avaruusjärjestelmiä ja teknologioita hyödynnetään myös sotilaallisesti. Suurvaltojen puolustusvoimien tilannekuvan päivitykset, kommunikointi joukko-osastojen ja automaattisten järjestelmien kanssa sekä toimintojen navigointi ja ajoitus tapahtuvat suurelta osin avaruudessa toimivien satelliittijärjestelmien avulla. Tilannetietoisuuden ylläpitäminen maassa, ilmakehässä ja avaruudessa on keskeistä myös Suomen turvallisuuden kannalta. New Space tuo perinteisiin avaruutta hyödyntäviin järjestelmiin ja toimintoihin uusia elementtejä, jotka vaikuttavat sekä globaaleihin että Suomen kansallisiin turvallisuusratkaisuihin ja toisaalta tarjoavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Uuden avaruusteknologian ja sen tuomien sovellusmahdollisuuksien esiinmarssi ei ole korvaamassa perinteisellä avaruusteknologialla toteutettuja järjestelmiä. Uudet teknologiat monipuolistavat avaruuden hyödyntämismahdollisuuksia sekä täydentävät perinteisiä avaruusjärjestelmiä, jotka edelleen säilyttävät oman tärkeä roolinsa.

Tämä työ käsittelee avaruusteknologista toimintaympäristöä. Olemme rajanneet siitä pois troposfäärin yläpuolella operoivat HAPS-laitteet (High Altitude Pseudo Satellite) sekä muut RPAS-järjestelmät (Remotely Piloted Aircraft Systems). Olemme katsoneet niiden edustavan paikallisia tukijärjestelmiä ja tällä perusteella rajanneet ne tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Suomessa on korkeatasoista tieteellistä ja teknologista osaamista, mikä edesauttaa avaruustoiminnan murroksen hyödyntämistä. Suomalaiset toimijat ovat jo vuosikymmenien ajan osallistuneet vaativiin kansainvälisiin avaruushankkeisiin ja olleet keskeisessä asemassa uusien avaruusratkaisujen luomisessa. Viimeisin vuosikymmen on osoittanut, että meillä on myös kykyä suunnitella, rakentaa, ja operoida nano- ja mikrosatelliitteja sekä muutaman satelliitin konstellatioita. Niitä ovat toteuttaneet muun muassa yksityiset yritykset ICEYE Oy

ja Reaktor Space Labs Oy sekä Aalto-yliopisto, jotka ovat ottaneet hyötykuormakseen mm. Ilmatieteen laitoksen, VTT:n, Turun yliopiston sekä Isaware Oy:n kehittämiä uuden sukupolven avaruuslaitteita.

Syvällistä avaruusalan osaamista ovat osoittaneet alalla jo pitkään toimineet yritykset, mm. Space Systems Finland Oy, Ruag Space Finland Oy, Oxford Instruments Technologies Oy, DA-Design Oy, Harp Technology Oy sekä Aboa Space Research Oy. Korkean tason avaruusalan osaamista on myös monissa muissa suomalaisissa yrityksissä ja tutkimuslaitoksissa. Monet yritykset myös yhdistävät avaruudesta ja Maan pinnalta tehtyjä havaintoja ja hyödyntävät niitä omissa tuotteissaan ja sovelluksissaan. Tämä osaaminen yhdistettynä Sodankylän satelliittimaa-aseman palveluihin ovat luoneet Suomelle kyvyn luoda kokonaisvaltaisia avaruustoimintaa hyödyntäviä palveluja ja tuotteita kansalaisille, yrityksille ja viranomaisille. Avaruusteknologian murros tarjoaa myös haitallisille toimijoille paremmat mahdollisuudet hankkia kattavaa tilannekuvaa Suomesta. Tähän haasteeseen vastaaminen edellyttää vahvoja kansainvälisiä kumppanuuksia. Näissä kumppanuuksissa avaruusliiketoiminta ja turvallisuus kytkeytyvät luontevasti toisiinsa.

1.2 Selvityksen tavoitteet

AVAUS-tutkimushanke tarkasteli uutta avaruustoimintaa ja sen lisääntyvää käyttöä Suomelle edullisten hyödyntämismahdollisuuksien kautta. Hankkeen keskeiset tutkimusaiheet olivat: a) Suomen vahvuudet ja niiden hyödyntäminen uudessa avaruuden toimintaympäristössä, b) käynnissä olevan avaruusteknologian murroksen vaikutus yhteiskuntamme turvallisuuteen ja c) miten murroksen mukanaan tuomat kaupalliset ja liiketoiminnalliset mahdollisuudet voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti Suomen kilpailukykyä ja yhteiskunnan hyvinvoinnin edistämiseksi.

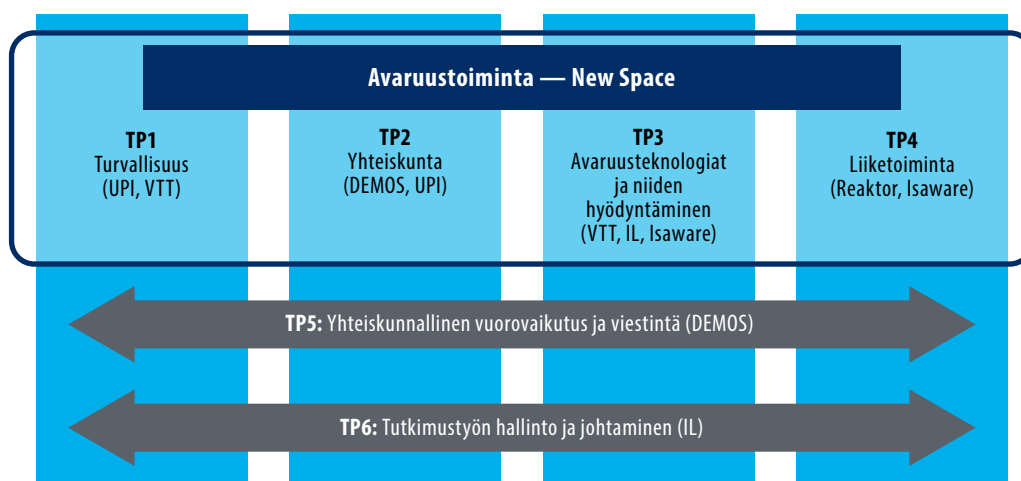
Tutkimustyössä annettiin lisäksi analysoitavaksi seuraavat kohdennetut kysymykset:

- Mitkä ovat Suomen vahvuudet ja miten niitä hyödynnetään uudessa avaruustoimintaympäristössä?
- Mille osaamisalueille tulisi kohdentaa erityistä huomiota ja resursseja?
- Miten voidaan maksimoida suomalaisen avaruusosaamisen vaikutavuus ja muut kilpailukykyämme vaikuttavatekijät?
- Mitkä ovat avaruuden hyödyntämisen uusien teknologiamahdollisuuksien turvallisuusvaikutukset ja turvallisuuspoliittiset vaikutukset?

- Miten jatkuvan ”aluevalvonnan” alaisina hyödynämme maksimaalisesti saamaamme tietoa ja toisaalta minimoimme sellaisen tiedon saatavuutta, jota emme halua antaa?
- Miten kansallista ja kansainvälistä viranomaisten ja yksityisten toimijoiden yhteistyötä kannattaa kehittää avaruusalalla kansallisen turvallisuuden varmistamisen ja erilaisiin poikkeustilanteisiin varautumisen näkökulmasta?
- Miten kansallinen lainsäädäntö mahdollistaa tai rajoittaa uusien teknologioiden hyödyntämistä muihin maihin verrattuna? Mitkä ovat kansainvälisen sääntelyn vaikutuksia Suomeen?

1.3 Tutkimusmenetelmät ja toteutus

Tutkimushanke jaettiin neljään selvitystyötä sisältävään osioon (työpaketit TP1–TP4), sekä kahteen toimintaa poikkileikkaavaan tehtävään, joita ovat yhteiskunnallinen vuorovaikutus (TP5) ja työn hallinto ja johtaminen (TP6) kuvan 1 mukaisesti. Tutkimusaiheita lähestyttiin kattavilla dokumentoiduilla taustaselvityksillä aiheista turvallisuus, avaruusteknologiat, yhteiskunta ja liiketoiminta. Tärkeänä osana selvitystyötä järjestettiin haastattelut 12 keskeisen suomalaisen avaruusalan vaikuttajan kanssa sekä järjestettiin työpaja, johon osallistui noin 50 avaruusalan asiantuntijaa. Välivaiheen tuloksia esiteltiin Puolustus- ja ilmailuteollisuus (PIA) ry:lle kesäkuussa 2019 sekä Business Finlandin avarusteollisuuden tukiryhmälle syyskuussa 2019. Näistä tapaamisista saatiin runsaasti arvokasta tietoa ja selvityksen laatua parantavia kommentteja.



Kuva 1. AVAUS-hankkeen työn jakautuminen työpaketteihin (TP) ja vastuun jakautuminen kumppaniorganisaatioiden kesken.

AVAUS-hankkeessa käytettiin laadullisia tutkimusmenetelmiä. Tutkimusaihetta lähestyttiin systeemisenä ilmiönä, jossa kaikilla toimijoilla, prosesseilla ja toimenpiteillä on syy-seuraussuhteita toisiinsa. Näin pystyttiin luomaan kokonaiskuva avaruusteknologian murroksesta.

Hankkeen alussa keskityttiin toimintaympäristön kartoitukseen, jossa tunnistettiin avaruuden hyödyntämiseen liittyvät, Suomen toiminnan kannalta keskeiset muutosilmiöt ja ajurit. Näiden pohjalta identifioitiin mahdollisia tulevaisuusskenaarioita ja laadittiin niiden pohjalta toivottavia tulevaisuuden tiloja ja toimenpidesuosituksia. Verkostoanalyysiin tarkoitetuilla työkaluilla analysoitiin avaruusteknologian, liiketoiminnan, turvallisuuden ja hallinnon toimijoita sekä toimijaverkoston luomia merkityksiä, identiteettejä ja intressejä. Näin saatiin käsitys toimijoiden välisestä keskinäisriippuvuus- ja vuorovaikutussuhteista. Liiketoiminta-analyysin avulla tutkittiin avaruuden hyödyntämiseen liittyviä liiketoiminnallisia tarpeita ja ratkaisuja, erityisesti uusien teknologioiden synnyttämiä liiketoimintamahdollisuuksia. Samalla pyrittiin tunnistamaan aukkoja olemassa olevissa arvoketjuissa sekä uusien ketjujen ja ekosysteemien alkuja. Näiden pohjalta luotiin toimenpidesuosituksia avaruushallinnon järjestämiseen, avaruustoiminnan regulaatioon ja erityisesti julkisen tutkimus- ja kehitysrahoituksen kehittämiseen avaruustoiminnan näkökulmasta.

1.4 Raportin rakenne

Tämä AVAUS-hankkeen loppuraportti kuvaa luvuissa 2 ja 3 globaalien avaruustoiminnan murrosta ja sen arvioitua etenemistä lähivuosina sekä analysoi suomalaisen avaruustoiminnan nykytilannetta. Edellä kuvatun perusteella luvussa 4 arvioidaan suomalaisen avaruusalalan liiketoiminnan mahdollisuuksia sekä turvallisuuden kohtaamia haasteita globaalien murroksen edetessä. Luku 5 hahmottelee suomalaisen avaruustoiminnan mahdollisia tulevaisuuden tilannekuvia vuonna 2030 perustuen mahdollisiin kansallisiin ja EU-tason tapahtumiin ja päätöksiin. Luvussa 6 kuvataan vastaukset tutkimuksen tehtävänannossa määriteltyihin kohdennettuihin kysymyksiin. Suoritettujen analyysien ja hahmoteltujen tilannekuvien pohjalta suositellaan luvussa 7 kansallisia toimenpiteitä, joiden avulla Suomi voisi parhaiten hyödyntää käynnissä olevan avaruustoiminnan murroksen. Nuo toimenpiteet olisi käynnistettävä lähivuosien aikana, jotta Suomen kannalta suotuisa tilanne olisi saavutettavissa.

Murros tarjoaa aina uusia mahdollisuuksia ja toisaalta tuo mukanaan haasteita – tämä pätee myös avaruustoimintaan. Tutkimuksemme perusteella näyttää selvältä, että käynnissä oleva avaruusteknologian murros voidaan hyödyntää parhaiten vahvalla yksityisen ja

julkisen sektorin yhteistyöllä sekä koordinoimalla hallinnon toimia yli ministeriöiden rajojen. Toimenpidesuositukset ovat tämän mukaisia.

AVAUS-hanke on osa valtioneuvoston vuoden 2019 selvitys- ja tutkimustoimintaa (VN TEAS). Hanketta johtaa Ilmatieteen laitos kumppaneinaan Reaktor Innovations Oy, Ulkopoliittinen Instituutti, Demos Helsinki, Isaware Oy ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

2 Globaalin avaruustoiminnan murros

Laukaisu- ja satelliittiteknologian kehitys kohti yhä halvempia ratkaisuja lisää avaruusalun toimijoiden määrää. Tätä vauhdittaa myös eri toimijoiden tarve yhä ajantasaisemmasta tilannekuvasta. Siksi avaruustoiminta on imenyt kiihtyvällä tahdilla yksityisiä sijoituksia. Mukaan pääseminen ei kuitenkaan ole pienille toimijoille helppoa. Samalla teknologian halventuminen ja kehittyminen lisää mahdollisuuksia alueiden tarkkailuun valtioiden välisistä rajoista piittaamatta. Navigaatio- ja kommunikaatiojärjestelmien häirinnästä on jo useita esimerkkitapauksia. Ruuhka avaruudessa tuo myös Suomelle uusia turvallisuushaasteita. Kaupallisen avaruustoiminnan monimutkaiset tuotantoketjut tekevät turvallisuuden kannalta kriittisten järjestelmien ylläpidosta haastavaa.

2.1 Pienikin pääsee nyt mukaan, mutta isot dominoivat

Avaruustoiminta näkyy arjessamme yleensä median kautta. Silloin esiin nousevat vieraiden planeettojen löytäminen ja isot tiedeprojektit, joilla ihminen tutkii ja yrittää ottaa haltuun avaruutta. Näiden alle on jäänyt kuitenkin jo alkanut kaupallisen avaruuden vallankumous. Avaruudessa toimivat järjestelmät valtaavat alaa ja uivat arkeemme salaa – emme huomaa emmekä tiedä esimerkiksi sitä, millaiset järjestelmät meille tietoa välittävät. On olennaista ymmärtää, että avaruusjärjestelmät eivät useinkaan näy kuluttajille. Koko ajan ne kuitenkin korvaavat maanpäällisiä järjestelmiä esimerkiksi tietoliikenteen ja paikkatiedon välittäjinä.

Kaupallisen avaruuden aika tuo mukanaan mahdollisuuksia, joiden hyödyntämiseen kannattaa panostaa. Lisäksi se tuo uhkia, joiden torjumiseksi on kehitettävä uusia menetelmiä.

Avaruustoiminnalla on ollut valtapoliittinen rooli ensimmäisen Maata kiertävän satelliitin laukaisusta lähtien yli 60 vuotta sitten. Avaruustoiminta on ollut pitkään vain suurvaltojen ja kansainvälisten järjestöjen harjoittamaa, mikä johtuu teknologioiden ja erityisesti laukaisujärjestelmien kehittämisen sekä ylläpidon korkeista kustannuksista. 1980-luvulle

saakka avaruustoiminnan kenttää hallitsi kaksi suurvaltaa, Yhdysvallat ja Neuvostoliitto. Nykyisin avaruusalan suurvaltoihin kuuluvat edellisten lisäksi Kiina ja Intia ja lisäksi Japanilla, Iso-Britannialla, Saksalla, Ranskalla ja Italialla on tärkeä rooli. Euroopan Avaruusjärjestö vahventaa eurooppalaisten suurvaltojen ja samalla myös Suomen asemaa avaruussektorilla.

Vuosituhaten vaihteessa alkanut kehitys kohti avaruustoiminnan kasvavaa kaupallistumista on muuttamassa tilannekuvaa. Laukaisu- ja satelliittiteknologian kehitys kohti yhä halvempia ratkaisuja on lisäämässä avaruusalan toimijoiden määrää ja mahdollistamassa yhä pienempien toimijoiden liittymisen avaruustoimijoiden joukkoon.

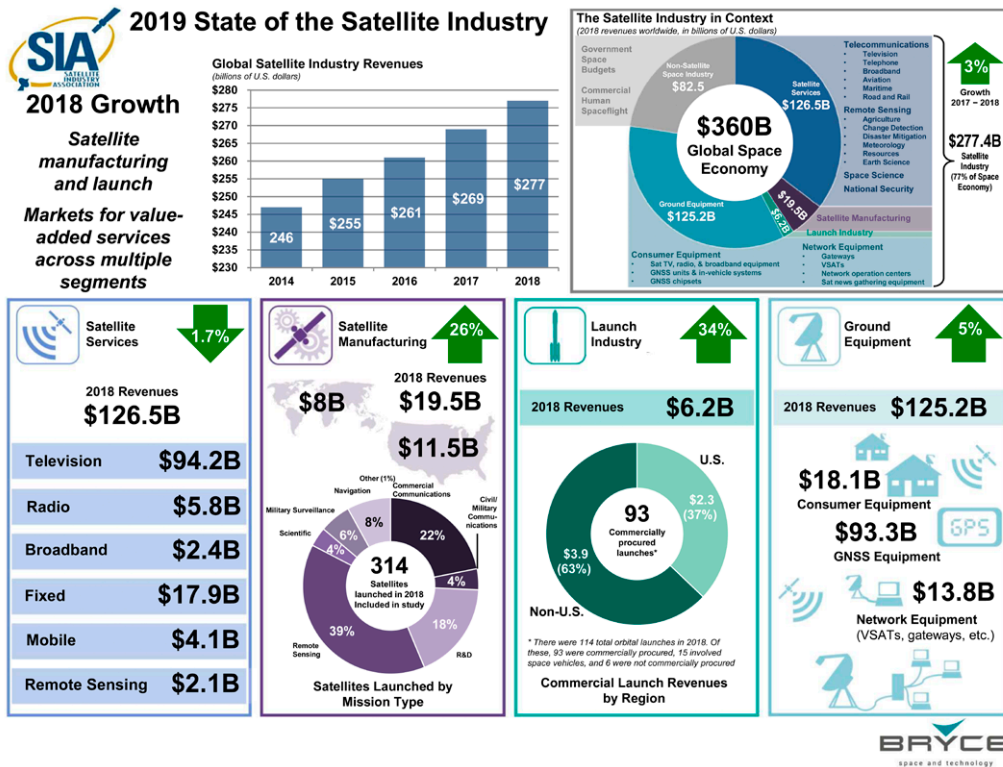
Tätä vauhdittaa myös eri toimijoiden tarve yhä ajantasaisemmasta tilannekuvasta, koska se sitten säätää, liikenteen määrää tai mitä tahansa tietoa, jota pitää kerätä koko ajan, laajalta alueelta ja ajantasaisesti. Digitalisaation ja alustatalouden rakenteet sekä ilmastonmuutoksen seurantaan keskittyneet toimijat janoavat ajantasaista tilannekuvaa ja tietoliikennekapasiteetin tarve kasvaa kaikkialla.

“Alustatalouden rakenteet ja ilmastonmuutoksen seurantaan keskittyneet toimijat janoavat ajantasaista tilannekuvaa.”

Satelliittiteollisuuden yhdistyksen (SIA) vuoden 2018 globaalin avarusteollisuuden tilannekuvassa (kuva 2) avaruustalouden maailmanlaajuisesti kokonaisvolyymiksi arvioitiin vuonna 2018 noin 360 miljardia dollaria. Tästä satelliittiteollisuuden osuus on yli kolme neljäsosaa. Satelliittiteollisuuden liikevaihto on kasvanut tasaisesti 2–3 prosentin vuosivauhdilla viimeisellä viisivuotijaksolla. Kasvuvauhti ei kokonaisuudessaan ole kovin voimakasta, mutta tilannekuvan kannalta voidaan tehdä joitain merkittäviä ja mielenkiintoisia havaintoja, jotka näyttävät kytkeytyvän jäljempänä erikseen tarkasteltavan uuden avaruustalouden ja avaruus-startup-toiminnan kehittymiseen. Alla olevan listan luvut koskevat liikevaihtoa, ja ne ovat merkittysektoreittain suurimmasta pienimpään vuodelle 2018¹.

- Satelliittipalveluissa (126,5 miljardia USD) lisäarvopalveluilla varustettujen satelliittipohjaisten mobiili- ja laajakaistaliittymien osalta havaittiin 3–12% kasvu. Laskeva satelliitti-TV- ja vastaanotinpalveluiden kysyntä painoi kuitenkin tämän satelliittiteollisuuden suurimman sektorin kokonaisvolyymin noin 2 prosenttia edellistä vuotta pienemmäksi.
- Maajärjestelmissä (125,2 miljardia USD) kokonaiskasvu oli 5%, joka muodostui kasvusta satelliittipaikannus- ja verkkolaitemarkkinoilla. Kuluttajamarkkinat olivat sen sijaan lievässä laskussa.

- Satelliittien valmistusteollisuuden (19,5 miljardia USD) kasvu oli 26 %, mikä johtui pääosin suurista tiedustelu- ja sotilaalliseen käyttöön tulevien satelliittien tilauksista Yhdysvalloissa ja muualla.
- Laukaisuteollisuudessa (6,2 miljardia USD) kasvu oli suurinta eli jopa 34 %, mikä johtui kaupallisten laukaisujen ennätyskellisen suuresta määrästä.



Kuva 2. Satelliittiteollisuuden yleiskatsaus vuodelle 2018. Kuva: BRYCE Space and Technology.

Enkeli- ja riskisijoittajien rahoituksella on 2000-luvulla tuettu yli 200 uuden avaruusalanyrityksen syntymistä ja kasvua maailmassa. Sijoituksia on tehty yhteensä noin 21,8 miljardin USD edestä, josta 8,4 miljardia on riskipääomaa, 3,1 miljardia siemenrahoitusta ja 4,7 miljardia velkarahoitusta. Riskipääomasijoituksista noin 85 prosenttia on tehty vuosien 2015–2018 aikana, josta ennätyskelliset 3,2 miljardia USD tehtiin vuonna 2018.

Suomalaisilla avaruusalanyrityksillä on paljon mahdollisuuksia kasvavilla uuden avaruuden markkinoilla sekä sijoituskohteena että tuotteiden ja palveluiden tarjoajana.

Saman tilaston mukaan tehdyistä sijoituksista lähes 50 prosenttia meni vuosien 2014–2018 aikanakolmelle yritykselle: SpaceX, Blue Origin ja OneWeb. Samana jaksona Rocket Lab, Planet, O3b Networks, Mapbox, Spaceflight, GATR Technologies, Terra Bella ja Black

Sky saivat 27 prosenttia tehdyistä sijoituksista, ja loput sijoituksista jakautuivat 150 yritykselle. Sijoituksista 80 prosenttia päätyi yhdysvaltalaisille yrityksille. Kiina ja Iso-Britannia vastaavat 60 prosentista jäljellä olevasta muun maailman osuudesta.

Suomesta ICEYE on tähän mennessä ainoa yritys, jonka voidaan laskea kuuluvan sijoituskohteeksi tässä tilastossa. Haasteena suomalaisille yrityksille on toimintakenttä, jota hallitseva suuret yhdysvaltalaiset yritykset, sijoittajat ja osin myös Yhdysvaltain liittohallituksen eri virastot. Tämän takia merkittävien sijoitusten tai kaupallisten tilausten saaminen suomalaisyrityksille on haasteellinen tehtävä. Suuren ulkomaisen sijoittajan mukaantulo voi myös johtaa yrityksen siirtymiseen pois Suomesta.

Miljardöörit Jeff Bezos, Richard Branson ja Elon Musk ovat sijoittaneet isoja summia omien avaruusyritystensä kehittämiseen. Se on vaikuttanut koko avaruusalan sijoitustoiminnan painopisteisiin. Merkittäviin avaruusalan sijoittajiin kuuluu myös suuryrityksiä, kuten Boeing, Goldman Sachs, Morgan Stanley, Raytheon ja Rolls Royce.²

Muutamien avaruusyritysten toiminnalla on ollut keskeinen rooli laukaisuteollisuuden liikevaihdon voimakkaassa kasvussa. Yhdysvaltalaisen Elon Muskin rahoittama SpaceX on tällä hetkellä maailman suurin omaan teknologiaan perustuvien kaupallisten laukaisupalveluiden tarjoaja piensatelliittisektorilla. Sen lisäksi Rocket Lab myy omien järjestelmiensä laukaisuja piensatelliiteille, ja Spaceflight välittää laukaisupalveluita eri puolilta maailmaa. Kaikki nämä yritykset ovat Yhdysvalloissa. Muilla sektoreilla ei ole selkeästi nähtävissä kasvua uuden avaruusteollisuuden osuudessa liikevaihdon kokonaisvolyymista. Piensatelliittien tuotantomäärien voimakas kasvu kompensoituu satelliittien yksikköhinnan halpeneemisella, eikä siten ainakaan vielä näy satelliittien valmistusteollisuuden kokonaisliikevaihdon kasvuna. Lisäksi satelliittipalveluissa suuriin piensatelliittiparviin perustuvat mobiili- ja laajakaistapalvelut ovat vasta rakentamisvaiheessa.

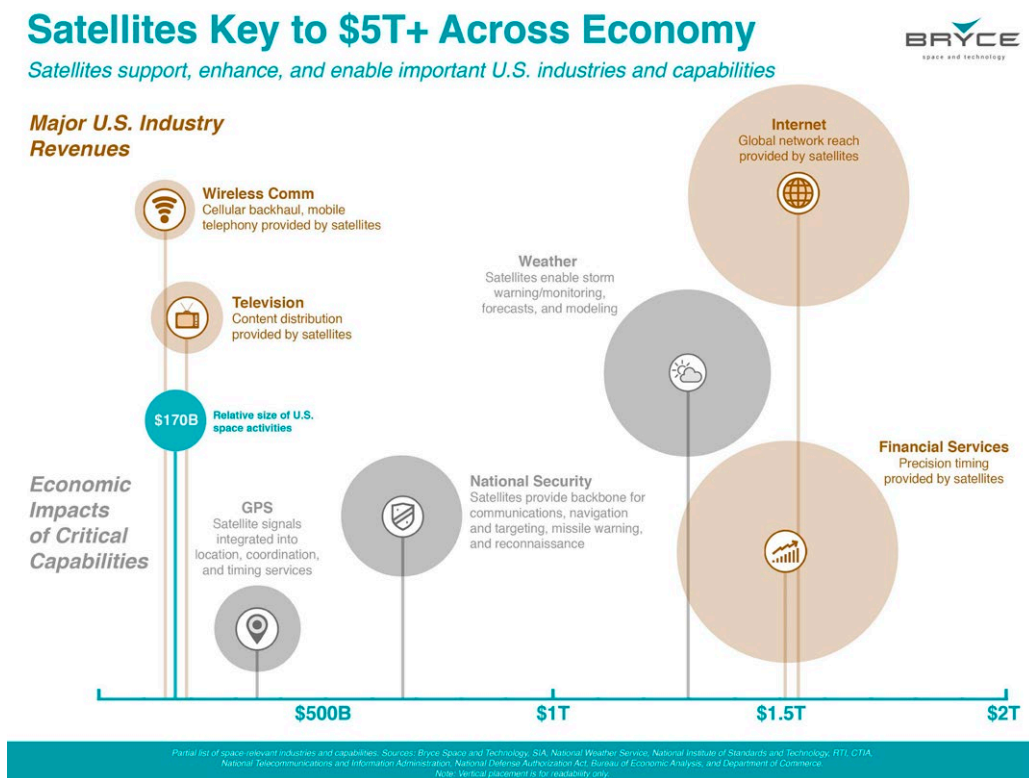
Intian Avaruusjärjestö (ISRO) tarjoaa satelliittien kaupallisia laukaisupalveluita sekä kotimaisille että kansainvälisille asiakkaille Antrix Corporation -nimisen yksikön kautta. Sen järjestelmät ovat hyvin joustavasti konfiguroitavissa lähes 4 000 kg hyötykuorman saattamiseksi matalalle Maata kiertävälle radalle, ja niillä on mahdollisuus toimittaa hyötykuormasta riippuen satelliitteja myös korkeille radoille sekä luotaimia Kuuhun ja jopa Marsiin. Intian laukaisupalveluita käytetään paljon ja sen toimittamien laukaisujen määrä saattaa olla jopa suurempi kuin SpaceX:n, mutta toiminnan rahallisesta volyyymistä ei ole tietoja tähän selvitykseen käytetyissä tilastoissa.

Avaruusteknologialla ja siihen perustuvilla ratkaisuilla ja palveluilla on yhä laajempi yhteiskunnallinen rooli. Satelliitit tukevat, parantavat ja mahdollistavat toimintoja ja palveluita hyvin kustannustehokkaasti, ja avaruuslaitteilla tuotetaan useita kriittisiä palveluita kuten paikannus, navigointi, synkronoitu aika ja sää. Kuvassa 3 esitetään tietoja Yhdysvaltain

avaruustoiminnan ja satelliitteja hyödyntävien eri toimintasektoreiden rahallisesta volyy-
mista. Kuva osoittaa, miten laajasti ja kustannustehokkaasti palveluita voidaan toteuttaa
satelliittien ja avaruusteknologian avulla, ja kuinka tärkeässä roolissa avarusteollisuuden
kehittämät ratkaisut ovat nykypäivänä.

*“Avaruuspohjaiset kaupalliset ratkaisut ovat luonnostaan globaaleja. Kiertoradoilla ei
ole kielimuuria. Se luo valtavan markkinapotentiaalin myös suomalaisille avaruusinnovaatioille.”*

Avaruuspohjaiset kaupalliset ratkaisut ovat luonnostaan globaaleja, mikä luo valtavan
markkinapotentiaalin myös suomalaisille avaruusinnovaatioille. Suurilla asiakassektoreilla
palvelu- ja arvoketjuihin pääsevillä kasvumahdollisuudet ovat lähes rajattomat.



Kuva 3. Yhdysvaltain avaruustoiminnan ja satelliitteja hyödyntävien eri toimintasektoreiden koko³.
Kuva: BRYCE Space and Technology.

AVARUUSALAN LÄHIVUOSIEN TRENDIT – VIISI TOISIINSA KYTKEYTYVÄÄ KEHITYSSUUNTAA

1. Piensatelliittiparvet

Matalalla kiertoradalla toimiviin suuriin satelliittiparviin ollaan tekemässä merkittäviä investointeja. Suuria summia on sijoitettu OneWeb-yhtiöön, joka on kehittämässä suuren satelliittiparveen perustuvaa globaalia laajakaistaverkkoa. Planet-yritys on laajentamassa omaa satelliittiparveaan, ja todennäköisenä tavoitteena on saavuttaa ajantasainen globaali kattavuus kaukokartoituspalveluissa. Myös muut toimijat kuten SpaceX ja Amazonin perustama Kuiper ovat jo toteuttamassa satojen ja jopa tuhansien satelliittien parvia, joilla on tarkoitus toteuttaa matalalla radalla lentäviä tietoliikenne-satelliittijärjestelmiä, ja monia muita, aiemmin joko suurilla korkean radan satelliiteilla tai maan päällisillä järjestelmillä toteutettuja palveluita.

Suomalainen ICEYE on jo laukaissut kolme SAR-tutkasatelliittia suunniteltuaan kymmenien satelliittien parvi, jonka avulla tuotetaan mm. kaupallisia tilannekuvapalveluita. Suunnitelmissa on myös muita satelliittiparvia, joiden avulla voidaan tuottaa mm. kaukokartoitus-, avaruussää- ja mobiiliverkkopalveluita, sekä propulsio- ja radaltapoistoratkaisuja uuden avaruusteknologian välineillä (VTT, Isaware, RSL ja Aurora Propulsion Technologies).

2. Piensatelliittien laukaisujärjestelmät ja palvelut

Useiden yritysten, kuten Rocket Labin, Virgin Orbitin ja Firefly Aerospaceen, seuraavan vaiheen laukaisujärjestelmät valmistunevat lähivuosina. Kehityksen myötä radalle nostamisen hinta laskee merkittävästi muun muassa uudelleen käytettävien laukaisujärjestelmien kehittyessä ja markkinoiden kasvaessa satelliittiparviin myötä.

3. Avaruusturismi

Kaupallisten, lähes Maan kiertoradalle yltävien turistilentojen odotetaan käynnistyvän lähiaikoina. Kehitystä on edesauttanut kaksi onnistunutta testiä vuosina 2018 ja 2019, jolloin Virgin Galactic saavutti 50 kilometrin korkeuden. Samaan aikaan Blue Origin onnistui miehistökapselin testauksissa.

4. Kaupalliset miehistön kuljetukset avaruuteen

Maaliskuussa 2019 SpaceX teki onnistuneen testin autonomisella, miehistön kuljetukseen tehdyllä Crew Dragon -aluksella. Ensimmäinen miehistön kuljetus ISS:lle tällä aluksella on suunnitelmissa lähiaikoina. Myös Boeing on kehittänyt avaruusaluksen miehistön kuljetukseen, jase aikoo pian testata CST-100 Starliner-alustaa. Kaupallinen toiminta alkanee lähivuosina.

5. Kaupallinen toiminta avaruudessa

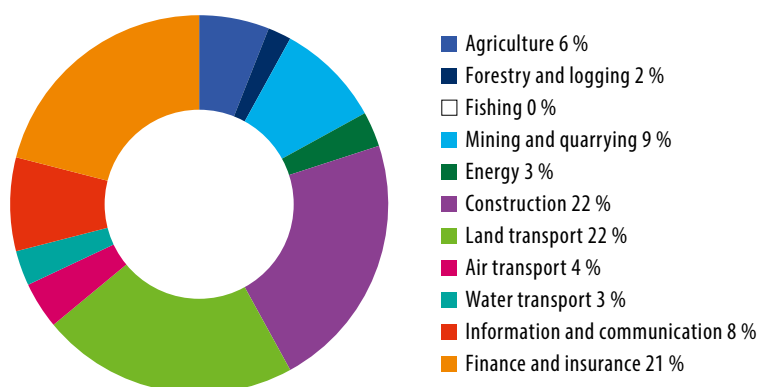
NASA on käynnistänyt Commercial Lunar Payload Services (CLPS) -ohjelman, jossa yhdeksän kaupallista yritystä on valittu kilpailemaan NASA:n hyötykuormien viemisessä Kuuhun. Kilpailussa menestyneille yrityksille on luvassa mahdollisuus saada 2,6 miljardin dollarin

rahoitus seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tällä valmisteltaneen kaupallisiin järjestelmiin tukeutuvaa kuljetustoimintaa Lunar Gateway-asemalle, jonka kautta NASA suunnittelee ihmisen paluuta Kuun kamaralle jo 2020-luvun puoliväliin mennessä. Lisäksi on suunnitteilla Kuun pinnalle pitempiaikaisia vierailuja ja myöhemmin pysyviä miehitettyjä asemia, joiden tueksi tarvitaan teknisiä järjestelmiä ja palveluita.

2.2 Avaruudesta on tullut arkipäiväistä ja kaupallista toimintaa

AT&T ja Bell Laboratories laukaisivat ensimmäisen tietoliikennesatelliitin, Telstar-1:n, kiertoradalle jo vuonna 1962. Hughes laukaisi Intelsat I -kommunikaatiosatelliitin vuonna 1965. Yhdysvaltojen satelliittipaikannusjärjestelmä GPS on ollut käytössä vuodesta 1978 ja maailmanlaajuisesti avoimessa käytössä vuodesta 1994. Nyt maapallon kiertoradalla toimii useita tietoliikennesatelliitteja, navigaatiojärjestelmiä sekä sää- ja kuvantamissatelliitteja, jotka mahdollistavat monien arkipäiväisten palveluiden toiminnan.

Näin avaruusjärjestelmistä on tullut osa tavallisten ihmisten arkielämää. Avaruusjärjestelmät tuottavat paikka- ja säätietoa, mahdollistavat internetin käytön lentokoneissa ja pitävät matkapuhelinverkon toimintakunnossa. Arkipäiväisyydestä kertoo sekin, että 10 prosenttia EU:n bruttokansantuotteesta on riippuvainen avaruustoiminnasta⁴. Kuvassa 4 esitetään avaruussektorin tuottama lisäarvo Euroopassa joka on yhteensä 786,9 miljardia EUR⁵.



Kuva 4. Avaruussektorin tuottama lisäarvo (yhteensä 786,9 miljardia EUR) sektoreittain. (PwC, viitedokumentin Fig. 2)

Avaruustoiminnan arkipäiväistyminen jatkuu kiihtyvällä tahdilla. Avaruuteen liittyvät tiede- ja tutkimushankkeet ovat mediassa näkyvämpiä kuin arkipäiväinen, operatiivinen avaruustekniikka. Avaruustoiminta on kuitenkin edennyt tieteestä ja tutkimuksesta arkipäiväiseksi työkaluksi jo kauan sitten.

Riittävän halvat ja sarjatuotetut satelliitit sekä uudelleenkäytettävät kantoraketit mahdollistavat aikaisempaa halvemmat avaruus pohjaiset palvelut. Pienisatelliitteja voidaan toteuttaa jopa sadasosalla perinteisellä tavalla valmistettujen suurempien satelliittien hinnasta. SpaceX on painanut laukaisukustannuksia alas dramaattisesti⁶ – aiemmin noin 18 000 USD:n hinta yhden kilogramman toimittamisesta kiertoradalle maksaa SpaceX:n Falcon 9 -raketilla enää 2 720 USD. Aiempaa selvästi alhaisempi kustannustaso avaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia, mikä tuo alalle uusia yrittäjiä, investointeja ja sitä kautta myös työpaikkoja.

Avaruusinvestointeja maailmalla

Yksityiset yritykset (Taulukko 1) kuten Planet, SpaceX ja OneWeb rakentavat parhaillaan satojen kuvaus- ja tietoliikennesatelliittien parvia. Digitalisaation ja alustatalouden rakenteet sekä ilmastonmuutoksen seurantaan keskittyneet toimijat janoavat ajantasaista tilannekuva. Tietoliikennekapasiteetin tarve kasvaa kaikkialla. Kaupalliset sijoittajat ovat tunnistanee tästä syntyneen liiketoimintapotentialin. Vuonna 2018 avaruussektorille sijoitettiin ennätyselliset 3,2 miljardia dollaria yksityistä pääomaa⁷. Suomalainen tutkasatelliittiparvea rakentava ICEYE sai myös osansa näistä kaupallisista sijoituksista⁸.

Taulukko 1. Valikoituja yksityisiä sijoittajia, heidän yrityksensä ja sijoituskohteensa⁹.

Henkilö	Yritys	Avaruusinvestointi	Aktiviteetti
Bill Gates	Microsoft	Kymeta	Data
Jeff Bezos	Amazon	Blue Origin	Laukaisut
Mark Zuckerberg	Facebook	SETI	Data
Larry Page	Google	Planetary Resources	Kaivostoiminta
Sergey Brin	Google	SpaceX	Laukaisut / data
Li Ka-Shing	CK Hutchinson	Windward	Kaivostoiminta
Ma Huateng	Tencent	Moon Express	Laukaisut
Sheldon Adelson	Las Vegas Sands	SpaceX	Laukaisut
Paul Allen	Microsoft	Stratolaunch	Laukaisut
Elon Musk	Tesla	SpaceX	Laukaisut / data
Eric Schmidt	Google	Planetary Resources	Kaivostoiminta
Ricardo Salinas	Grupo Elektra	OneWeb	Data
Richard Branson	Virgin Group	Virgin Galactic	Laukaisut
Lynn Schusterman	Samson Investment	SpaceX	Laukaisut
Yuri Milner	DST Global	Planet	Data
Marc Benioff	SalesForce	Taranis	Data

2.3 Ruuhka avaruudessa tuo uusia haasteita Suomen turvallisuudelle

Valtioista riippumattomien avaruustoimijoiden määrä on kasvanut, kun teknologinen kehitys on madaltanut mukaan tuleminen kynnystä. Koska toimijoita on enemmän, niillä on yhä enemmän erilaisia motiiveja. Kaupallisen avaruuden aika tuottaa näin uudenlaisia kyvykkyyksiä, joilla on turvallisuuspoliittisia vaikutuksia. Esimerkiksi karttapalveluyritys Planetin kamerasatelliitit pystyvät kuvaamaan mitä tahansa kohdetta maapallolla joka päivä, ja pian joka tunti. Tällä hetkellä kuvauksen kohteella ei ole sananvaltaa yhdysvaltalaisen yrityksen toimintaan esimerkiksi sen suhteen, milloin kuvia saisi ottaa tai kenelle otettuja kuvia myydään. Avaruusalan murrosta kuvaa hyvin se, että käytännössä kuka tahansa voi tehdä lähes vastaavan satelliitin muutamalla sadalla tuhannella eurolla.

“Kuka tahansa voi hankkia toimivan kamerasatelliitin muutamalla sadalla tuhannella eurolla.”

Turvallisuustutkijat ovat kuvanneet käynnissä olevaa avaruustoiminnan murrosta siirtymänä alueellisesta toiminnallisesta kamppailuun.¹⁰ Alueellisen hallinnan sijasta tarkastellaan toimintojen, kuten paikannuspalvelun, merireittien tai tietoliikenneyhteyksien toimivuutta ja käyttövarmuutta. Yhteiskunnan toiminnot perustuvat kasvavassa määrin avaruuspalveluihin, joten niistä tulee kiinnostavia funktionaalisen vaikuttamisen kohteita. Paikannuspalveluiden häirinnästä on jo useita esimerkkitapauksia ja Suomellakin on niistä kokemuksia.

Avaruuden aseistaminen on nouseva ilmiö. Yhdysvallat ja Ranska ovat molemmat perustaneet avaruuteen keskittyvän puolustushaaran.^{11 12} Lisäksi ainakin Intia, Kiina ja Venäjä ovat osoittaneet kykynsä tuhota satelliitteja maasta laukaistavia ohjuksia käyttäen.^{13 14} Avaruuspalvelut koostuvat järjestelmäkokonaisuuksista, joissa on myös kybervaikuttamiselle alttiita osuuksia. Hybridisodankäynnissä ei tarvitse tuhota välttämättä satelliittia ohjuksella, koska maa-asemien järjestelmiin kohdistuvalla hakkeroinnilla voidaan saavuttaa kustannustehokkaasti sama tulos. Tällaiset toimintaympäristöjen väliset riippuvuudet ovat olennainen osa uuden turvallisuusympäristön hahmottamisessa.

Avaruusjärjestelmien rakentaminen sekä niiden käyttö toteutuu arvoketjujen kautta. Mikropiirit tulevat yhdestä maasta ja aurinkopaneelit toisesta, kokoonpano tehdään kolmannessa ja laukaisu kiertoradalle mahdollisesti neljännessä maassa. Avaruusjärjestelmän operaattori ohjaa järjestelmää tietoverkkoon kytkettyjen radioasemien kautta ja tuottaa palveluita tietoverkon yli. Näiden tuotantoketjujen kompleksisuus lisää järjestelmien haavoittuvuutta myös kybervaikuttamisesta johtuen. Kun turvallisuuden kannalta kriittisten järjestelmien tuotantoketjut muuttuvat monimutkaisemmiksi, niiden turvaaminen on haastavaa ja toiminnan jatkuvuutta on yhä vaikeampi taata.

EU on sijoittanut viime vuosina merkittävästi omien avaruusjärjestelmiensä kehittämiseen. Copernicus kaukokartoitusjärjestelmä¹⁵ tarjoaa laadukasta kuvamateriaalia käyttäjille ilmaiseksi, ja Galileo¹⁶ mahdollistaa yhdysvaltalaisesta GPS-järjestelmästä riippumattoman, hieman tarkemman satelliittipaikannuksen. EU:n tuleva taloudellinen viitekehys vuosille 2021–2027 sisältää merkittävän budjetin Copernicus- ja Galileo-järjestelmien jatkokehitykseen. Lisäksi budjettiin on varattu pieni summa EU:n viranomaiskäyttöön tulevan tietoliikennetarkistuksen sekä EU:n avaruuden tilannekuvajärjestelmän kehittämiseen¹⁷. Euroopalla on strateginen laukaisukyvykkyys Ariane- sekä Vega-ohjelmien¹⁸ ansiosta. Nämä laukaisujärjestelmät ovat kuitenkin niin kalliita käyttää, että kaupalliset toimijat suosivat edullisempia, ei-eurooppalaisia kilpailijoita.

Nopeasti kasvava satelliittimäärä kasvattaa riskiä törmäyksiin, joissa hajoavat satelliitit rikkoutuvat tyypillisesti suureen määrään eri kokoisia sirpaleita. Tämä lisää osaltaan törmäysriskiä kasvattavan romun määrää. Tilannetta voidaan verrata moottoritillä tapahtuviin kolareihin, joissa autoista irronneet osat jätettäisiin lojumaan tielle. Avaruudessa ei ole liikennesääntöjä, eikä rikkiäisten satelliittien tai kantorakettien osien kiertoradalle jättämisestä tai avaruudessa tapahtuvista liikenneonnettomuuksista ole sopimuksia tai seuraamuksia. Ennustettava, turvallinen ja romusta vapaa toimintaympäristö on kuitenkin satelliitteihin perustuvien palveluiden toiminnan jatkuvuuden edellytys. Nopeasti kasvava satelliittimäärä aiheuttaa myös haasteita satelliittien kanssa kommunikointiin käytettävien radiotaajuuksien hallinnan kanssa. Radiotaajuudet ovat rajallinen luonnonvara ja nykykäytännön mukaan jokainen satelliitti tarvitsee oman kaistaleen radiotaajuuksia kommunikoidakseen maajärjestelmiensä kanssa.

Avaruuden tilannekuva, radiotaajuuksien hallinta, liikennesäännöt, romun poisto ja kierrätys sekä satelliittien huoltaminen ovat osa-alueita, joilla tarvitaan nopeaa kehitystä lähiavaruuden toimintaympäristön säilyttämiseksi käyttökelpoisena. Julkisten toimijoiden täytyy kehittää osa näistä palveluista johtuen avaruuden luonteesta kansainvälisenä alueena sekä varmistaakseen toiminnan edellytykset turvallisuuden kannalta kriittisille avaruusjärjestelmille. Ainakin romun poistoon sekä satelliittien huoltamiseen liittyy myös selvää kaupallista potentiaalia.

2.4 Avaruusturismi ja muu tieteisfiktio on muuttumassa todellisuudeksi

Miehitetty tukikohta Kuussa, avaruuslennot lähiplaneetoille, avaruusturismi ja aurinkoenergian tuottaminen maan päälle avaruudessa olevilla keräimillä ovat olleet tieteisfiktio suosittuja aiheita. Nyt niistä tulee pian totta. Tällä hetkellä Yhdysvallat ja Kiina investoivat kilpaa kuuohjelmiinsa¹⁹ saadakseen ihmiskunnan pysyvästi takaisin Kuuhun. Elon Muskin

Mars-matkoja varten suunniteltu Starship-raketti aloittaa lentonsa todennäköisesti jo 2020 ja tähtää Kuuhun suuntaaviin rahtilentoihin jo vuonna 2022²⁰. Virgin Galactic on avaruusmatkailuun soveltuvaa teknologiaa kehittävä pörssiyritys²¹. Japanin avaruushallinto JAXA ja Yhdysvaltain ilmavoimat kehittävät avaruusaurinkovoimaloita^{22 23}.

Näiden futuristisilta kuulostavien hankkeiden taustalla on miljardiluokan vuosittaiset investoinnit sekä aktiivista teknologian kehittämistä. Vuoteen 2030 mennessä saatamme hyvinkin nähdä miehitetyn Kuu-tukikohdan, avaruusturismin ja energia- ja kaivosteollisuuden orastavan avaruudessa^{24 25}.

“Kiina ja USA investoivat isoja summia hankkeisiin, jotka eivät enää ole sci-fiä. Vuoteen 2030 mennessä saatamme hyvinkin nähdä miehitetyn Kuu-tukikohdan, avaruusturismin sekä orastavaa energia- ja kaivosteollisuutta avaruudessa.”

Avaruusasemat ja avaruusturismi vievät jatkossa entistä enemmän ihmisiä Maapallon kiertoradalle. Tästä seuraa lisääntyvä tarve kuljetuksille, minkä voidaan odottaa lisäävän kilpailua. Kilpailun lisääntyessä hinnat usein laskevat, jolloin syntyy positiivinen kierre. Termillä “cislunar economy” viitataan Maan ja Kuun alueella tapahtuvaan talouteen, jonka odotetaan toimivan kaupallisista lähtökohdista sen jälkeen, kun tarvittava infrastruktuuri on luotu. Kiinan visiona on kehittää cislunar-alueesta 10 biljoonan (10 tuhannen miljardin) dollarin arvoinen talousalue vuoteen 2050 mennessä²⁶.

Avaruustalouden kasvu ei ole vielä näkynyt merkittävänä kasvuna taloudellisten mittareiden lukemissa, mikä johtuu kustannusten laskusta, mutta se näkyy kuitenkin toimijoiden ja erilaisten sovellusten ja soveltamisalueiden määrän kasvuna myös Suomessa. Avaruustoimijoiden ja avaruuteen perustuvien palvelujen määrän kasvaessa avaruus tulee näkyväksi myös tavallisille ihmisille ja kuluttajille entistä enemmän konkreettisina uusina palveluina ja tuotteina sekä olemassa olevien palveluiden laadun parantumisena.

3 Avaruustoiminta Suomessa tänään

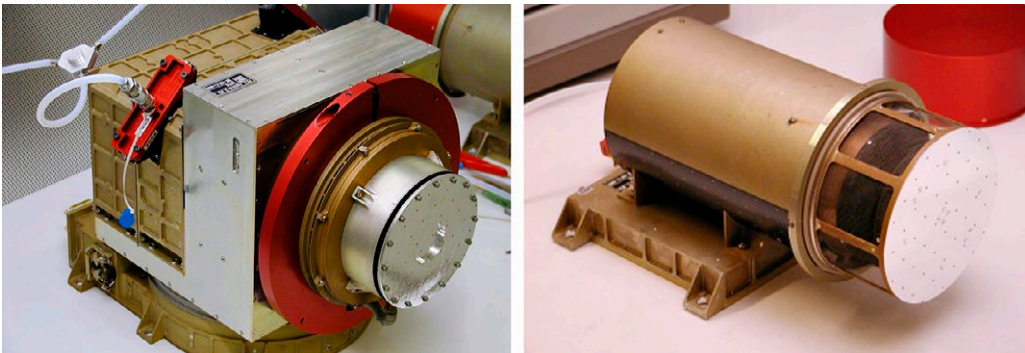
Ensimmäisiä suomalaisia avaruuslaitteiden osia lähetettiin avaruuteen jo 1980-luvulla. Silloin kyseessä olivat kansainväliset tiedeprojektit. Viime vuosina avaruuteen on kuitenkin lähetetty myös suomalaisia kaupallisia satelliitteja. Suomalaiset tutkimuslaitokset sekä yritykset menestyvät kilpailussa julkisesta kansainvälisestä tutkimusrahoituksesta kansakuntamme ja avaruusalan kokoon suhteutettuna selvästi odotusarvoa paremmin. Kykymme osallistua kaupalliseen avaruuteen ei ole kuitenkaan paras mahdollinen. Suomen avaruushallinto on ollut hajanainen. Siltä on puuttunut kokonaisvastuu, selkeä toimintasuunnitelma ja riittävä rahoitus.

3.1 Suomessa on tehty avaruusteknologiaa tehokkaasti ja itseohjautuvasti

Suomessa teknisen avaruustoiminnan lähtölaukauksena voidaan pitää EISCAT²⁷ -tutkajärjestön perustamista vuonna 1975. Suomi on järjestön perustajajäsen. EISCAT -tutkajärjestelmällä mitataan auringon ja ihmisten toiminnan vaikutuksia Maan lähiavaruudessa. Ensimmäiset suomalaiset avaruuslaitteet lähetettiin avaruuteen 1980-luvun lopulla, ja vuoteen 2020 mennessä suomalaisosuuksia kansainvälisissä avaruuslaitehankkeissa on ollut jo lähes 100. Näistä valtaosa on tieteellisten mittalaitteiden osia. Suomesta on toimitettu vain muutamia kokonaisia avaruuslaitteita. Tyypillisimpiä suomalaisia avaruuskomponentteja ovat olleet anturit, elektroniikka, optiikka sekä satelliittien ja mittalaitteiden ohjelmistot.

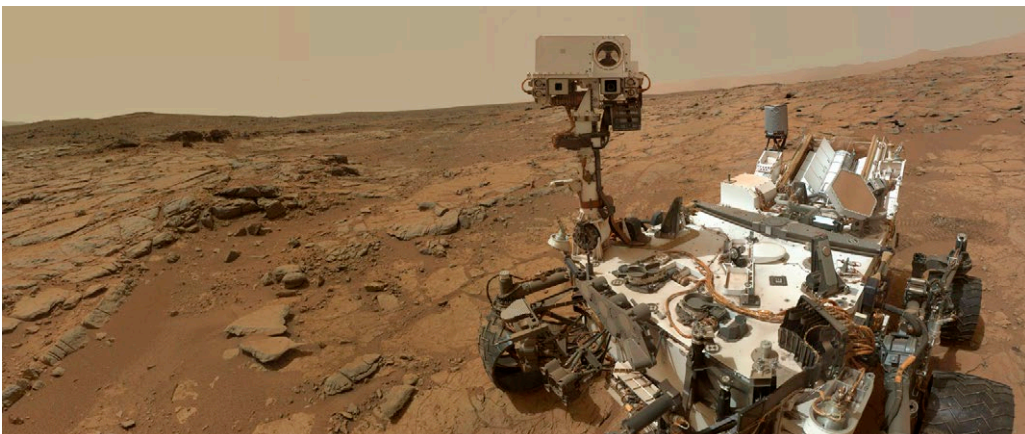
Suomalaisissa yliopistoissa, tutkimuslaitoksissa ja yrityksissä on laaja-alaista avaruustieteen ja -teknologian osaamista, jota arvostetaan kansainvälisesti. Suomalaiset tutkimuslaitokset sekä yritykset menestyvät kilpailussa julkisesta kansainvälisestä tutkimusrahoituksesta kansakuntamme ja avaruusalan kokoon suhteutettuna selvästi odotusarvoa paremmin. Useat suomalaispanostukset ovat olleet merkittäviä sekä tieteellisesti että myös laajemmin. Esimerkkeinä suomalaisten toimijoiden erityisistä kontribuutioalueista voidaan mainita aurinko- ja avaruussää sekä ilmakehä ja sen koostumus.

Vuonna 1985 Suomi osallistui ensimmäisen kerran kansainväliseen avaruuslaiteshankkeeseen, kun Ilmatieteen laitos pääsi mukaan neuvostoliittolaiseen Marsin Phobos-kuuhun suuntautuvaan luotainhankkeeseen. Ilmatieteen laitoksella rakennetut Phobos-luotainten ASPERA-plasmamittalaitteiden tietokoneyksiköt (kuva 5) olivat ensimmäiset Suomessa rakennetut ja avaruudessa toimineet avaruusmittalaitteiden osat.²⁸



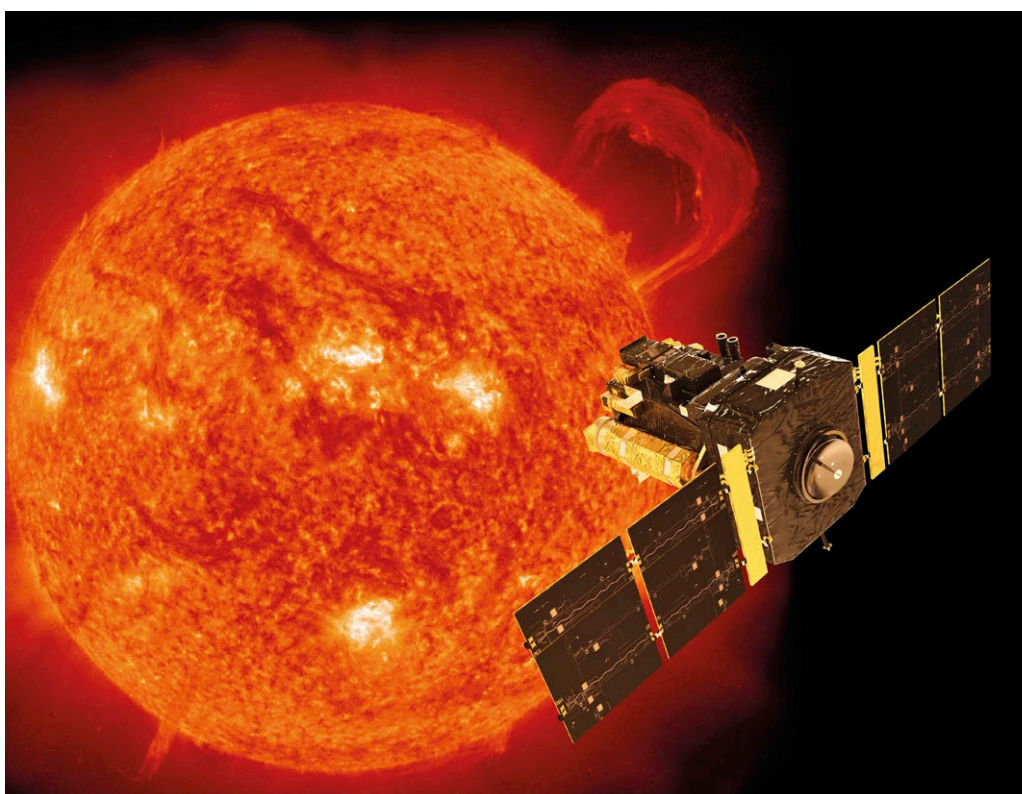
Kuva 5. ASPERA-3 (Analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms) -mittalaite. Kuva: IRF – Institute för Rymdfysik.

ASPERAn tietokoneyksiköt olivat alkusoitto Ilmatieteen laitoksella tehtävälle planeetta-tutkimukselle²⁹. Vuodesta 1985 Ilmatieteen laitos on osallistunut kymmeneen avaruuslaiteshankkeisiin³⁰, joita ovat esimerkiksi Vaisala Oyj:n antureihin³¹ perustuvat, Ilmatieteen laitoksella rakennetut ja testatut aurinkokunnan kaasukehien paine- ja kosteusmittauksiin tarkoitetut mittalaitteet. Näitä ovat esimerkiksi PPI/HASI³², joka mittasi Saturnuksen Titan-kuun kaasukehän painetta ESA:n Huygens-laskeutujassa vuonna 2005, ja NASA:n Curiosity-mönkijässä³³ (kuva 6) jo seitsemättä vuotta toimivat paine- ja kosteusmittalaitteet REMS-P ja REMS-H³⁴.



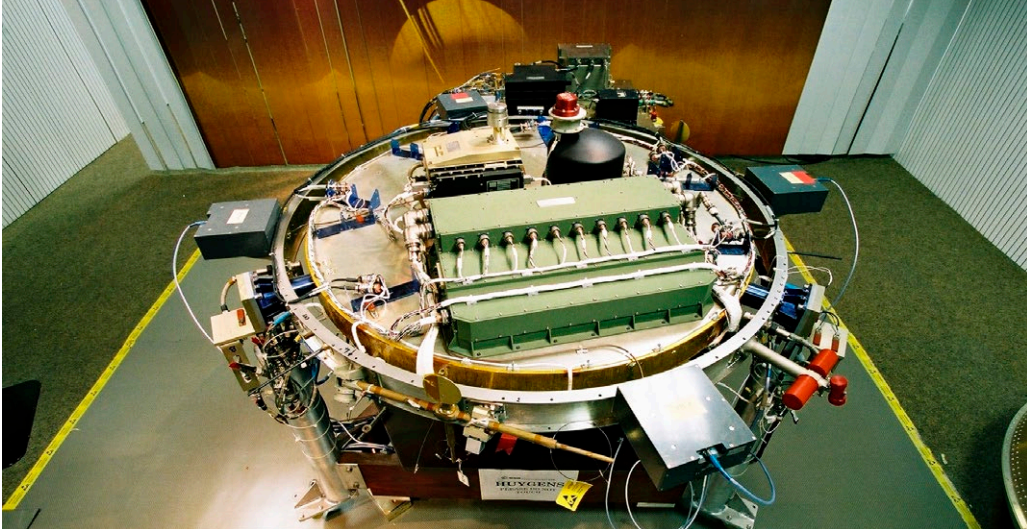
Kuva 6. NASA:n Curiosity-mönkijä Marsin pinnalla. Kuva: NASA/JPL-Caltech/MSSS.

Ensimmäinen kokonainen avaruuslaite Suomesta oli ESA:n ja NASA:n yhteistyönä toteutetun Aurinkoa ja heliosfääriä tutkivan, vuonna 1995 laukaistun SOHO³⁵ (kuva 7) satelliitin ERNE³⁶-instrumentti, joka rakennettiin Turun yliopistossa ja VTT:llä. SOHO ja sen suomalaislaite toimivat edelleen tuottaen arvokasta dataa Auringon ja sen ympäristön tilasta, jota hyödynnetään Auringon ja avaruussään tutkimuksessa.



Kuva 7. Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) -avaruusalus havainnoi Aurinkoa. Taiteilijan näkemys. Kuva: ESA/NASA SOHO, CC BY-SA 3.0 IGO

Saturnuksen Titan-kuuhun onnistuneesti 14. tammikuuta 2005 laskeutuneessa Huygens-luotaimessa (kuva 8) oli mukana Ilmatieteen laitoksen suunnittelema ja valmistama Titanin kaasukehän paineprofiilia mittaava HASI/PPI -painemittalaite. Laite pohjautuu Ilmatieteen laitoksen kehittämiin mittalaiteratkaisuihin ja Vaisalan antureihin. Samanlaista tekniikkaa on käytetty Mars-hankkeissa ennen ja jälkeen Huygens-hanketta. Laitteen tuottamat tulokset Titanin kaasukehän paineprofiilista ovat osoittautuneet tieteellisesti hyvälaatuisiksi ja ovat toistaiseksi ainoat painemittaukset Titanin kaasukehästä. Cassini oli Euroopan avaruusjärjestön ESA:n ja Yhdysvaltain avaruushallinnon NASA:n erittäin menestyksenkäs yhteishanke. Suomesta Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. (VTT) sekä Oulun yliopisto osallistuivat Cassinin ja Huygensin mittaustulosten analysointiin yhdessä Ilmatieteen laitoksen kanssa.



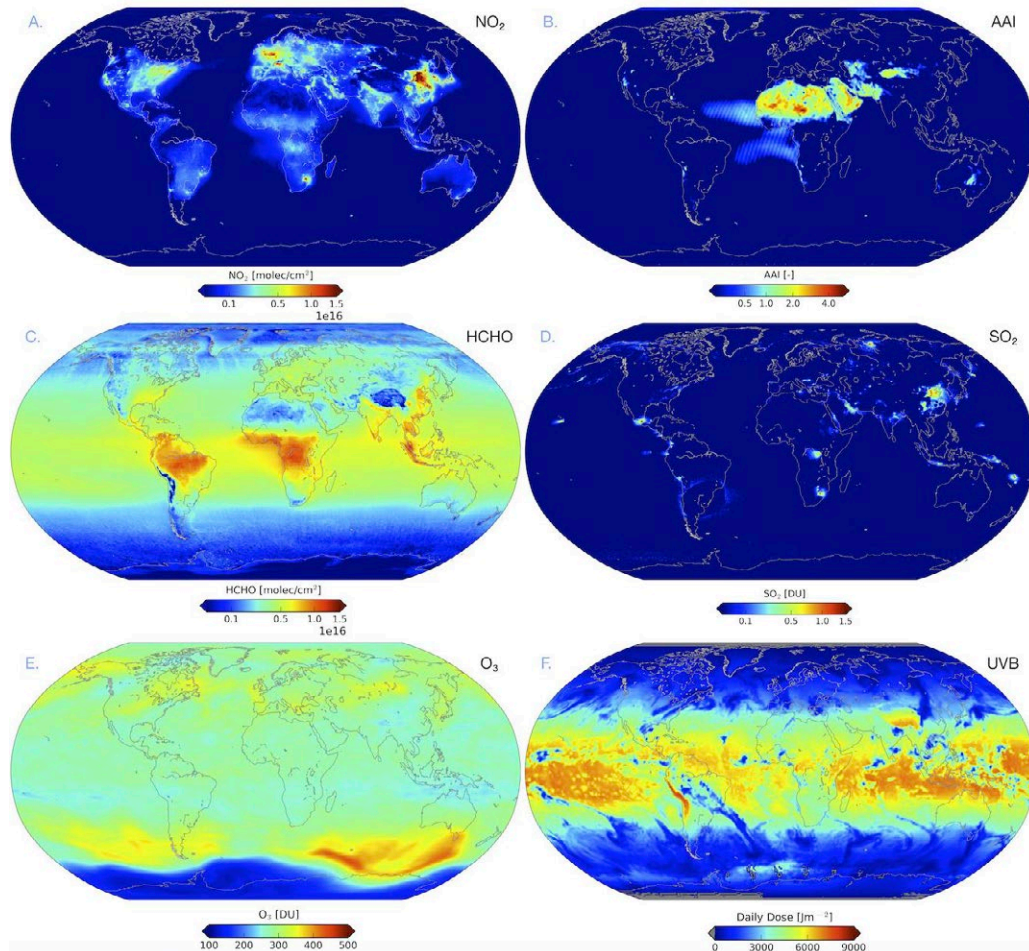
Kuva 8. Huygens-laskeutujan ns. insinöörimalli ESA:n tiloissa. Kuva: ESA.

Ilmatieteen laitos ja VTT osallistuivat vuonna 2002 laukaistun ENVISAT -satelliittiin (kuva 9) GOMOS-mittalaitteen suunnitteluun yhdessä Ranskan CRNS-instituutin kanssa. ENVISAT on kaikkien aikojen suurin siviilikäyttöön rakennettu kaukokartoitussatelliitti, ja GOMOS kartoitti ilmakehän kemiallista koostumusta keskittyen erityisesti keski-ilmakehän otsonipitoisuuden mittaamiseen. ENVISAT toimi kymmenen vuotta ja GOMOSin tarkat mittaukset kaasujen korkeusjakaumista hyödyntäen hyperspektraalisia mittauksia ovat olleet tärkeässä roolissa seurattaessa Montrealin sopimuksen vaikutusta otsonikerroksen toipumiseen.



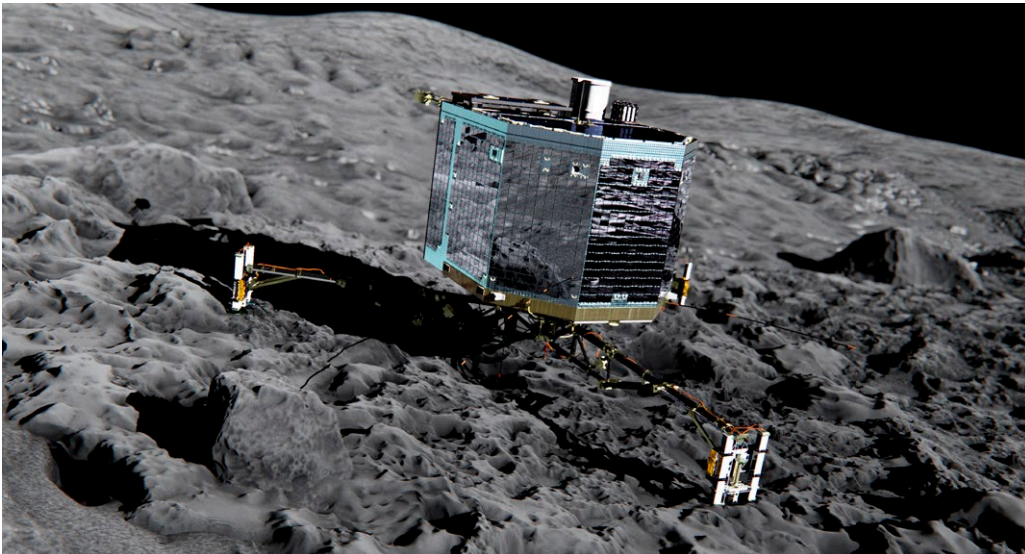
Kuva 9. Taiteilijan näkemys Envisat -satelliitista. Kuva: ESA.

Vuonna 2004 NASA laukaisi EOS-ohjelmaan kuuluvan Aura-satelliitin, johon rakennettiin Ilmatieteen laitoksen vetämän suomalaisteollisuuden ja hollantilaisten yhteistyönä ilmanlaadua ja kokonaisotsonia mittaava laite nimeltä OMI. OMI:ssa hyödynnettiin GOMOSiin kehitettyä 2D CCD detektoriteknologiaa ja hyperspektraalisia mittauksia. Aura satelliitti ja OMI toimivat edelleen ja polttoaineen odotetaan riittävän vielä vuoteen 2023 asti. OMI:n korkealaatuiset havainnot ilmanlaadusta ja erityisesti globaalit kahden tunnin sisällä valmistuvat NRT (Near Real Time) tuotteet sekä Sodankylän vastaanottoa hyödyntävät 20 minuutin sisällä valmistuvat VFD (Very Fast Delivery) tuotteet ovat olleet tärkeänä tekijänä EU:n operatiivisen Copernicus -ilmakehäpalvelun kehittämisessä. Osoituksen urauurtavasta ja merkittävästä työstä Maan kaukokartoituksessa kansainväliselle OMI-ryhmälle myönnettiin yhdysvaltalainen William T. Pecora -palkinto 2018. Kuvassa 10 on esimerkki OMI:n mittauksista.



Kuva 10. Globaalit jakaumat (2004 – 2016) ilmanlaatuun vaikuttavista kaasuista, ylärivissä typpidioksidi ja aerosolit, keskellä formaldehyde ja rikkidioksidi. Alarivissä on kokonaisotsoni ja maanpinnalle tulevan UV-säteilyn määrä 24.8.2006 jolloin etelämantereen otsoniaukko oli poikkeuksellisen laaja. Kuva: Levelt ym., Atmospheric Chemistry and Physics, 2018.

Myös ESA:n kulmakiviohjelma, komeetantutkimushanke Rosetta³⁷ sisälsi erittäin huomattavan suomalaisen panoksen. Rosetta laukaistiin vuonna 2004 ja se saapui komeetta 67/P Churyumov-Gerasimenkon luo elokuussa 2014. Suomalaisia mittalaitteita ja niiden osia oli mukana sekä Rosetta-kiertolaisessa että komeetalle laskeutuneessa Philae-laskeutujassa (Kuva 11). Mm. Philaen PP-mittalaitteen³⁸ päävastuu oli Ilmatieteen laitoksella.



Kuva 11. Taiteilijan näkemys ESA:n Philae-laskeutujasta komeetan 67P/Churyumov-Gerasimenko pinnalla. Laskeutujan jalkojen kosketuspinnnoissa suomalaiset permittiiviyslaitteet komeetan vesipitoisuuden määrittämiseksi. Kuva: ESA/ATG medialab.

Historia osoittaa, että Suomessa on osattu avaruustoiminnan alusta lähtien käyttää kehittämiseen saatua rahoitusta ja muita resursseja hyvin tehokkaasti. Jatkuvuutta on saatu aikaan alan tutkijoiden koulutuksella, mikä on myös mahdollistanut uusien löytöjen ja tutkimustulosten nopean julkaisemisen ja hyödyntämisen. Avaruusala on kehittynyt niukilla resursseilla ja paljolti itseohjautuvasti. Historiaa tarkasteltaessa näkyy, että kehittyminen ja nykytila ovat suurelta osin seurauksia pienestä joukosta suuria yksilösuorituksia ja niukka kansallinen rahoituksen ollut suurin kasvun este. Niinpä avaruusalan yhteisön merkitys Suomen taloudessa ja teollisuudessa on ollut pieni, ja yhteiskunnallinen vaikutus on ollut lähinnä sivistävä. Vasta viimeisen kymmenen vuoden aikana tapahtunut kasvu, lisääntynyt kaupallinen toiminta ja toimijajoukon laajeneminen ovat muuttaneet alan yhteisöluonnetta siten, ettei enää ole täysin luontevaa puhua "avaruusperheestä".

New Space -lähestymistapa on avannut uusia mahdollisuuksia teknologian kehittämiseen ja alan laajentumiseen. Start-up -yritykset kykenevät demonstroimaan uusia teknologioita nopeammin ja kustannustehokkaammin kuin aikaisemmin on ollut mahdollista. Yksi pienyritysten konsortio pystyy toteuttamaan koko teknologiaketjun. Tässä ovat onnistuneet

mm. Reaktor Space Lab, ICEYE ja Isaware. Suomalaiselle avaruusosalalle on ollut ominaista tehokas ja sujuva yhteistyö kotimaisen teknologiasektorin kesken sekä myös ulkomaisten yhteistyötahojen kanssa. Tämä toimintamalli on edistänyt New Space -trendin hyödyntämismahdollisuuksia ja tehostanut resurssien käyttöä.

3.2 Suomen avaruushallinto on kehittymässä – varoja puuttuu

Useimmissa Euroopan maissa, Suomi mukaan lukien, kansallinen avaruushallinto on se julkishallinnon osa, joka vastaa valtion omasta avaruustoiminnasta, valtion alueella tapahtuvan kaupallisen avaruustoiminnan sääntelystä sekä valtion edustuksesta avaruusalan kansainvälisissä järjestöissä. Keskeisimpiä kansallisen avaruushallinnon tehtävistä ovat valtion eurooppalaisille avaruusalan järjestöille maksamien jäsen- ja ohjelmamaksujen maksaminen ja hallinnointi sekä valtion edustus näissä järjestöissä. Tärkein avaruusalan toimintaan keskittynyt organisaatio Euroopassa on Euroopan Avaruusjärjestö ESA, jonka täysjäsenenä Suomi on ollut vuodesta 1995 alkaen. Muita kansallisen avaruushallinnon toimialaan liittyviä eurooppalaisia organisaatioita ovat EUMETSAT³⁹ ja ESO⁴⁰. Myös EU lähti mukaan Euroopan avaruuspolitiikkaan 1990-luvulla. EU on siitä lähtien koko ajan kasvattanut rooliaan paitsi avaruusalan poliittisena toimijana myös toiminnan ja kehittämisen koordinoijana ja rahoittajana Euroopassa. EU:lla ja ESA:lla on ollut yhteinen avaruusstrategia noin 20 vuoden ajan⁴¹. Lissabonin sopimuksella EU sai lisää toimivaltaa avaruuspolitiikassa⁴².

Suomen kansallinen avaruushallinto on perustunut hajautettuun hallintomalliin, jossa useat eri laitokset ja virastot useamman eri ministeriön hallinnonaloilta osallistuvat kansalliselle avaruushallinnolle kuuluvien tehtävien hoitamiseen. Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2017 teettämän selvityksen⁴³ mukaan Suomen hajautetun avaruushallinnon tehtäviin kuuluu seuraavia vastuualueita:

- Edustukset avaruusalan kansainvälisissä järjestöissä
- Toiminta lupaviranomaisena avaruuteen liittyvissä luvanvaraisissa toiminnoissa
- Avaruustutkimus ja sen rahoittaminen
- Avaruusalan yritysten tukeminen ja rahoittaminen
- Avaruusasioiden opetus- ja tiedotustehtävät
- Valtion omistaman avaruusinfrastruktuurin omistajan tehtävät
- Rooli sotilaallisessa ja turvallisuusalan avaruustoiminnassa
- Vastuualueiden toiminta on jakautunut lähes kaikkien ministeriöiden toimialoille Suomessa.

Suomalaiseen avaruushallintoon osallistuvien tahojen toimintaa koordinoimaan on asetettu avaruusasiain neuvottelukunta⁴⁴ (ANK), joka toimii työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) alaisuudessa. ANK:ssa on jäseniä ministeriöistä, keskeisistä tutkimusorganisaatioista sekä teollisuudesta. Niin ikään TEM:n alaisuudessa toimiva Business Finland⁴⁵ (entinen Tekes) on ollut päävastuussa ESA-toimintaan kuuluvista hallinnon käytännön tehtävistä, erityisesti Suomen ohjelmaosuuksien hallinnoinnista sekä vapaaehtoisin ohjelmiin osallistumisesta ESA:ssa. Tähän on kuulunut myös yksittäisten hankkeiden tukipäätösten tekeminen vapaaehtoisten ohjelmien osalta. ESA:n tiedeohjelmakomiteassa ja sen alla toimivissa komiteoissa on Suomesta myös kansallisia edustajia, jotka on valittu yleensä tiedeyhteisön keskuudesta. Samoin muissa kansainvälisissä avaruusalan järjestöissä, joissa Suomi on jäsenenä, on Suomen valtionhallinnon että tutkimussektorin edustajakomiteoissa ja päätävissä elimissä.

LVM:n selvityksessä on verrattu Suomen avaruushallintoa useiden muiden maiden avaruushallintoihin ja tutkittu kansallisen avaruushallinnon uudistamisen tarvetta ja vaihtoehtoisia avaruushallinnon malleja. Suomen avaruushallinnolle on ollut sen hajautetun luonteen seurauksena tyypillistä, että vain hyvin harva Suomen avaruushallintoon osallistuva virkamies työskentelee pelkästään avaruusasioiden parissa. Suurimmalla osalla on muitakin tehtäviä ja velvollisuuksia, ja varsin usein avaruushallintoa hoidetaan toissijaisesti oman toimen ohessa. Resurssien niukkuus ja avaruusasioista kokonaisvaltaisesti vastuuta ottavan tahon puuttuminen ovatkin olleet Suomen hajautetun avaruushallinnon mallin keskeisiä heikkouksia.

”Resurssien niukkuus ja kokonaisvastuutahon puuttuminen ovat olleet Suomen hajautetun avaruushallinnon keskeisiä heikkouksia.”

Kansallisen avaruushallinnon rooli erityisesti kansallisten panostusten suuntaamisessa ja painopisteiden määrittelijänä on muuttunut entistä keskeisemmäksi, koska avaruuteen liittyvä toiminta on globaalisti voimakkaassa kasvussa, ja alan kasvumahdollisuudet ovat erittäin hyvä myös Suomessa⁴⁶. Kaupalliselta pohjalta pääosin toimivan New Space -talouden sekä eurooppalaisten organisaatioiden tekemien julkisesti rahoitettujen infrastruktuurisijoitusten, erityisesti Galileo⁴⁷ ja Copernicus-järjestelmien⁴⁸, odotetaan katalysoivan liiketoiminnan ja työllisyyden kasvua.

Vuonna 2018 uudistetussa avaruusstrategian toimenpidesuunnitelmassa⁴⁹ julistetaan päätavoitteeksi: ”Suomi on vuonna 2025 maailman houkuttelevin ja ketterin avaruusliiketoimintaympäristö, josta hyötyvät kaikki täällä toimivat yritykset”. Keinoiksi esitetään pilottihankkeita, avaruustoiminnan mahdollisuuksien avaamista nykyistä laajemmalle yritysjoukolle, kärsivällisen julkisen rahoituksen fasilitointia avaruusinfrastruktuuria tarvitseville hankkeille, viranomaisten referenssihankintoja sekä kansallisen lainsäädännön toimeenpanoa ja kehittämistä siten, että se tukee liiketoimintaa mm. sujuvien lupaprosessien

avulla sekä poistamalla tarpeettomia rajoituksia. Tähän liittyen luvista vastaavat viranomaiset muodostavat yhdessä turvallisuusviranomaisten kanssa kannan maa-asemainvestointeihin ja toteuttavat tarvittavat lainsäädäntömuutokset huomioiden kansallisen turvallisuuden.

“Verrokkimaihin verrattuna Suomen investoinnit ovat toistaiseksi olleet vähäisiä.”

Strategisia päämääriä kohti ollaan jo menossa, ja mahdollisuuksia kehityshankkeisiin on jo tarjolla aiempaa huomattavasti enemmän. Ensimmäisistä hankkeista on saatu myös hyviä tuloksia. Naapurimaihin verrattuna resurssit ja investoinnit ovat olleet toistaiseksi kuitenkin vähäisiä, ja ne vastaavat vain murto-osaa esimerkiksi läntisten naapurimaiden kansantalouteen suhteutetusta panostuksesta. Tulevalle kolmevuotiskaudelle 2020–2022 saatu ESA-toiminnan lisärahoitus on parantanut tilannetta. Tällä hetkellä Suomen osuus ESA:n vuosittaisesta rahoituksesta on 0,8 % kun perustamissopimuksen edellyttämä kansantuotteen mukainen taso olisi 1,34 %. Selkeästi suuremmat valtion sijoitukset avaruustoimintaan tukisivat osaltaan hallitusohjelman tavoitetta kasvattaa kansallisia t&k-panostuksia neljään prosenttiin bruttokansantuotteesta. Viime aikoina Suomeen on syntynyt uusia toimijoita, joten kilpailu rahoituksesta lisääntyy. Pienen rahoituspotin jakaminen yhä useammalle toimijalle vaatii entistä parempaa koordinaatiota ja hyvää näkemystä panostusten suuntaamisessa.

3.3 Suomalainen avaruustoiminta – tiedehankkeiden lisäksi kohti kaupallista avaruutta

Avaruusalan toiminta Suomessa on viime vuosiin saakka perustunut hyvin suurelta osin julkiseen rahoitukseen, myös teknologiakehityksen osalta. Tutkimus, tuotekehitys ja teollinen tuotanto ovat olleet pääosin julkisten toimijoiden tekemien tilausten varassa. Suomen avaruusteollisuuden toiminnan rahoituksen on määritellyt suurelta osin valtion panostuksen suuruus ESA:n ohjelmissa, ja avaruustoiminta on perustunut pääosin ESA-jäsenyyteen kuuluviin velvoitteisiin ja sekä hyötyihin, joista merkittävin on ESA:n ohjelmiin maksettujen osuuksien palautuminen ESA:n teollisina tilauksina suomalaisilta yrityksiltä sekä tutkimuslaitoksilta.

Suomen kansallisen tason toimintaan kuuluu myös pakollinen osallistuminen ESA:n tiedeohjelmaan, jossa rakennetaan tiedelaitteita kansallisella rahoituksella. Kansalliset laitteet on rakennettu pääosin tiedeyhteisön aloitteesta, ja ne on suunniteltu kuhunkin tutkimukseen tarkkaan sopivaksi, ilman kytkentää teollisuuden tai kaupallisen sektorin tarpeisiin. Laitteista saatava teollinen tai kaupallinen hyöty riippuu siitä, miten niissä käytettävä

teknologia soveltuu muuhun kuin kyseiseen tutkimukseen, ja se saadaan useimmissa tapauksissa kehitystyön aikana syntyneen uuden osaamisen kautta.

ESA-toiminnan puitteet ovat tarjonneet toisaalta vakaan pohjan pienimuotoiselle avaruustoiminnalle Suomessa, mutta toisaalta ne ovat rajoittaneet mahdollisuuksia tutkia ja kehittää avaruustiedettä, -teknologioita ja -sovelluksia omaehtoisesti ilman ESA:n ohjaavaa vaikutusta. EU:n tutkimusohjelmien kasvanut avaruusrahoitus on tuonut sektorille kaivatun mahdollisuuden tutkimuksen volyymin kasvattamiseen, jota erityisesti tutkimuslaitokset ja yliopistot ovat hyödyntäneet tehokkaasti. EU:n ohjaava vaikutus näkyy näissä ohjelmissa, ja kokonaisuutena on nähtävissä että Suomelta puuttuu puhtaasti kansallisiin tarpeisiin perustuva avaruustoiminnan rahoitus.

Vastaavanlainen julkinen painotteisuus on leimannut avaruussektorin toimintaa ja rahoituspohjaa kaikkialla maailmassa. Suurilla mailla julkisten toimijoiden tarpeet luonnollisesti mahdollistavat huomattavasti suuremman avaruussektorin toiminnan kuin Suomessa: myös monilla mailla, joiden kansantalous on samaa kokoluokkaa kuin Suomella, avaruus toiminta on selvästi suurempaa^{50,51}. Kansallisen, julkisesti rahoitetun avaruustoiminnan avulla kyseiset maat pystyvät rahoittamaan ja toteuttamaan omiin kansallisiin tarpeisiinsa perustuvaa tutkimus- ja kehitystoimintaa ja toimeenpanemaan omia strategioitaan tehokkaasti.

Viimeisen vuosikymmenen aikana on alkanut syntyä myös muuhun kuin julkiseen pääomaan perustuvaa teknologiakehitystä sekä yksityisen sektorin kaupallisia markkinoita. Nano- ja mikrosatelliitteja voidaan rakentaa huomattavasti halvemmalla kuin perinteisiä suuria satelliitteja. Nanosatelliittienlaukaisun kustannukset ovat myös alhaiset, mikä on osaltaan ollut mahdollistamassa uutta avaruustoiminnan mallia, jota kutsutaan nimellä New Space. Niin kutsutun kaupallisen hyllytavaratekniikan (engl. commercial off-the-shelf, COTS) hyödyntäminen avaruuslaitteissa on toinen merkittävä teknologinen osatekijä, joka osaltaan laajentaa New Space -toimijoiden joukkoa. Kolmas New Space -trendiä tukeva tekijä on kasvava globaalien palveluiden kysyntä. Niiden teknisenä alustana matalalla kiertoradalla lentävät pienet satelliitit ja niiden konstellaatiot ovat ylivoimaisesti halvin ja nopeimmin toteutettavissa oleva ratkaisu. Näitä palveluita on jo lähdetty kehittämään, ja niihin ollaan investoimassa huomattavasti globaalilla tasolla (kappale 2.1). Suomen saama hyöty on kiinni siitä, miten kotimainen potentiaali kyetään hyödyntämään kansainvälisillä markkinoilla.

Suomi kuului 2010-luvun puoliväliin saakka siihen vähälukaiseen teollistuneiden valtioiden joukkoon, joilla ei ollut omaa satelliittia avaruudessa. Ensimmäisen suomalaisen satelliitin rakentaminen aloitettiin 2010-luvun alussa pääosin Aalto-yliopiston opiskelijoista koostuneessa ryhmässä. Yliopiston nimeä kantavat Aalto-1 ja Aalto-2 Cubesat -nanosatelliitit laukaistiin Maata kiertävälle matalalle radalle vuonna 2017. Osa Aalto-yliopiston

satelliittiteknologian ryhmästä perusti vuonna 2016 start-upin, jolle annettiin nimi Reaktor Space Lab (RSL) start-upin rahoittajana ja emoyhtiönä toimivan Reaktorin mukaan. RSL lähti kehittämään kaupallista CubeSat-ratkaisua, ja se on laukaissut onnistuneesti jo oman satelliitin ja useita uusia on rakenteilla. Erilaisia satelliittikonsepteja kehitelleen opiskelijayhteisön joukosta irtautui kuitenkin jo ennen sitä toinen ryhmä liiketoimintahenkisiä opiskelijoita, jotka synnyttivät napa-alueen jääolosuhteita kartoittavia pieniä, mikrosatelliittiluokan SAR-tutkasatelliitteja kehittävän start-upin vuonna 2014. Sille annettiin satelliittien tehtävää osuvasti kuvaava nimi ICEYE.

“Aalto-yliopiston satelliittiprojektit muodostivat pohjan, joka synnytti kaksi merkittävää New Space -yritystä – esimerkiksi napa-alueen jääolosuhteita kartoittavia mikrosatelliitteja kehittävän start-upin vuonna 2014.”

Myöhemmin keksintö osoittautui käyttökelpoiseksi myös muiden alueiden satelliittiseurantaan. Alettiin kehittää pienistä SAR-tutkasatelliiteista koostuvaa konstellatiota, joka on sittemmin houkutelut kansainvälisiä kaupallisia sijoittajia ja pääomaa kymmeniä miljoonia euroja. Sijoitukset ovat mahdollistaneet ICEYE:n nopean kasvun muutaman henkilön mikrolokasta lähes sata henkilöä työllistäväksi yritykseksi muutamassa vuodessa. Kolme ensimmäistä satelliittia oli saatu onnistuneesti avaruuteen vuoden 2019 puolivälissä. Yhtiö markkinoi satelliittien dataa aktiivisesti kaupallisena palveluna ja kehittää monipuolisia datatuotteita vastaamaan kaupallisten asiakkaiden tarpeita useilla sektoreilla.

Business Finlandin ylläpitämällä suomalaista avaruusliiketoimintaa esittelevällä Space Finland -sivustolla⁴ luetellaan nelisenkymmentä kaupallista avaruusalan toimijaa. Suuri osa uusista avaruusalan yrityksistä voidaan luokitella New Space -toimijoiksi. Esimerkkejä selkeästi kasvuhakuisista suomalaisista New Space -yrityksistä ovat ICEYE, Reaktor Space Lab, Isaware, ja Aurora Propulsion Technologies.

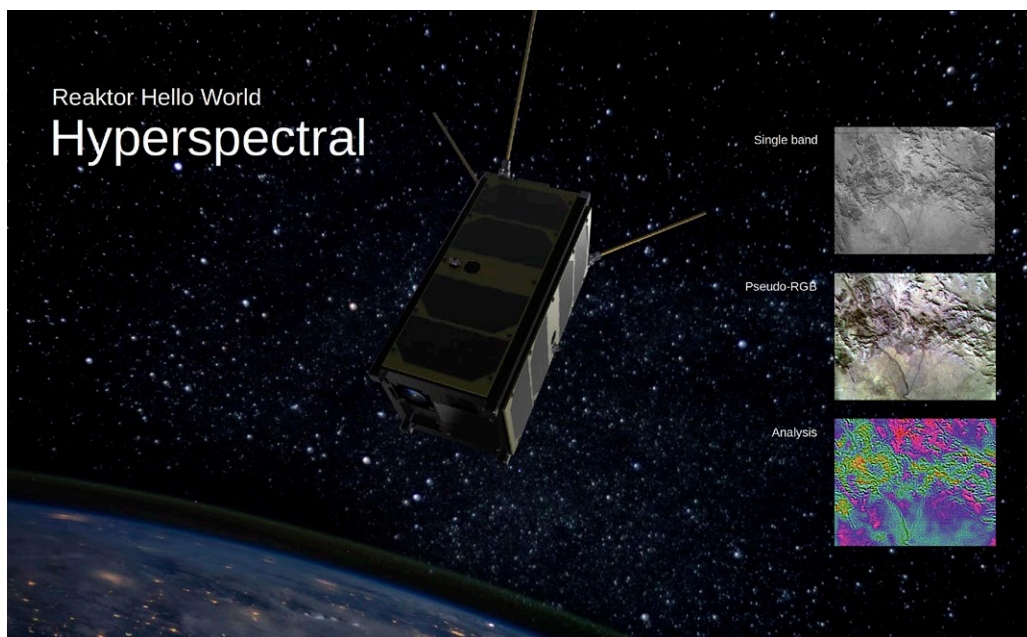
“Suomalaistutkijat ovat maailman kärkikastia monilla alueilla: astrofysiikka ja planeetatutkimus, ilmakehän otsoni ja aerosolit, avaruusplasmafysiikka sekä avaruussää.”

Yksityisen sektorin ohella useat yliopistot (Aalto, Helsinki, Turku, Oulu) ja valtion tutkimuslaitokset, (Ilmatieteen laitos, VTT, Maanmittauslaitos, SYKE) ovat olleet aktiivisia sekä kaukokartoitukseen että avaruuteen liittyvässä tutkimuksessa ja yhteistyössä kaupallisen avaruussektorin kanssa. Space Finland luettelee suomalaisen avaruustoiminnan vahvuusalueina kevyet hiilikuiturakenteet, avaruuslaitteiden elektroniikan ja ohjelmistot, röntgen- ja mikroaaltotekniikan sekä metsiin, lumeen, jäähän ja mereen liittyvät ympäristösovellukset. Tutkimuksessa astrofysiikka ja planeetatutkimus, ilmakehän otsoni ja aerosolit, avaruusplasmafysiikka sekä avaruussää ovat suomalaisten vahvuusalueita, joissa ollaan myös maailman kärkikastia.

SUOMALAISIA SATELLIITTEJA AVARUUDESSA

Avaruuteen on laukaistu useita onnistuneita missioita:

- Kesäkuussa 2017 laukaistiin VTT:n kehittämä, maailman ensimmäinen nanosatelliittiin soveltuva hyperspektrikamera Aalto-1-satelliitin kyydissä. Aalto-1:n mukana testattiin myös Turun yliopiston kehittämää miniatyrisoitua säteilyilmaisinta.
- Tammikuussa 2018 ICEYE laukaisi Suomen ensimmäisen kaupallisen satelliitin ICEYE-X1, jonka hyötykuormana oli maailman pienin satelliittiin asennettu SAR tutka. ICEYE laukaisi toisen satelliittinsa marraskuussa 2018. ICEYE-X2 -satelliitissa on parannettu versio SAR-tutkasta, joka pystyy erottamaan alle viiden metrin kokoisia kohteita Maan pinnalta.
- Ensimmäinen kaupallinen CubeSat-nanosatelliitti Reaktor Hello World laukaistiin marraskuussa 2018 (Kuva 12). Hello Worldin hyötykuormana on VTT:n hyperspektrikameran infrapuna-alueella toimiva versio. Tämä on ensimmäinen nanosatelliitissa lennätetty infrapuna-alueella toimiva spektrikamera maailmassa.
- Tulevien avaruusteknologian osaajien kannalta tärkeä, Aallossa oppilastyönä rakennettu Suomi-100 -satelliitti laukaistiin onnistuneesti avaruuteen loppuvuodesta 2018. Satelliitin hyötykuormaan kuuluu kamera ja Aallossa kehitetty radiovastaanotin.
- Vuonna 2019 laukaistiin vielä kaksi uutta ICEYE:n SAR-satelliittia. Suorituskyvyltään ICEYE:n SAR-tutkat ovat edelleen maailman parhaita tässä kokoluokassa. Kahdella avaruusdemonstraatiolla SAR-tutkat ja hyperspektrikamerat toimivat edelläkävijöinä uusien suomalaisten avaruusteknologioiden kansainvälisillä markkinoilla.



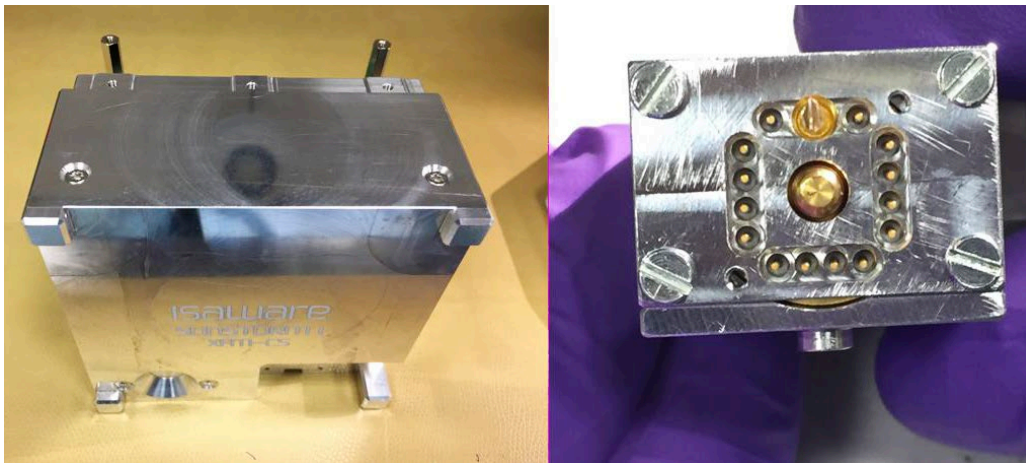
Kuva 12. Reaktor Hello World laukaistiin marraskuussa 2018. Kuva: RSL/Janne Kuhno.

SUOMI AVARUUSKARTALLA – MERKITTÄVIÄ SUOMALAISIA AVARUUSINNOVAATIOITA JA -HANKKEITA

Avaruussään seurantaan soveltuva Isawaren X-ray Flux Monitor (XFM) -instrumentti, jokakykenee tarkkoihin tieteellisiin mittauksiin (kuva 13).

- SUNSTORM 1 -Cubesat laukaistaan vuonna 2021 matalalle kiertoradalle Reaktor Space Labin CubeSat-alustalla. Se on ensimmäinen suomalainen CubeSat, joka soveltuu tarkkaa suuntausta ja stabiileja mittauksia vaativaan operatiiviseen käyttöön, ja sen hyötykuormana on XFM.
- Isawaren XFM -instrumentista on suunnitteillasäteilyä kestävä versio sekä ESA:n että myös NOAA:n (USA) käyttöön Lagrange-hankkeessa, joka kuuluu ESA:n vuonna 2020 käynnistyvään avaruuden turvallisuusohjelmaan (Space Safety Program, S2P). XFM:llä toteutetaan jo yli 40 vuotta käytetty amerikkalaisten GOES -satelliittien tuottama Auringon röntgensäteilyn voimakkuutta mittaavan yksinkertaisen datan korvaaminen tulevaisuuden tarpeita vastaavalla monikäyttöisellä datalla. Tästä on tulossa uusi globaali standardi.
- Konseptit sähköpurjeelle ja plasmajarrulle syntyivät Ilmatieteen laitoksella spin-offina avaruussään mallinnuksesta. Sähköpurjeella luotaimet voivat liikkua aurinkokunnassa lähes ilman polttoainetta (vain pieni sähkövirta tarvitaan purjeina toimiviin ohuisiin säikeisiin). Plasmajarruna käytettäessä samalla teknologialla voidaan tuoda hallitusti alas Maata kiertävillä radoilla olevia satelliitteja hyötykäytön päättyessä. Plasmajarrun prototyyppi on laukaistu avaruuteen Aalto-1 -satelliitin mukana, missä sen toimintaa demonstroidaan muiden instrumenttien testiohjelmien jälkeen.
- Helsingin yliopiston vetämän ja Suomen Akatemian rahoittaman FORESAIL-huippuyksikön suunnitelmiin kuuluu kolme satelliittia, joista ensimmäinen laukaistaan näillä näkymin vuonna 2020 napa-alueiden yli kiertäville radoille. Ilmatieteen laitoksella kehitetyn satelliittialustaan kuuluvan plasmajarrun lisäksi satelliittien hyötykuormaan kuuluu Turun yliopistossa kehitetty RADMON-säteilymonitori, jonka toimintaa on jo demonstroitu Aalto-1-satelliitissa toimivalla ensimmäisellä versiolla. Huippuyksikössä kehitetään myös Vlasiator-simulaatiota, jonka tarkkuus avaruussään aika- ja paikkajakauman osalta on tiettävästi paras maailmassa.
- VTT:n ja Reaktor Space Labin kehittämällä W-Cube satelliitilla on tarkoitus testata korkean taajuuden radiolinkkiä (75 GHz). Satelliitti on suunniteltu laukaistavaksi vuonna 2020. Jos testit onnistuvat, tätä taajuusaluetta voidaan käyttää tulevaisuudessa nopeisiin tietoyhteyksiin maa-asemien ja satelliittien välillä. Myös satelliittien välisten linkkien toteuttaminen samalla teknologialla on mahdollista. Uudet taajuusalueet ovat olennainen osa uuden sukupolven tietoliikenneverkkojen (5G, 6G) kehityksessä. W-Cube on ensimmäinen ESA:n Suomesta tilaama kokonainen satelliitti.
- VTT ja Reaktor Space Lab kehittävät yhdessä ESA:n planeetan puolustusmissio HERA:an liittyvää APEX-satelliittia. APEX-satelliitti on ulkoavaruudessa toimintakykyinen hyperspektrikameralla varustettu nanosatelliitti, joka pystyy tunnistamaan asteroidien pintakerrosten mineraalikoostumuksen. Hankkeessa on mukana myös Helsingin yliopisto.

- ESA:n ohjelmissa on kehitetty myös monia muita suomalaisia teknologioita. Niiden käyttöä ja erityisesti kaupallista hyödyntämistä on tutkittu ja viety eteenpäin ESA:n ARTES-ohjelman alla toimivassa Business Applications (BA/IAP) ohjelmassa. Yksi suomalaisista hankkeista on Isawaren johtama MSW Service Feasibility Study, jossa olivat mukana Vaisala, ANS Finland, Reaktor Innovations ja Ilmatieteen laitos. Hankkeessa tutkittiin lentokentille ja erityisesti lennonvarmistuspalveluille hyödyllistä vaarallisten sääilmiöiden tarkkojen lähiennusteiden kehittämistä⁵². Mikrosäätöpalvelun demonstraatiojärjestelmän kehittäminen Helsingin ja Tampereen lentoasemia varten aloitetaan vuoden 2020 keväällä.



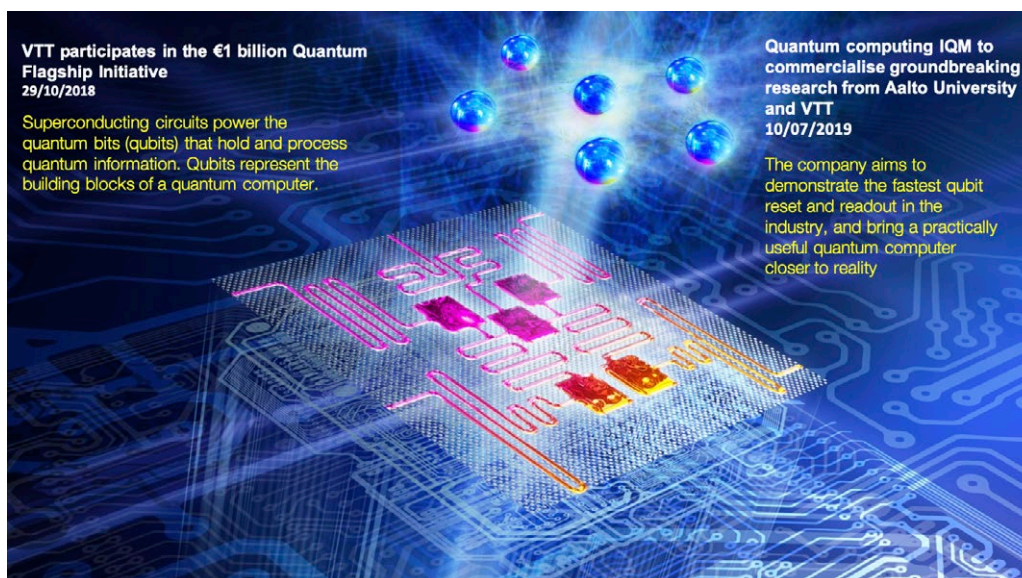
Kuva 13. Isawaren X-ray Flux Monitor (XFM) -instrumentti. Kuva:Isaware/Juhani Huovelin.

Suomi on viime vuosina tehnyt merkittäviä investointeja myös maasta käsin tehtävään avaruus- ja kaukokartoitustoimintaan. Kärkihankkeita ovat muun muassa:

- Kansallinen satelliittidatan prosessointikeskus (nsdc.fi) on Ilmatieteen laitoksen perustama keskus Arktisen avaruuskampuksen yhteyteen Sodankylään. Keskuskeskuksen prosessointi- ja arkistointijärjestelmät tarjoavat sekä kaupalliseen käyttöön että tutkimukseen mahdollisuuksia kaukokartoitushavaintojen fuusioimiseen uuden tiedon hankkimiseksi. Datojen hyödyntäjiä ovat muun muassa turvallisuusviranomaiset (lentoliikenne, talvimerenkulku, pelastusviranomaiset). Lisäksi datakeskus toimii yhteistyössä Copernicus -ohjelman kanssa niin sanotulla Collaborative Ground Segment -statuksella. Keskuksen hyödyntää monipuolista mittalaiteverkostoa, jonka avulla voidaan luotettavasti kalibroida ja validoida kaukokartoitussatelliittien tuotteita.
- Loppuvuodesta 2018 EISCAT-järjestö tilasi suomalaiselta DA-groupilta uuden EISCAT 3D -tutkan vastaanotinyksiköt, jotka sisältävät

muun muassa matalakohinaiset vahvistimet, analogia/digitaalimuuntimet ja digitaalisen keilanmuodotusjärjestelmän ensimmäiset vaiheet. EISCAT 3D -rakennushankkeen kokonaisbudjetin arvio on näillä näkymin 70 miljoonaa euroa.

- Maanmittauslaitoksen satelliittilaser (SLR) Metsähovissa ja Paikkatiekeskuksen FinnRef GNSS -vastaanotinverkon laajennukset. SLR-havainnot ovat välttämättömiä riippumattoman ja tarkan ratatiedon määrittämisessä. Metsähovin teleskooppi pysty valmistuttuaan seuraamaan 200–30 000 kilometrin radoilla olevia satelliitteja jopa kaarisekunnin tarkkuudella, ja sen sijainti täydentää Keski-Euroopassa toimivien teleskooppien näkökenttää.
- SQUID-teknologia (Superconducting Quantum Interference Device) (kuva 14), jota VTT ja Helsingin yliopisto ovat kehittäneet yhteistyönä ESA:n Athena-missioon ja sitä käytetään mahdollisesti myös Spica-missiossa. SQUID-elementeissä käytetty kvanttiliitosratkaisu on poikimassa merkittävän sovelluksen kvanttietokoneen perusosasten, kubittien (engl. qubit), kehittämisessä. VTT on mukana Euroopan Komission miljardiluokan Quantum Flagship Initiative -hankkeessa⁵³. Aalto-yliopiston ja VTT:n yhteistyön pohjalta syntynyt IQM⁵⁴ on uusi suomalainen kvanttietokonetta kehittävä yhtiö, joka on jo saanut huomattavaa kaupallista rahoitusta ratkaisun kehittämiseen.



Kuva 14. SQUID-teknologiaa jota VTT ja Helsingin yliopisto ovat kehittäneet avaruuskäyttöön lähes 20 vuotta yhteistyössä ESan kanssa. Kuva: Quantum Flagship/H. Ritsch.

ESA:n vuonna 2016 tilaaman kustannushyötyanalyysin⁵⁵ mukaan avaruussääpalveluiden käyttäjistä erityisesti sähköjakelu ja lentoliikenne hyötyvät monitoroinnin ja ennusteiden tuottamista eduista. Tätä tulosta tukee myös avaruussään kysynnästä kerätyt kokemukset. Suomessa sähköjakelusta vastaavien toimijoiden ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyönä on tutkittu jo 1970-luvulta asti avaruussäämyrskyjen aikaan esiintyvien geomagneettisesti indusoituvien virtojen vaikutusta sähköverkkojen toimintaan. Nykyisin tämän yhteistyön tuloksena syntyneitä mallinnusosaamista hyödynnetään myös muiden maiden ja EU:n tilaamissa riskianalyyseissa.

Kansainvälisellä tasolla huomion kohteena ovat tällä hetkellä avaruussään asettamat haasteet lentoliikenteen turvallisuudelle ja toiminnalle. Siviili-ilmailun tukitoimintoihin liittyviä kansainvälisiä sääntöjä kehittävä ja koordinoiva, YK:n alaisuudessa toimiva ICAO (International Civil Aviation Organization) nimitti vuoden 2018 lopulla kolme palvelukeskusta toimittamaan organisaation asettamien standardien mukaisia globaaleja avaruussäätiedotteita jäsenmaiden lentoyhtiöille. Suomen vetämä kymmenen ICAO-jäsenmaan PECASUS⁵⁶ aloitti virallisesti toiminnan marraskuussa 2019 yhtenä kolmesta globaalista avaruussääpalvelukeskuksesta.

Tulevaisuudessa monet näistä teknologioista liittyvät toisiinsa hybridijärjestelmien kehittymisen myötä, ja datafuusion hyötykäyttö lisääntyy. Uudet anturitekniikat ja kasvavat satelliittiparvet tulevat myös kasvattamaan tarvetta tiedonsiirtokapasiteetille, uusille prosessointimenetelmille sekä laajojen järjestelmäverkostojen tehokkaalle hallinnalle, joissa käytetään monipuolisesti uusia inversiomenetelmiä, koneoppimista ja muita edistyneitä tiedonlouhinnan ja analysoinnin menetelmiä.

Avaruusteknologian kehittämisen rahoitus Suomessa:

- Suomessa avaruusteknologian kehitys on tapahtunut pääosin ESA:n teknologiakehityshankkeissa tai se on ollut tulosta suurista tiedeinstrumenttiprojekteista ESA:n missioihin. ESA:n teknologiakehitysohjelma (mm. GSTP) on edelleen vahvasti uuden teknologian taustalla. Myös EU:n tutkimusohjelmissa on toteutettu suomalaisen avaruusteknologian kehittämishankkeita (esimerkiksi E-SQUID FP7-hanke⁵⁷).
- Business Finlandin New Space Economy -ohjelma⁵⁸ (2018–22) on markkinalähtöinen rahoitusohjelma, joka on jatkoa aikaisemmalle julkisesti rahoitetulle kansallisen tason tutkimustyölle avaruusalaalla. Ohjelma on avoin alaa uudistaville kasvua hakeville valmistavan teollisuuden yrityksille sekä avaruusdataa hyödyntäville yrityksille sekä alan tutkimusorganisaatioille. Tavoitteena on saada mitattavia talouskasvuun ja työllisyyteen vaikuttavia tuloksia verkostoilla sekä

uusilla liiketoimintamalleilla. Ohjelman toimenpiteiden lähtökoh-
tana on, että avaruusosaamisen järjestelmällinen kehittäminen on
tärkeää ja kannattavaa Suomelle. Esimerkkeinä ohjelmaan liittyvästä
rahoitustoiminnasta voidaan mainita ICEYEn liiketoiminnan skaalau-
tumiseen ja sitä ympäröivän ekosysteemin skaalautumiseen tarkoi-
tettu 10 meur Kasvumoottori-pääomalaina sekä Business Finlandin
ja Euroopan avaruusjärjestön yhdessä rahoittama ESABIC yritys-
hautomo, jossa tällä hetkellä toimii 13 avaruusalan startup-yritystä.
Myös merkittävä osa Suomen ESA projektirahoituksesta on kohdis-
tettu nimenomaan uuden tyyppisen avaruusliiketoiminnan kasvun
tukemiseen.

- EDIDP (European Defence Industry Development Programme⁵⁹)
on uusi EU:n rahoitusinstrumentti puolustusalan hankkeille, joilla
tähdätään Euroopan itsenäisen puolustuskyvyn kehittämiseen. Jo
päätyneissä hauissa on mukana suomalaisia teknologiayrityksiä
ja muita toimijoita. Lähetetyissä ja seuraavaa hakua varten valmis-
teluvaiheessa olevissa hanke-ehdotuksissa on olennaisena osana
avaruusjärjestelmiä ja avaruusdatan hyödyntämistä, jotka liittyvät
muun muassa EU:n SSA-ohjelmaan, ESA:n kaukokartoitusohjelmaan
sekä Copernicus-järjestelmään.
- Nykyisen Business Finlandin vuonna 2016 aloittaman Hilla-tutki-
musohjelman⁶⁰ alla on useita avaruusdataa hyödyntäviä hankkeita.
Niissä on syntynyt jo valmiita, potentiaalisesti kaksoiskäyttöön
soveltuvia ratkaisuja esimerkiksi kentällä liikkuvien toimijoiden
luotettavaan paikannukseen. Esimerkkinä on hybridiratkaisu, jossa
voidaan johtaa tarkka GNSS-paikkatiedosta riippumaton paikkatieto
havaitusta alueesta satelliittikuvantamista hyödyntäen ja maasto-
karttatiedon sekä maanpäällisten tai lentäviin laitteisiin sijoitettu-
jen kameroiden datan avulla. Ko. hankkeesta ei ole vielä julkistettua
tietoa.
- Merkittävänä uutena trendinä on avaruussektorin ulkopuolisten
yksityisten toimijoiden kiinnostus ja kehityshankkeetliiketoimintan-
nan kehittämiseen avaruusteknologiaa hyödyntämällä. Ohjelmis-
toyrittäjänä tunnettu Reaktor Innovations Oy on investoinut omaa
kyvykkyyttään teknisen avaruusalan kehittämiseen. Tästä on
syntynyt tähän mennessä piensatelliitteja valmistava Reaktor Space
Lab, joka on jo kehittänyt oman CubeSat-konseptin ja muun muassa
Hello World -satelliitin, siihen liittyviä tukijärjestelmiä sekä maa-ase-
man satelliittien operointiin. Myös Nokia on investoinut avaruustek-
nologiaan selvittääkseen, miten olemassa olevaan liiketoimintaan

liittyviä avaruuspohjaisia teknologisia ratkaisuja voidaan hyödyntää. Yhteistyötä tehdään avaruusalan yritysten kanssa.

- Puolustusvoimien hävittäjähankinnan eli HX-hankkeen epäsuora teollinen yhteistyö voi tuoda ainutlaatuisen mahdollisuuden rahoittaa myös avaruustoimintaa ja sen kehittämiseen liittyviä hankkeita. Niiden avulla voi olla mahdollista tuottaa Suomen turvallisuuden ja riippumattoman puolustuskyvyn kannalta merkittäviä teknologisia ratkaisuja ja viedä niitä eteenpäin. Erityisesti SAR-tutkateknologia, SAR-data-analyysi, ja koneoppimismenetelmien soveltaminen satelliittidataan ja yhdistettyyn monidimensioiseen dataan tarjoavat mahdollisuuksia HX-yhteistyöhankkeissa Puolustusvoimien kanssa. Ne edistävät yritys- ja tutkimussektoreiden osaamista ja kilpailukykyä merkittävästi myös kansainvälisillä markkinoilla. HX-hankkeeseen kuuluvan epäsuoran teollisen yhteistyön osuutta ei ole määriteltyetukäteen, ja siitä saatava hyöty avaruusosalalle riippuu kokonaan suomalaisten avaruusalan yritysten ja tutkimuslaitosten aktiivisesta työstä epäsuoran yhteistyön ehtoihin sopivien hankkeiden muodostamiseksi, ja toimivasta yhteistyöstä Puolustusvoimien kanssa. HX-hanke on ajankohtainen suuri mahdollisuus Suomen avaruussektorille ja sen tehokkaaksi hyödyntämiseksi tarvitaan laaja aktiivinen tiedonvaihto ja keskustelu Puolustusvoimien ja yrityssektorin välillä on ratkaisevan tärkeää.

Muodollisesti avaruustekniikan koulutus Suomessa alkoi 1980-luvulla, kun Teknilliseen Korkeakouluun (nykyisin Aalto-yliopisto) perustettiin Avaruustekniikan laboratorio. Ensimmäiset suomalaiset avaruustekniikan diplomi-insinöörit valmistuivat 1980-luvun lopulla. Avaruustekniikan opetuksen painopiste on kaukokartoituksessa, etenkin mikroaltoinstrumentit ovat opetuksen keskiössä. Tähän liittyvää tutkimusta tekee Suomessa myös Aalto-yliopiston Radiolaboratorio, VTT Tietotekniikka ja ESAn ulkoinen laboratorio MilliLab Espoossa. Vuonna 2009 laboratorio tuli osaksi Aalto-yliopiston Radiotieteen ja -tekniikan laitosta. Vuodesta 2005 alkaen TKK:n eli 2010 lähtien Aalto-yliopiston opiskelijoilla on ollut mahdollisuus osallistua EU:n kansainväliseen SpaceMaster-maisteriohjelmaan. Alan koulutus on 1990-luvun lopulla laajentunut Tampereen teknilliseen yliopistoon, jossa kuitenkin opetetaan vain muutamia kursseja. Avaruusfysiikan ja tähtitieteen tutkimusta on tehty Suomessa paljon kauemmin. Esimerkiksi vuodesta 2012 lähtien tähtitieteen vierailukeskuksena toiminut Helsingin Observatorio valmistui vuonna 1834 ja oli tähtitieteen tutkimuksen jatkuvassa käytössä vuoteen 2010.

*“Avaruuden fyysikaalisen toimintaympäristön syvälinen ymmärrys on tarpeen vain osassa avaruustoiminnan edellyttämiä tehtäviä.
Myös esimerkiksi liiketoimintaosaaminen on tärkeää.”*

Avaruustoiminta on teknologiapainotteista, mutta vaatii laaja-alaista osaamista. Avaruuden fyysikaalisen toimintaympäristön tuntemuksen lisäksi avaruuteen lähetettävien järjestelmien kehittämisessä on keskeistä radiotekniikan, hienomekaniikan sekä elektroniikan osaaminen. Analytiikka- ja algoritmiosaaminen ovat keskeisessä roolissa avaruusjärjestelmien tuottaman datan käsittelyssä. Avaruusjärjestelmiin kokonaisuutena liittyy myös maanpäällisiä elementtejä radio- ja tietotekniikan alueilta, ja erityisesti kaupallisissa soveluksissa myös liiketoimintaosaaminen on tarpeen. Avaruus toimintaympäristönä voidaan nähdä lisäkerroksena teknisen ja liiketoimintaosaamisen päällä. Toisin sanoen, avaruuden fyysikaalisen toimintaympäristön syvällinen ymmärrys on tarpeen vain osassa avaruustoiminnan edellyttämiä tehtäviä. Useat avaruustoimintaan liittyvät tehtävät voidaan nähdä avaruuden asiayhteydessä sovellettuina yleisempinä osaamisalueina (Taulukko 2).

Taulukko 2. Avaruustoimintaan liittyvät teknologiat, niiden nykytila sekä hyödyntämismahdollisuudet.

Teknologia/ Toimijat	Kuvaus	Nykytila	Hyödyt ja mahdollisuudet	Hyödyntäminen
Nanosatelliitit/RSL, Aalto Reaktor Innovations Oy (ohjelmisto)	alle 10 kg painavat satelliitit	3 laukaistua satelliittia, joista 2 toimii (Aalto-1 ja Hello World)	Nopea kehitys ja räätälöinti, halpa, parvet-, skaalautuvuus	Kartoitus, monitorointi, tutkimus, operatiiviset palvelut
Mikrosatelliitit/ICEYE	10–100 kg satelliitit	4 laukaistua satelliittia, joista 3 toimii (ICEYE X1, X2, X4, X5)	Sovellukset, joihin nanosatelliitti on liian pieni (SAR-tutkat, suuren resoluution kamerat)	Samat kuin nanosatelliiteilla, mutta parempi suorituskyky ja pidempi käyttöikä
Propulsio ja radaltapois- toratkaisut, laukaisuavustimet/ Ilmatieteen laitos Aurora propulsion	Sähköpurje Plasmajarru Höyrypallo jolla nostetaan raketti stratosfääriin	Sähköpurje/plasmajarru: Kaksi koelaitetta lennätetty, toiminta ei vielä verifioitu. Höyrypallo: konsepti julkaistu	hallittu radaltapoisto, avaruuslennot ilman polttoainetta, halvemat laukaisut	Satelliittien radalta poisto Nanosatelliittien propulsio asteroidien radan muuttaminen ?
SAR/ICEYE	Pienikokoinen X-kaistan SAR (Synthetic Aperture Radar)	Neljä laitetta testattu avaruudessa Suorituskyky maailman huippua	Satelliittihavainnointi kaikissa olosuhteissa Parven avulla korkea paikka- ja aikaresoluutio	24/7 monitorointi ja seuranta suurella tarkkuudella. Alueellinen valvonta ja tiedustelu
Säteily- ja hiukkas-Instrumentit/ Isaware Turun yliopisto ASRO	XFM-röntgenmonitori RADMON-hiukkasmonitori	XFM-CS (CubeSat) lentomalli valmis, avaruuteen 2020–21 RADMON toimii Aalto-1 satelliitissa. Molemmista seuraavia versioita tulossa / olemassa	Reaaliaikainen tieto Auringon purkauksista, ja kovan säteilyn vaikutuksista ionosfääriin, sekä säteilyta- soista ilmakehässä	Uudet avaruussäätöpalvelut GNSS- ja radiohäiriöiden monitorointi, säteilytason monitorointi napa-alueen ilmatilassa Luonnonvarojen kartoitus kuussa ja asteroideilla
Hyperspektri- kamerat / VTT	Nanosatelliittiin soveltuva hyperspektrikamera	Toimii avaruudessa: Optinen (Aalto-1) ja infrapuna (Reaktor Hello World)	Soveltuu hyvin mm. maanpinnan ja kasvuston tilan monitorointiin, sekä Ilmakehän kaasumittauksiin	Kartoitus, monitorointi, tutkimus, operatiiviset palvelut. Tilannekuva ja muutosten seuranta
Miniatyrisoidut meteorologiset mittalaitteet planeettatutkimukseen / Ilmatieteen laitos Vaisala	Vaisalan antureihin esim. paine, kosteus, lämpötila, perustuvat mittalaitteet	Käytössä useissa Mars-missioissa	Laajat meteorologiset mittausverkot esim. Marsissa	Teollisesti tuotetut komponentit myös avaruuskäyttöön. Kiinan ja Yhdysvaltojen Kuu- ja Mars- ohjelmat.
Pienet Mars-laskeutajat/ Ilmatieteen laitos	Kaasutäytteiseen hidasterakenteeseen perustuva laskeutuja (<25 kg) Marsiin	Konseptia testattu laboratorio-olosuhteissa sekä simulaatioilla. Tekninen malli rakennettu	Laajat mittausverkot Marsissa	Kiinan ja Yhdysvaltojen Kuu ja Mars ohjelmat.
Avaruusmittalaitteiden ohjaustietokoneet/ Ilmatieteen laitos RUAG Space Finland	Tietokoneyksiköitä avaruuslaitteiden ohjaamiseen ja datankäsittelyyn	BepiColombo SIXS/MIXS ASPERA- plasmainstrumentit, Rosetta/Philae-laskeutuja	Säteilyä ja häiriöitä sietävän elektroniikan osaaminen	Satelliittien ohjaustietokoneet sekä elektroniikka Häiriösietoiset tietojärjestelmät

Teknologia/ Toimijat	Kuvaus	Nykytila	Hyödyt ja mahdollisuudet	Hyödyntäminen
Tietoliikenne/ Nokia, VTT, Reaktor Innovations Oy RSL, HARP Technologies, DA-Group	Uudet korkean taajuuden radiolinkit 4G/5G integraatio	75 GHz radiomajakka testaus nanosatelliitissa 2020 aikana (VTT, RSL) 5G ESA-kehitysprojekti :Reaktor, Nokia, RSL, VTT	Suuri kapasiteetti Globaali kattavuus Skaalautuvuus ja päivitettävyy	Satelliittipohjaiset mobiiliverkot Kaksoiskäyttöpotentiaali, esim. GOVSATCOM
GNSS teknologiat/ MML/ Paikkatietokeskus Ilmatieteen laitos	FinnRef verkon laajennus, Avaruussään vaikutus GNSS palveluihin	Galileo-konstellation käyttöönottoon valmistautuminen, ja tutkimukset käynnissä	Parantunut valmius tuottaa luotettavia navigaatiopalveluita. GNSS häirinnän tunnistaminen ja sieto	Uudet navigaatiopalvelut. Rajoitetun EGNOS tuen korvaavat ratkaisut Pohjois-Euroopassa. Häirintäsietoiset GNSS palvelut
Data- analytiikka/ IL, VTT, SSF, Terramonitor, OrbitGo, Reaktor Innovations Oy Isaware	Koneoppiseen perustuvat tunnistus-, seuranta- ja tarkkailujärjestelmät Inversiomenetelmät tarkkuuden kvantifiointi, tilannekuva- ja tulevaisuuden projisointi	Kaukokartoitusdataan perustuva tilannekuva: Esim. lumi, jää, tulva, ilmanlaatu, UV-säteily, metsät, maankäyttö, Käyttö tutkimuskeskeistä – paljon mahdollisuuksia tehostaa hyödyntämistä, Toimijoilla on runsaasti valmiuksia ja menetelmiä	Datan tehostettu hyödyntäminen eri sektoreilla yhteiskunnassa ja julkisella sektorilla Suomesta maailman johtava EO-tietoa hyödyntävä ja jalostava maa	EO-dataan perustuvat globaalit uuden sukupolven tilannekuvaajärjestelmät. ja palvelut. Reaaliaikainen valvonta ja seuranta. Kaksoiskäyttö.
SQUID-teknologia (Superconducting Quantum Interference device)/ VTT, Aalto, IQM Finland Oy Astrofysiikan sovellukset: Helsingin yliopisto	Kvanttiteknoologiaan ja suprajohtavuuteen perustuva signaalin mittaus ja vahvistaminen	Mittalaitte ESA:n ATHENA missioon, VTT Euroopan johtava SQUID valmistaja. Lääketieteen mittalaitteet, piilotettujen aseiden tunnistaminen VTT ja Aalto soveltamassa kvanttietokoneen kehittämiseen	Kvanttimekaanisten ilmiöiden käytännön sovellukset ja suuren herkkyuden mittauslaitteet ja kamerat. Mahdollinen teknologia kvanttietokoneen toteuttamiseen käytännössä	Kvanttietokoneet, reaaliaikaisen simulaatiojärjestelmät ja seuraavan sukupolven tekoäly, tehokas murtautuminen kaikkiin paitsi kvanttikryptauksella suojattuihin tietojärjestelmiin. Materiaalien läpi näkevät lämpökamerat
Ohjelmistoradioita ja muita kaupallisia komponentteja hyödyntävä radiotekniikka/ KNL Networks, RSL, Sodankylän Geofysiikan Observatorio, Reaktor Innovations Oy,	Kommunikointi Arktisilla alueilla, ilmakehä tutkimus, maa-asemaratkaisut	halvat ionosondit, riometerit ja tutkat, RSL:n ohjelmistoradiopohjainen maa-asemaratkaisu	HF-linkit alueilla, jossa ei SATCOMia, kustannustehokkaat maa-asemaratkaisut	SATCOM-järjestelmien varajärjestelmät Kaupallisten radiotekniikan komponenttien hyödyntäminen avaruudessa
Satelliittien maa-asemat/ Ilmatieteen laitos, RSL, Aalto, ICEYE	Satelliittidatan vastaanotto ja prosessointi. Satelliittien operointi	Ilmatieteen laitos operoi kansallista satelliittiasemaa Sodankylässä RSL, Aalto ja ICEYE operoivat satelliitteja omien asemiansa kautta	Kaupalliset maa-asemat piensatelliiteille. Sodankylän maa-aseman kaupallinen käyttö lisääntyy.	Suomeen riittävä maa-asemaverkosto satelliittiyhteisille kaikissa olosuhteissa Maa-asemien kaupallinen hyödyntäminen lisääntyy

3.4 Suomen turvallisuusyhteistyö avaruustoiminnassa

Avaruustoiminnan suuri strateginen merkitys kansallisen turvallisuuden kannalta on tiedostettu Suomessa. Puolustusvoimien kannalta erityisen olennaista on tilannekuva maanpinnalla, ilmakehässä ja avaruudessa. Tarvittava tieto tilannekuvaan saadaan hyödyntämällä satelliittijärjestelmiä yhdistettynä maanpäällisiin ja ilmassa sekä vedessä toimiviin järjestelmiin. Keskeistä on kyky vastaanottaa ja prosessoida satelliittidataa yhteiskunnan eri toimijoiden tarpeisiin. Suomella on tällä hetkellä kapasiteetiltaan rajoitettu kansallinen satelliitti-maasema (Sodankylän avaruuskeskus), jonka kapasiteettia olisi merkittävästi laajennettava lisäämällä satelliittien datan vastaanottojärjestelmiä sekä taajuusalueita. Tämä onnistuu parhaiten julkisten ja yksityisten toimijoiden yhteistyöllä.

Suomessa saadaan tilannekuvaa maasta, ilmasta ja avaruudesta avaruussään osalta hyödyntäen eurooppalaisia ja amerikkalaisia satelliittijärjestelmiä. Vahvaa yhteistyötä tehdään ESA:n, EUMETSAT:in, EU:n, NOAA:n ja NASA:n kanssa. Useat suomalaiset tutkimuslaitokset ja kaupalliset yritykset tekevät satelliittihavainnoista johdetun tilannetietoisuuden alalla yhteistyötä puolustusvoimien kanssa, ja uuden kehittämiseen panostetaan sekä teknologiaa kehittämällä että tutkimustyöllä. Tästä yhteistyöstä hyötyvät sekä siviilisektori että puolustusvoimat.

Suomi kehittää kansallista huoltovarmuutta monenkeskisellä yhteistyöllä myös NATO:n viitekehyksessä. Yhteistyö tapahtuu pääasiallisesti NATO:n rauhankumppanuusohjelman siviilulottuvuuden (Civil emergency planning, CEP) puitteissa. CEP-agendalla ovat muun muassa huoltovarmuuden turvaamista tukeva valmiussuunnittelu ja tiedonvaihto erinäisten kriisitilanteiden varalle sekä katastrofiavun koordinoimiseksi. Suomen tehostettu kumppanuus Naton kanssa tarjoaa aiempaa parempia mahdollisuuksia syvempään ja räätälöityyn yhteistyöhön myös huoltovarmuuden (mm. katkeamaton paikannuspalvelu, tietoliikenne, ympäristötieto) näkökulmasta.

Avaruuden tilannetietoisuuden (SSA – Space Situational Awareness) alalla Suomi tekee yhteistyötä ESA:n, EU:n, NASA:n ja NOAA:n kanssa. Suomi solmi marraskuussa 2019 kahdenvälisen avaruustilannekuvayhteistyötä koskevan yhteisymmärryspöytäkirjan USA:n kanssa⁶¹. SSA tarkoittaa tietoisuutta avaruussään (SWE – Space Weather) olosuhteista, lähiavaruudessa Maata kiertävien kappaleiden seurantaa (SST – Space Surveillance and Tracking) sekä ajoittain Maan lähelle tulevien mahdollisesti uhkaavien taivaankappaleiden seurantaa (NEO – Near Earth Objects). Kyky ymmärtää ja ennustaa avaruussäätä tarvitaan mm. arvioitaessa paikka- ja navigaatiotiedon sekä UHF/VHF-kommunikaation laatua, jotka ovat keskeisiä sekä siviili- että turvallisuuskäytössä. SST on toimintaa, jolla avaruusesineitä tarkkailemalla saadun tiedon perusteella yritetään välttää avaruusalusten välisiä ja avaruusalusten ja avaruusrumun välisiä törmäyksiä sekä seurataan avaruusalusten tai avaruusrumun paluuta ilmakehään. Avaruussää (SWE) ja SST ovat linkittyneinä toisiinsa, koska

avaruussää ajoittain kuumentaa ilmakehän yläkerroksia ja näin vaikuttaa matalalla Maata kiertävällä radalla kiertävän esineen lopulliseen syöksymiseen ilmakehään. Maapallon lähiavaruuden olosuhteet ja siellä Maata kiertävät esineet muodostavat uhan avaruudessa toimiville satelliittijärjestelmille ja ne saattavat aiheuttaa turvallisuusuhan myös Maan päällä, jos avaruusalukset tai avaruusromu syöksyvät hallitsemattomasti ilmakehään. Huomattakoon, että ESA on nimennyt aiemmin samalla nimellä kulkeneen SSA-ohjelmansa uudelleen, ja sen nimi on vuoden 2020 alusta lähtien S2P (Space Safety Programme).

Näiden vaara- ja häiriötilanteiden ennakoiminen edellyttää SST-osaamista, ja sitä Suomi on kehittämässä yhteistyössä EU:n ja USA:n kanssa, joilla on ennestään vahva keskinäinen yhteistyö. Käytännössä eurooppalaiset puolustusteollisuuden toimijat ovat keskeisesti mukana SST-palvelun kehityksessä, ja kyseessä on siis kaksoiskäyttö. Yhteistyö yhdysvaltain kanssa on vahvaa ja myös Yhdysvaltain puolella puolustusvoimat ovat keskiössä SST:n kehityksessä ja operoinnissa. Tämän vuoksi aktiivinen eurooppalainen SST-toiminta edellyttää yhteistyösopimusta Yhdysvaltain kanssa, jonka Suomi teki marraskuussa 2019.

EU-yhteistyön tuloksena on tarkoitus saada Suomeen kansallisiin avaruustoiminnan vahvuuksiin pohjautuva kansallinen avaruuden tilannetietoisuutta ylläpitävä keskus, joka operoi kiinteässä yhteistyössä EU-toimijoiden kanssa osana eurooppalaista järjestelmää.

4 Suomalainen avaruustoiminta globaalissa murroksessa

Suomella on hyvät eväät kaupallisen avaruuden valloittamiseen. Uusi avaruushallinto on silti tiukan paikan edessä. Avaruustoimialan kasvua rajoittaa osajien saatavuus. Lisäksi koulutusjärjestelmämme tuottaa osajia liian kapeille erikoisosamisalueille. Suomessa avaruuden tutkimustoiminta on kuitenkin korkealla tasolla. Jotta siitä osaamisesta saadaan myös liiketoiminnan aihioita, valtion on syytä tehdä kansallisesti suunnattuja hankintoja tutkimustoiminnan liepeille syntyviin yritysisiin. Valtion kanssa tehdyt pilottihankkeet ovat tarpeellisia referenssejä, kun suomalaisia yrityksiä kytetään mukaan avaruuden kansainvälisiin arvoketjuihin. Tämä on oleellista myös suomalaisen turvallisuuden kannalta. Suomen kokoisessa maassa uusien avaruusjärjestelmien pitää sopia sekä siviili- että sotilaskäyttöön. Suomi voi turvata toimintojaan myös kansainvälisen yhteistyön ja kumppanuuksien kautta. Meillä pitää kuitenkin olla tarjottavana omaa osaamista, jotta pääsemme sitomaan itseämme eurooppalaisiin ja trans-atlanttisiin satelliittijärjestelmiin. Ne antavat huoltovarmuutta, aluevalvontamahdollisuuksia tai tiedustelukykyä. Tulevaisuudessa meillä pitää olla myös avaruuslaitteiden sarjatuotantokyvykkyyttä, mikä tukee kotimaista avaruusliiketoimintaa ja helpottaa Suomen pääsemistä mukaan kansainvälisiin kumppanuuksiin.

4.1 Toimintaympäristön muutos kiihtyy – avaruushallinto joutuu tulikokeeseen

Avaruustoiminnan nopea kehittyminen aiheuttaa paineita avaruusasioiden hallinnolle⁶². Suomessa syksyyn 2019 asti käytössä ollut hajautettu avaruushallinnon malli on osoittautunut muuttuneessa tilanteessa riittämättömäksi malliksi avaruustoiminnan koordinointiin. Syksyllä 2019 voimaan astunut asetus avaruusasiain neuvottelukunnasta (ANK)⁶³ tehostaa tilanteen tasalla pysymistä sekä päätöksentekoa keskittämällä osan toiminnoista täysipäiväiselle neuvottelukunnan sihteeristölle (TEM Space Office)⁶⁴. Sihteeristö on

näkyvä ja päätoimisesti avaruusalaan keskittyvä valtionhallinnon yksikkö Suomessa. TEM:n Space Office toimii Avaruusasiain Neuvottelukunnan, valtionhallinnon sekä yritys- ja tutkimussektorin tukijana ja kanavana valtionhallinnon ja näiden sektoreiden välillä. Se toimii myös informaation lähteenä sekä kansainvälisenä yhteyspisteenä avaruusasioissa. Näin sihteeristöllä on keskeinen rooli uuden avaruusstrategian käytännön jalkautumisen ja sen suunniteltujen toimenpiteiden ja tavoitteiden⁶⁵ kannalta.

Uudistetun avaruushallinnon mallin syntyminen Suomessa osuu ajankohtaan, jossa sen toimivuus joutuu välittömään tulikokeeseen. Sen on tehtävä lyhyellä aikavälillä monia käytännön toimintamahdollisuuksiin vaikuttavia päätöksiä, tärkeitä linjauksia sekä aloitteita. Nämä vaikuttavat siihen, millä tavalla avaruustoiminta ja avaruusteollisuus kehittyvät Suomessa seuraavien vuosien aikana, ja tänä aikana päätettyjen toimien seurauksena myös pidemmällä aikavälillä.

Avoimna olevia kysymyksiä uuden kansallisen avaruushallinnon toiminnan alkumetreillä ovat kansallisen avaruusohjelman ja sen toteuttamisen mahdollistavan budjetin puuttuminen. ANK:n toimenpidesuunnitelma⁴⁴ sisältää suunnitelman ja tavoitteet vuoteen 2025 saakka, ja Suomen jäsenyys ESA:n Prodex-ohjelmassa⁶⁶ mahdollistaa tarvittavan kansallisen rahoituksen ESA:n tiedemissioihin yliopistoille ja tutkimuslaitoksille tieteeseen keskittyvillä perusteilla. Tämä mahdollisuus on puuttunut Business Finlandin rahoituksesta jo muutaman vuoden ajan. Yhdessä kasvaneen kansallisen ESA-budjetin kanssa nämä voidaan nähdäkehityksenä kohti vakaampaa ja laajenevaa avaruusalan toimintaa Suomessa, niin tutkimuksessa kuin myös kaupallisella sektorilla.

EU laati vuonna 2018 ehdotuksen uudesta EU:n avaruusasetuksesta⁶⁷. Yhtenä asetuksen keskeisenä elementtinä määriteltiin entisen, EU:n Galileo-paikannusjärjestelmästä⁶⁸ vastanneen GSA:n⁶⁹ roolin kasvatus EU:n avaruusvirastoksi (nk. EU Space Agency, EUSA). Se vastaisi jatkossa EU:n avaruusjärjestelmien hallinnoinnista. Euroopan avaruusjärjestö ESA ilmeisesti koki ehdotuksen omaa rooliansa haastavaksi, ja uusi avaruusasetus jäi EU:n hallintoelimissä ehdollisesti hyväksyttynä odottamaan uuden, 2019 valitun parlamentin uusia säätöjä⁷⁰.

EU:n avaruusasetukseen sisältyy ohjaus suorittaa niin kutsuttuja innovatiivisia hankintoja. Tämä mahdollistaa EU:n järjestelmiä täydentävien kyvykkyyksien hankinnan markkinaehtoisesti, mikä tukisi elinkelpoisen liiketoiminnan syntymistä. Nykyinen hankintamalli perustuu kyvykkyyksiä tuottavien järjestelmien eli ensisijaisesti satelliittien hankintaan julkiselle toimijalle ESA:n kautta, eli rajoitetun tuottomarginaalin projektijärjestelyin. Tämä malli ei tue itsenäisesti elinkelpoisen liiketoiminnan kehittymistä.

ESA:n peruskirja määrittelee ESA:n toiminnan peruselementiksi vahvan maapalautejärjestelmän, mistä johtuen ESA ei voi kovin helposti suorittaa uudenlaisia innovatiivisia

hankintoja⁷¹. Lisäksi ESA:n yleiset sopimusehdot sisältävät immateriaalioikeusvaatimuksia (intellectual property), mitkä tekevät ESA:n kanssa toimimisesta haasteellista muuta liiketoimintaa harjoittaville ei-avaruusalan yrityksille. Tästä syystä uusi toimija – EUSA – on tarpeen. Yhdysvalloissa NASA on suorittanut vastaavan tapaisia innovatiivisia hankintoja jo vuodesta 2007 kilpailuttamalla muun muassa kansainväliselle avaruusasemalle suoritettavat rahtikuljetukset⁷², ja se on onnistunut stimuloimaan merkittävää kaupallista avaruustoimintaa toimimalla ankkuriasiakkaana uusille yhdysvaltalaisille avaruuspalveluille.

EU:n ehdotettu avaruusasetus määrittelee 16 miljardin euron budjetin EU:n avaruusohjelman mukaisten järjestelmien kehittämiseen vuosille 2021–2027. Näihin järjestelmiin kuuluvat olemassa olevat satelliittipaikannusjärjestelmät Galileo ja kaukokartoitusjärjestelmä Copernicus. Lisäksi siihen kuuluvat kehitteillä olevat teknologiat avaruuden tilannekuvan ja liikenteen hallintaan (SSA/SST) sekä viranomaisten käytössä olevaan tietoliikennepalveluun (GOVSATCOM). Mikäli tästä budjetista saadaan ohjattua 10 prosenttia niin kutsuttuihin innovatiivisiin, liiketoimintaa kehittäviin palveluihin, Eurooppaan syntyisi uusi, 1,6 miljardin euron markkina kaupallisille avaruuspalveluille.

“Jos EU:n avaruusohjelman budjetti toteutuu, siitä voi syntyä Eurooppaan uusi, 1,6 miljardin euron markkina kaupallisille avaruuspalveluille.”

Suomen avaruuslaki⁷³ astui voimaan 23.1.2018, ja sen perusteena ovat olleet kansallinen näkökulma ja mahdollisuuksien tukeminen suomalaisen avaruustoiminnalle ja sen kehittämiseksi, ja tarpeettomien esteiden vähentäminen kansainvälisen lainsäädännön ja EU:n avaruusasetuksen puitteissa. Avaruuslaki kattaa myös kansallisen toiminnan yhdistämisen YK:n avaruussopimuksien⁷⁴ asettamiin velvoitteisiin.

Avaruushallinnon osaamista ja uusien osaamisalueiden tarvetta on syytä arvioida ajoittain. Avaruushallinnossa tarvitaan esimerkiksi teknistä asiantuntemusta nykyistä enemmän. Strateginen ohjaus EU:n ja ESA:n suuntaan eurooppalaisen avaruusosaamisen kehittämisen osalta vaatii kansallisen hallinnon toimenpiteitä Suomen edun ajamiseksi nykyistä määrätietoisemmin.

Käytännön esimerkki nopean kehityksen tuomista haasteista on itse laki avaruustoiminnasta⁷⁵. Suomesta oli tullut omia satelliitteja valmistava avaruusvaltio jo lain voimaantuloa edeltävänä vuonna, kun Aalto-1 -satelliitti laukaistiin avaruuteen kesällä 2017⁷⁶. Aalto-1 rakennettiin ja laukaistiin aikana jolloin Suomessa ei ollut avaruuslakia, mikä aiheutti riskin sekä valtiolle että satelliitin kehittäneelle Aalto-yliopistolle. Lakia valmisteltaessa uusia satelliitteja valmisti Suomessa aktiivisesti jo kaksi yritystä, ja vuonna 2018 laukaistiin jo useita satelliitteja uuden, juuri voimaan tulleen avaruuslain puitteissa. Lain laatimisen ja valmistelun yhteydessä kuultiin myös avaruusalan aktiivisia toimijoita ja varmistettiin olemassa olevan toiminnan jatkuvuuden edellytykset lain puitteissa.

Uudet, piensatelliitteja valmistavat yritykset (ICEYE ja RSL) syntyivät Aalto-1-projektista. Aalto-yliopiston rohkeus ja ennakkoluulottomuus uuden teknologian tutkimuksessa ja kehittämisessä olivat keskeisiä tekijöitä näiden New Space -yritysten syntyyn Suomessa. Korkeakoulujen soveltava tutkimus, yhteistyö teollisuuden kanssa sekä tutkimushankkeista syntyvät spin-off -yritykset ovat tärkeitä mekanismeja uuden, korkean jalostusasteen toiminnan syntymiselle.

Avaruustoiminnan kehitys erityisesti Yhdysvalloissa ja Kiinassa on huomattavan nopeaa. Maat ovat osanneet ohjata suuria kansallisia avaruusbudjetteja tehokkaasti uutta ja kaupallista toimintaa synnyttäviin hankkeisiin. Suomella ei ole varsinaista avaruusbudjettia. Avaruustoimintaa on avaruusstrategian mukaisesti toteutettu ensisijaisesti Euroopan Avaruusjärjestön kautta. Avaruustoiminnan rahoitus Suomessa on muodostunut Euroopan Avaruusjärjestön vuosimaksusta sekä Suomen panoksesta EU:n muihin avaruusohjelmiin (EUMETSAT, Galileo, Copernicus). ESA:n ja EU:n hankintatoiminnan rakenteesta johtuen tämä rahoitus on kanavoitunut ensisijaisesti institutionaalisille toimijoille, alan suuryrityksille sekä julkisille toimijoille. Rahoitusmekanismien rakenteen ja pienen kokonaisvolyymien johdosta rahoituksen kanavoituminen uutta kaupallista toimintaa synnyttäviin hankkeisiin on ollut vähäistä. Alan kehitys Yhdysvalloissa ja Kiinassa onkin selvästi nopeampaa kuin Euroopassa ja Suomessa.

Suomen avaruusalan kokeneet toimijat kuten SSF Oy, VTT Oy ja DA-Group Oy hakevat uusia toimintamahdollisuuksia muuttuvassa toimintaympäristössä. Perinteiset avaruusprojektit ovat edelleen tarpeellisia ja tärkeitä, mutta niissä ei ole nähtävissä merkittävää kasvua. Uudessa, kaupallisvetoisessa avaruustoiminnassa sen sijaan kasvumahdollisuuksia on nähtävissä⁷⁷.

Tulevaisuusvisioiden ja mahdollisuuksien toteutuminen käytännössä edellyttää avaruushallinnolta kansallisten infrastruktuurisijoitusten sekä vuosittaisten jäsenmaksujen viisasta suuntaamista sekä tutkimukseen että kehitykseen. Tämä koskee erityisesti ESA:n teollisuuspalautteen myötä tulevia rahoitusmahdollisuuksia. Tässä on huomioitava globaalit trendit, markkinoiden kehittyminen sekä toimijoiden käytännön potentiaali. Tärkeimpiä suuntauskohteita ovat:

- Ajankohtaisten ja selkeästi voimakkainta kasvupotentiaalia osoittavien innovaatioiden ja hankkeiden tukeminen.
- Pilottien ja julkisten ankkuriasiakkuuksien mahdollistaminen. Tämä koskee yrityssektoria ja etenkin kasvuhakuisia nuoria yrityksiä, joiden markkinoille pääsemisen kynnystä tulisi madaltaa, erityisesti kun kyse on vielä nykyisin ja lähitulevaisuudessa pääosin julkisista toimijoista avaruuspohjaisten palveluiden asiakkaina. Lisäksi

koordinoitu tarjonta luo yrityksille ja niiden tuotteille uskottavuutta ja kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla.

- Etenemismahdollisuuksien ja tuen järjestäminen myös uusille, kauemmas tulevaisuuteen sijoittuville suuren riskin hankkeille, joilla on selkeää kasvupotentiaalia, ja jotka vaativat vielä tutkimukseen panostamista merkittävällä tasolla.
- Avaruusteknologian kehittämisen, avaruustutkimuksen, alan koulutuksen sekä valtionhallinnon välisen yhteistyön ja vuorovaikutuksen vahvistaminen. Tällä luodaan pohjaa kestäväälle avaruusteollisuuden kehittymiselle Suomessa. Tavoitteena luoda edellytyksiä avaruusalan muutoksiin joustavasti sopeutuvien ekosysteemien ja alustojen synnylle sekä näiden avulla kansainvälisesti kilpailukykyisen ja kansantalouden kannalta merkittävän avaruusteollisuuden kehittymiselle.

“Pilottihankkeiden julkisen rahoituksen tulisi kattaa hankkeen kokonaistarve, jotta yritysten ei tarvitse hakea pilotteihin yksityistä lisärahoitusta, jota on eniten tarjolla Euroopan ulkopuolelta.”

Pilottihankkeen tehtävänä on tuottaa toiminnallinen ensimmäinen versio palvelusta, jolle asiakkaalla on tarve. Pilottihankkeen julkinen rahoitus mahdollistaa uuden palvelun kehittämisen pisteeseen, jossa asiakas voi sitoutua tilaamaan pilotin pohjalta kehitettyä kaupallista palvelua. Tällainen sitoumus on ankkuriasiakkuus, joka tuo uudelle palvelulle kassavirtaa. Kassavirta puolestaan tuottaa yritykselle laskennallista arvoa ja mahdollistaa myös ulkopuolisen pääoman keräämisen palvelun kehittämistä sekä liiketoiminnan kasvattamista varten.

Pilottihankkeiden julkisen rahoituksen tulisi kattaa hankkeen kokonaistarve, jotta yritysten ei tarvitse hakea pilotteihin yksityistä lisärahoitusta, jota on eniten tarjolla Euroopan ulkopuolelta. Merkittävä ulkomainen rahoitus saattaa johtaa suomalaispanostuksen siirtymisen ulkomaiseen omistukseen ja pidemmällä aikavälillä koko yrityksen siirtymiseen pois Suomesta. Kehittämistoiminnan päätavoitteena tulee olla riippumattomien strategisten kyvykkyyksien luominen Suomeen uusien ratkaisujen muodossa.

4.2 Murroksen vaikutukset turvallisuuteen

Pääsy avaruuteen ja kyky toimia siellä ovat yhä tärkeämmässä roolissa modernissa yhteiskunnassa, myös Suomessa. Yhä suurempi ja monipuolisempi joukko satelliitteja muun muassa yhdistää maassa toimivia tieto- ja kommunikaatioverkkoja, mahdollistaa ilmaston ja säätilojen muutosten seurannan sekä tarjoaa paikannuspalveluita älypuhelimien ja

navigaatiolaitteille (GPS, GLONASS, Beidou, Galileo). Myös tiedusteluun ja sotilaalliseen käyttöön tarkoitetut satelliitit ovat lisääntyneet. Avaruuden ja siellä toimimisen merkityksen kasvaessa näihin liittyvät turvallisuuskysymykset ovat tulleet yhä ajankohtaisemmiksi.

AVARUUSTURVALLISUUTEEN VAIKUTTAVAT VIISI TRENDIÄ

1. Avaruus on aikaisempaa saavutettavampi: teknologisen kehityksen johdosta satelliittien laukaisukustannukset ovat laskeneet ja pienemmät mikro-, nano- ja piko-satelliitit ovat mahdollistaneet uusille toimijoille omia sotilaallisia, tieteellisiä ja kaupallisia avaruuskäyttöjä (ks. esim. Amos 2019). Myös Suomella on ratkaisuja tarjottavanaan eurooppalaisiin avaruustoimintaympäristön arvoketjuihin sekä Yhdysvaltojen avaruusmarkkinoille. Business Finlandin tarjoama tuki rahoitukseen, verkostojen luomiseen ja viestintään liittyen pyrkii edistämään tätä edelleen.
2. Avaruusteknologian määrällinen ja laadullinen kehitys on tehnyt satelliittien seuraamisesta ja paikantamisesta entistä vaikeampaa. Suomelle tilanne on haasteellinen, koska suojautuminen muiden satelliitteja operoivien tahojen kyvyiltä muodostaa tarkkaa tilannekuvaa on entistä haasteellisempaa, ja se vaatii tiiviimpää eurooppalaista ja bilateraalista yhteistyötä.
3. Avaruus on entistä ruuhkaisempi ja kilpaillumpi. Sen lisäksi, että kokonaisten avaruusesineiden kuten erilaisten satelliittien määrä on kasvanut merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana, niiden törmäyksistä ja hajoamisesta syntyvä avaruusromu muodostaa vielä vaikeammin havaittavan ja huonosti ennakoitavissa olevan vaaran. Esimerkiksi satelliittien tuhoamista on kokeiltu useissa maissa, ja nämä testit ovat osaltaan lisänneet avaruusromun määrää, joka uhkaa toimivia satelliitteja sekä avaruusalustoja. Myös kansainvälinen yhteistyö avaruusromun vähentämiseksi on haastavaa.
4. Avaruuden aseistaminen on etenemässä nykyisten suurvaltojen välisen kamppailun kiristytessä ja uusien suurvaltojen noustessa mukaan tähän kamppailuun. Esimerkiksi Venäjä, Kiina ja USA ovat kehittäneet uusia avaruusesijärjestelmiä satelliittien maanpäällistä sekä avaruuteen sijoittuvaa torjuntaa varten. Samalla sopimus pohjaisen monenkeskisen säätelyn heikkous ja puute edesauttavat suurvaltojen välisen kilpailun leviämistä avaruuteen.
5. Satelliittipohjaiset kommunikaatio- ja navigaatiojärjestelmät ovat häirintämenetelmien kehittyessä yhä haavoittuvampia sekä kyberhyökkäyksille että signaalin häirinnälle. Erityisesti ilmatilaa käyttävä lentoliikenne on altis tälle häirinnälle, kuten Suomessa ja Norjassa on havaittu.

Avaruus on keskeisessä roolissa sekä alueellisen että globaalien tilannekuvan ylläpitämisessä. Tämä koskee erityisesti kohdealueen olosuhteiden ja mahdollisten vihamielisten toimien havainnointia, korkealaatuista paikkatietoa ja navigointikyvykkyyttä sekä reaaliaikaista laajakaistaista kommunikaatiota ja tiedonvälitystä omien operatiivisten yksiköiden sekä autonomisten järjestelmien kesken. Näitä kyvykkyyksiä ylläpidetään pysyvien

satelliittiparviin sekä jotain kohdealuetta varten erikseen laukaistujen satelliittien avulla. Globaalisti Yhdysvaltojen kyvykkyydet ovat edelleen omaa luokkaansa, joskin muut merkittävät toimijat kuten Kiina ja Venäjä (ja myös yksityinen sektori) pyrkivät edistämään omiaan⁷⁸.

Avaruuden toimintaympäristön kilpailun korostuminen sekä teknologinen muutos muodostavat uusia haasteita Suomen aluevalvontakyvyille. Toisaalta muiden toimijoiden tilannetietoisuus Suomen ratkaisusta ja kyvykkyyksistä kasvaa esimerkiksi uusien vakoilusatelliittien (esim. tutkasatelliitit) kautta. Kun avaruusjärjestelmät ovat yhä edullisempia ja teknologisesti suoraviivaisempia, muiden toimijoiden kyky havainnoida tarkasti Suomen aluetta kasvaa. Toisaalta Suomen kyvyt omaan tilannetietoisuuteen lähialueillaan (sekä avaruudessa) ovat riippuvaisia osittain turvallisuuskumppanuuksista ja niiden luotettavuudesta. Kumppanuusverkostot edellyttävät Suomelta aktiivista osallistumista.

Suurvaltojen keinot evätä muilta pääsy avaruuteen ja mahdollisuus käyttää siellä sijaitsevia kyvykkyyksiä ovat kasvaneet. Satelliittijärjestelmiä kyetään helpoimmin vaurioittamaan maasta käsin laukaistavilla ohjuksilla, kuten USA, Kiina, Venäjä ja Intia ovat jo osoittaneet. Suuritehoisia lentokoneesta käytettäviä laseraseita, jotka on tarkoitettu satelliittien vaurioittamiseen lienee käyttövalmiina lähivuosien aikana^{79 80}. Satelliittikommunikaation tai navigaation häirintä (eng. jamming) tai väärän paikkatiedon lähettäminen (eng. spoofing) onnistuu nykyteknologialla pienin kustannuksin, ja siihen pystyvät pienetkin toimijat tai organisaatiot. Suurvalloilla on suunnitteluvaiheessa ja myös todennäköisesti koekäytössä avaruudesta käsin toimivia tuhoajasatelliitteja, joihin on asennettu suuritehoisia sähkömagneettisia tai optisia häirintälaitteita, tai ne käyttävät kineettistä tehoa kohdesatelliitin heikentämiseksi⁸¹. On mahdollista, että jopa avaruusromun poistamiseen suunnitteilla olevia ratkaisuja on mahdollista käyttää haluttaessa myös vaurioittamaan toimivia satelliitteja. Toisaalta mahdollisia satelliittien vaurioittamistoimia varten suurvalloilla on pyrkimys hankkia tarvittava tieto toistensa satelliittijärjestelmistä ja yksittäisten satelliittien sijainnista, jotta mahdollisten haitallisten satelliittien epäilyttävät radan muutokset huomataan.

Tämänkaltaiset kehityskulut avaruuden geopolitisoitumiseksi ja militarisoitumiseksi sotivat useita avaruustoiminnan peruseriaatteita vastaan. Avaruusoikeuden mukaan ulkoavaruus kuuluu kaikille valtioille yhtäläisesti, koska sen katsotaan olevan ”ihmiskunnan omaisuutta” (province of all mankind)⁸² (Avaruusyleissopimus 57/1967, Artikla 1). Suurvaltojen toimet siis asettavat riskialttiiksi kaikkien maiden vapaan pääsyn avaruuteen, eikä mikään maa voi eksklusiivisesti käyttää tai ottaa haltuun ulkoavaruutta tai taivaankappaleita (Artikla 2). Toiseksi, kansainvälinen sääntely perustuu avaruuden rauhanomaiselle käytölle ja kiellolle joukkotuhoaseiden lähettämisestä Maata kiertävälle radalle tai niiden asettamisesta taivaankappaleille (Artikla 4). Ylipäätään kiristynyt suurvaltakilpailu asettaa kyseenalaiseksi velvollisuuden käyttää ulkoavaruutta ”kansainvälisen rauhan ja turvallisuuden

vahvistamiseksi ja kansainvälisen yhteistyön ja ymmärryksen lujittamiseksi ja edistämiseksi” (Artikla 3).

Suurvaltojen välisen kilpailun korostuminen ei heijastu ainoastaan mahdollisina haasteina yksittäisissä toimintaympäristöissä kuten avaruudessa. Toimintaympäristöjen väliset (eng. interdomain) riippuvuudet korostuvat. Hybridisodankäynti ja -vaikuttaminen on kasvava kansainvälistä kanssakäymistä leimaava piirre, joka pureutuu erityisesti toimintaympäristöjen välisiin vaikutussuhteisiin. Esimerkiksi satelliittikommunikaatioon ja -navigaatioon voidaan vaikuttaa myös kybertoimintaympäristön kautta, digitaalisia järjestelmiä häiritsemällä, harhauttamalla, ja jopa estämällä signaalinvälitys kokonaan. Tämä haitta voidaan tuottaa hyvin kustannustehokkaasti hakeroimalla esimerkiksi maa-asemien järjestelmiä. Samankaltaisiin riskiskenaarioihin liittyy myös avaruuden tai kyberavaruuden käyttäminen esimerkiksi laivaliikenteen (korkeateknologiaan pohjautuvan) navigaatiokyvyn häiritsemiseksi. Kaiken kaikkiaan tämä toimintaympäristöjen välisiä riippuvuussuhteita hyödyntävän häirintäkyvyn kehittyminen on trendi, jonka ymmärtäminen on yhä välttämättömämpää suurvaltajännitteiden kasvaessa.

Suomen näkökulmasta toimintaympäristöjen välisten riskien tunnistaminen ja hallitseminen itsenäisesti on paitsi tärkeää mutta myös erityisen haastavaa. Tämä lisää painetta tiivistää kansainvälisiä kumppanuuksia ja osallistua kansainvälisiin turvallisuusverkostoihin. Verkostokyvyyksien hyödyntäminen edellyttää myös yksityisten toimijoiden tukemista, jotta niiden tarjoamaa lisäarvoa on mahdollista hyödyntää myös avaruustoimintaympäristössä.

Yleisen suurvaltakamppailun lisääntymisen lisäksi Suomen näkökulmasta on erityisen huolestuttavaa, että turvallisuuspoliittiset jännitteet nousevat läheisellä arktisella alueella. Venäjälle tuon alueen merkitys on erityisen suuri. Siellä sijaitsee ensinnäkin Venäjän taloudelle keskeisiä energialähteitä. Alueen merkitystä sekä Venäjälle että kansainvälisesti korostaa edelleen avautuva pohjoinen merireitti, sekä Kuolan niemimaalta operoiva Pohjoinen laivasto ja sen strateginen sukellusvenearseenaali. Venäjä on myös viime vuosina vahvistanut yleisemmin sotilaallista läsnäoloaan ja toimintakykyään pohjoisilla alueilla. Avaruusnäkökulmasta se on erityisesti ottanut käyttöön voimakkaita elektronisen sodankäynnin järjestelmiä, joiden avulla voi häiritä laaja-alaisesti satelliittikommunikaatiota, mukaan lukien navigaatiolaitteiden signaali (GNSS) sekä lennokkien kauko-ohjaus. Lisäksi Venäjä pyrkii kehittämään omaa satelliittiverkostoaan napa-alueella, esimerkiksi Arktika-M (säätilan, maa- ja merialueiden monitorointi) ja Meridian (sotilaskommunikaatio) satelliittien avulla. Kaiken kaikkiaan Venäjä lähestyykin arktista aluetta geostrategisena alueena, jonka keskeisten osien turvallisuus ja hallinta muodostavat maalle tärkeän tavoitteen^{83 84}.

Perinteisesti arktista aluetta on pyritty pitämään geopolittisista jännitteistä vapaana yhteistyön alueena, pitkälti Arktisen neuvoston toimesta. On kuitenkin yhä

todennäköisempää, että alueen poikkeukselliseksikin kutsuttu yhteistyö saattaa vaikeutua suurvaltakilpailun voimistuessa. USA:n, Venäjän ja Kiinan suurvaltainressit ovat enenevässä määrin ristiriidassa alueella, sekä toisaalta niiden yleisempi strateginen vastakkainasettelu kansainvälisesti voi heijastella alueelle yhä useammin. Näin on käynyt jo jossain määrin Ukrainan kriisin johdosta asetettujen läntisten sanktioiden myötä. Sittemmin läntiset toimijat (Nato, Pohjoismaat) ovat vahvistaneet sotilaallisia kyvykkyyksiään sekä aktivoineet harjoitustoimintaansa laajemmin Pohjois-Euroopan puolustamiseksi⁸⁵.

Suurvaltdynamiikasta riippumatta tarve navigaatiokyvykkyydelle kasvaa joka tapauksessa jääpeitettään menettävällä ja aktivoituvalla Arktisella alueella. Esimerkiksi lento- ja risteilyliikenne oletettavasti lisääntyvät alueella, mikä korostaa muun muassa sään ja jäätilan muutosmuutoksia seuraavien satelliittien lisäksi luotettavien avaruuspohjaisten kommunikaatio- ja navigaatiojärjestelmien tärkeyttä polaarialueella niin normaaliolosuhteissa kuin mahdollisissa onnettomuus- ja muissa kriisitilanteissa. Turvallista navigaatiota on mahdollista parantaa esimerkiksi lisäämällä sotilaallisten GNSS-vastaanottimien käyttöä, ottamalla käyttöön lähempänä avaruudessa sijaitsevia GNSS-toistimia, lisäämällä maanpäällisten majakoiden määrää ja kehittämällä mahdollisia ilmakehässä lentäviä järjestelmiä. Tärkeätä on myös ylläpitää ja kehittää Suomen omaa kyvykkyyttä muodostaa reaaliaikainen avaruuden tilannekuva, jotta voimme muun muassa aukottomasti erottaa avaruussään aiheuttamat luonnolliset häiriöt tahallisesta häirinnästä pohjoisilla alueilla.

Kaikki nämä vaihtoehdot korostavat avaruusriippuvuuden merkitystä tulevaisuudessa. Jos Suomella ei ole luotettavaa satelliittinavigaatiomahdollisuutta (ja joitain muita avaruuspohjaisia kyvykkyyksiä), valtiollinen ja kaupallinen toiminta häiriintyy ja jopa vaarantuu. Esimerkiksi automaattisempaan lento- ja maaliikenteeseen siirtyminen saattaa vaarantua, jos avaruuspohjaisten navigaatiojärjestelmien häiriöherkkyyttä ei saada ratkaistua. On syytä huomata, että muut laajamittaiset infrastruktuurihankkeet, kuten yhteydet Pohjois-Suomen kautta arktiselle merireitille, vaarantuvat luotettavien navigaatoratkaisujen puuttuessa.

4.3 Avaruustoiminnalla on hyvät lähtökohdat

Eurooppalainen perinteinen avaruusteollisuus on kilpailukykyistä niillä toimintasektoreilla, joilla on eurooppalaista tarjontaa⁸⁶. Suomalaiset avaruusalan teolliset toimijat ovat pieniä ja taistelevat osuuksista isojen eurooppalaisten teknologiatoimittajien toimitusketjuissa.

Suomen korkea koulutusaste on vahva pohja, jota tukee tiede- ja teknologiamyönteinen ilmapiiri. Suomalaisen yhteiskunnan datakeskeisyys ja korkea digitaalisuusaste mahdollistavat myös avaruuspohjaisten palveluiden verraten suoraviivaisen käyttöönoton.

Suomessa tehdään huippuluokan avaruustiedettä ja täällä kehitetään huippuluokan tiedeinstrumentteja avaruuskäyttöön. Suomalaisia toimijoita on ollut mukana avaruusjärjestöjen satelliittihankkeissa jo kolmen vuosikymmenen ajan. Lisäksi Suomesta löytyy vahvaa avaruuteenkin sovellettavaa osaamista muun muassa SAR-tutkissa, hyperspektrikameroina, radioteknologioissa (SDR, 5G, 6G), avaruussään mittalaitteissa, nano- ja mikrosatelliiteissa, analytiikassa sekä digitaalisten palveluiden kehittämisessä. Suomalaisilla toimijoilla on erityistä osaamista arktisen alueen tarpeista sekä arktiseen liittyvän tilannekuvan analysoinnista.

Avaruustoiminnan murros liittyy ensisijaisesti avaruustekniikan halpenemiseen ja sen mahdollistamaan avaruustekniikan kaupalliseen käyttöön⁸⁷. Suomalaisista toimijoista Aalto-yliopisto sekä siitä lähteneet ICEYE⁸⁸ ja RSL⁸⁹ ovat piensatelliittitekniikan kehityksessä vahvasti mukana. Näiden yritysten lisäksi on syntynyt muitakin start-up -yrityksiä kuten Isaware ja Aurora Propulsion Technologies, jotka ovat tunnistaneet liiketoimintamahdollisuuksia ja rakentavat parhaillaan pohjaa kestäväälle kasvulle kansainvälisillä markkinoilla.

Suomen maantieteellinen sijainti on toisaalta hyöty ja toisaalta haitta. Pohjoisen sijaintimme ansiosta Suomessa sijaitsevat maa-asetat kuten Sodankylän avaruuskeskus tarjoavat hyvän kuuluvuuden satelliittien tietoliikenteelle nykyaikaisen infrastruktuurin ja helppojen liikenneyhteyksien puitteissa. Suomen pohjoinen sijainti ja Sodankylän avaruuskeskuksen⁹⁰ infrastruktuuri tekevät Suomesta erinomaisen sijainnin tutka-asetalle ESA:n SSA- ja EU:n SST-hankkeisiin ja tarjoaa mahdollisuuden osallistua yhteiseurooppalaisen avaruuden tilannekuvajärjestelmän kehittämiseen. Toisaalta naapurimaidemme intressien vuoksi laukaisu toiminnan harjoittaminen Suomen maaperältä ainakin länsimaisella teknologialla olisi haastavaa.

4.4 Uuden avaruustoiminnan kasvun esteet

Lupaavasta pohjasta huolimatta avaruustoimialan kasvua rajoittaa jo nyt osaajien saatavuus. Suomalaisia osaajia siirtyy ulkomaille paremman tulotason perässä, ja Suomessa toimivat avaruusalan kasvuyritykset kamppailevat osaavan ulkomaisen työvoiman maahan saamisen kanssa.

Suomalainen koulutusjärjestelmä tuottaa osaajia liian kapeille erikoisosaamisalueille. Avaruus- ja radiotekniikan, hienomekaniikan tai ohjelmisto-osaamisen lisäksi avaruusalan murros luo tarvetta osaajien ymmärrykselle tekniikan lisäksi myös liiketoiminnasta, projektitoiminnasta, markkinoinnista ja tuotantotaloudesta. Yhtenä huolestuttavana merkinä tulevaisuuden osaamispuutteesta voidaan pitää esimerkiksi uhkaa Kelloseppäkoulun lakkauttamisesta, sillä Kelloseppäkoulu on ainoa oppilaitos Suomessa joka tuottaa käytännön

hienomekaniikan osajia avaruusteollisuuden käyttöön. Ilman näitä osajia korkealaatuinen laitteiden ja satelliittien tuotanto tulee olemaan haasteellista.

Tiedotusvälineissä kerrotaan näyttävistä raketeista ja tiedemissioista, mutta avaruustekniikan arkipäiväisempi rooli jää vähälle huomiolle. Kansalaistietoisuus⁹¹ avaruusjärjestelmien merkityksestä ja arkipäiväisyydestä on vähäistä. Kun avaruusasioista puhutaan julkisudessa vähän, alalle hakeutuu vain pieni määrä opiskelijoita. Tämä johtaa osaltaan alan osaajapulaan. Päättäjien keskuudessa on havaittu asiaan liittyen merkittävää tietoisuuden kehittymistä vuosien 2018–2019 aikana⁹³.

Avaruusalan tapahtumissa näkyvät vain avaruustoimialan yritykset. Avaruustekniikka on kuitenkin luonteeltaan työkalu, joka tuottaa lisäarvoa myös muiden toimialojen yrityksille. Esimerkiksi teleoperaattorit voivat saada merkittävää lisäarvoa tietoliikenne-, paikannus- ja tilannekuvapalveluista, samoin kuin rahtiyrietykset, laivaoperaattorit tai pörssianalytiikot. Avaruusratkaisuiden hyötyjen ja markkinakypsyyden tiedottaminen muillekin kuin avaruusalan yhtiöille on tärkeää. Avaruusjärjestelmien tuottama lisäarvo konkretisoituu lopulta vasta näiden varsinaisten palveluyritysten toiminnan kautta.

“Merkittävimmät uudet liiketoimintamahdollisuudet löytyvät sovelluksista sekä suuria satelliittimääriä käyttävistä koordinoituista satelliittiparvista eli konstellaatioista.”

Merkittävimmät avaruustoiminnan murroksen tuomat liiketoimintamahdollisuudet löytyvät sovelluksista sekä suuria satelliittimääriä käyttävistä koordinoituista satelliittiparvista eli konstellaatioista⁹². Uudet avaruusalan toimijat tekevät sovelluskehitystä itse, samalla kun rakentavat konstellaatioita. Suomesta löytyy vahvaa osaamista sovelluspuolelta, mutta sovelluskehittäjän rooliin pääseminen tässä uudessa markkinarakenteessa on haastavaa. Konstellaatioiden teknologiatoimittajana toimiminen puolestaan edellyttää erityisesti piensatelliittiteknologian osalta sarjavalmistuskykyä, mikä ei Suomessa tällä hetkellä ole.

ICEYE ja RSL valmistavat omat satelliittinsa, mutta nekin joutuvat hankkimaan komponentteja Suomen ja Euroopan ulkopuolelta. Piensatelliittien asennonsäätöjärjestelmä sekä propulsioteknologia (raketimoottoriteknoologia) ovat merkittäviä suomalaisilta toimijoilta puuttuvia kyvykkyyksiä. Tällä hetkellä kaupalliseen käyttöön sopivia, riittävän luotettavia asennonsäätö- sekä propulsiojärjestelmiä saa lähinnä Yhdysvalloista, ja niiden hinta muodostaa merkittävän osan koko piensatelliitin kustannuksista. Elektroniikan komponentti-valmistuksen puute on jossain määrin rajoittava tekijä. Lisäksi eurooppalaisten, kustannuskilpailukykyisten laukaisujärjestelmien puute altistaa suomalaiset toimijat laukaisupalveluiden saatavuudesta ja hinnoittelusta sekä niihin liittyvistä vientirajoitteista seuraaville liiketoimintariskeille⁹³.

Suomi on sijoittanut ESA:n jäsenmaksuun merkittävästi alle ESA:n perussopimuksen määrittelemän 1,34 prosenttia ESA:n budjetista. Vertailukelpoiset maat kuten Ruotsi, Tanska ja Norja ovat sijoittaneet enemmän ja siten näiden maiden toimijoilla on ollut suurempi julkisen rahoituksen vipuvaikutus. ESA:n ministerikokouksessa Sevillassa marraskuussa 2019 Suomen rahoitusosuus nostettiin merkittävästi lähemmäs BKT-osuuttamme, joten julkisen rahoituksen osalta tilanteen voidaan odottaa paranevan. Julkisen rahoituksen vipuvaikutuksen rinnalla kasvua rajoittaa kasvurahoituksen vähyys. Kasvurahoitusta on Euroopassa ja erityisesti Suomessa vaikeaa löytää verrattuna Yhdysvaltoihin ja Kiinaan.

Liiketoimintakentässä on nähty jo ensimmäinen vakautumisaalto. MDA osti DigitalGloben,⁹³ Google osti SkyBoxin⁹⁴ ja myi sittemmin avaruustoimintansa Planetille,⁹⁵ ja ÅAC Microtec osti Clyde Spacen.⁹⁶ Jos uudet avaruusalan toimijat eivät pääse kasvamaan Suomessa, on riskinä että ne joko kuihtuvat pois tai ne ostetaan alan vakautumisen jatkuessa. Toiminnan tuottama lisäarvo ja osaaminen saattavat silloin ajautua Suomesta pois.

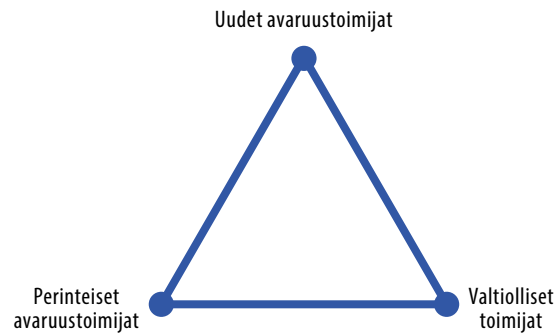
5 Suomalaisen avaruustoiminnan mahdollisia tulevaisuuskuvia 2030

Tässä osiossa esitellään mahdollisia tulevaisuuskuvia vuonna 2030. Tulevaisuuskuvien tarkoitus on kuvata erilaisia vaihtoehtoisia tulevaisuuksia. Ne eivät ole ennustuksia, mutta ne auttavat ennakoimaan, millaisia päätöksiä nykyhetkessä pitäisi tehdä.

5.1 Tulevaisuuskuvat hahmottavat mahdollisia kehityskulkuja

Tulevaisuuskuvien käyttö pohjautuu tulevaisuudentutkimuksen menetelmiin, joissa keskeistä on monimuuttujaisten, erilaisten mahdollisten tulevaisuuksien hahmottaminen. Tulevaisuuskuvat on rakennettu tulevaisuustaulukkoja käyttäen, joissa muuttujat kuvaavat avoimia kysymyksiä tai toimenpidealueita, kun taas muuttujien arvot kuvaavat erilaisia toteutumavaihtoehtoja kullekin muuttujalle. Nämä taulukot ja niiden selitykset ovat liitteen dokumenteissa. Tämän analyysin pohjalta on rakennettu Suomen avaruustoiminnalle neljä mahdollista tulevaisuuskuvaa alla olevan mukaisesti.

Avaruusalan tulevaisuden kannalta keskeisiä toimijoita ovat ensinnäkin perinteiset avaruusalan toimijat, jotka ovat aloittaneet avaruustoimintansa ennen käynnissä olevaa avaruusalan murrosta. Uudet avaruusalan toimijat mm. start-up satelliittiyrietykset ja kaupallisten sovellusten tekijät pyrkivät aktiivisesti hyödyntämään avaruusalan murrosta. Kolmas merkittävä toimijaryhmä on valtiolliset tahot, mm. kansalliset rahoitusorganisaatiot, hallinto ja lainsäädäntö sekä ylikansalliset organisaatiot kuten ESA ja EU (kuva 15). Näiden toimijoiden keskinäinen vuorovaikutus suurelta osin ratkaisee tulevaisuuskuvaan johtavan kehityskulun. Hallinnollisin toimin ja sopivalla regulaatiolla on mahdollista vaikuttaa optimaalisen tulevaisuuskuvaan syntymiseen.



Kuva 15. Avaruustoimijoiden voimasuhdekolmio

5.2 Tulevaisuuskuva A: Perinteisen teollisuuden valta

Euroopassa panostetaan perinteiseen avarusteollisuuteen. New Space -murroksen potentiaalia ei pystytä täysimääräisesti hyödyntämään.



Kuva 16. Wikimedia Commons

Vuoteen 2030 mennessä Suomessa ja Euroopassa avaruussektorin kehitystä ovat määrittäneet perinteisten avaruusteollisuusyritysten intressit. Isot avaruusmaat Saksa, Ranska, Iso-Britannia ja Italia pitävät kiinni rooleistaan perinteisen avaruusteollisuuden moottoreina, mikä aiheuttaa skismaa pienten ja suurten valtioiden välillä.

EU:ssa ei ole päästy yhteisymmärrykseen siitä, mihin kannattaa panostaa, ja maiden välille on syntynyt erimielisiä blokkeja. EU:n ristiriidat liittyvät ennen kaikkea jäsenvaltioiden poliittiseen polarisaatioon. Esimerkiksi 2020-luvun pakolaiskriisin ratkaisuun tai ilmasto-
politiikkaan ei ole löydetty yhtenäistä linjaa, mikä on kärjistänyt sisäpoliittista kehitystä ja luonut ristiriitoja jäsenvaltioiden sisällä ja niiden välille.

Vuonna 2030 ESA:n rooli avaruussektorin hankinnoissa ja teknologiakehityksessä on säilynyt tärkeänä, sillä New Space -murroksen tarjoamiin mahdollisuuksiin ei ole täysin osattu tarttua. Vaikka Euroopassa on syntynyt uusia avaruusalan yrityksiä, niiden on ollut vaikea päästä osaksi kansainvälisiä markkinoita ja suurvaltojen isoja avaruushankkeita. Perinteisten avaruusteollisuuden yritysten ulkopuolella alalla ei ole suurta vetoa. Kokonaisuudessaan avaruussektori Euroopassa on taantunut verrattuna Yhdysvaltoihin ja Kiinaan, jotka ovat panostaneet New Space -kehitykseen Eurooppaa voimakkaammin.

Vuonna 2030 Suomessa toimii muutama asemansa vakiinnuttanut avaruusalan yritys, joilla on vakaa asiakaskunta Euroopassa ja globaalisti. Uusien toimijoiden on kuitenkin vaikea päästä markkinoille Suomessa, sillä muuta lainsäädäntöä ei ole harmonisoitu avaruusalan kehityksen näkökulmasta. Epäselvä sääntely-ympäristö tekee uusien ankkuriasiakkuuksien käynnistämisestä ja julkisen sektorin palveluhankinnasta vaikeaa.

Tilanne on johtanut siihen, että Suomi on jäänyt jälkeen teknologisen kehityksen tasosta eikä pysty hyödyntämään kaikkea kansainvälistä liiketoimintapotentiaalia. Avaruussektorilla ei tapahdu suuria edistysaskelia, eikä eurooppalaisiin tai globaaleihin toimitusketjuihin päästä niin usein kuin haluttaisiin. Osa Suomen uusista avaruusalan yrityksistä lähtee suoraan Yhdysvaltain markkinoille.

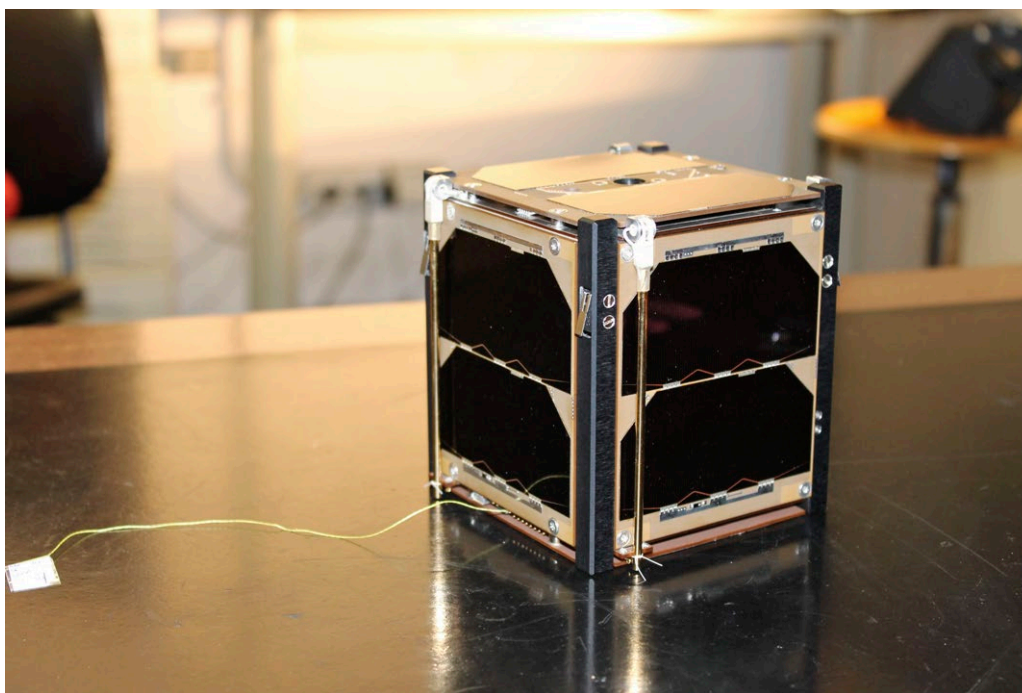
Suomen turvallisuusympäristöä on vakauttanut 2020-luvulla syntynyt, laajempi yhteisymmärrys arktisen alueen hallinnasta. Arktinen alue on suurvaltapoliitikasta eristetty ja monenkeskisesti hallinnoitu alue, jossa Suomi on osaltaan mukana kansainvälisessä yhteistyössä. Tämän ansiosta kaupallinen ja valtiollinen toiminta arktisella alueella on turvallista ja arktisessa politiikassa korostuu ympäristön tilan seuranta.

Suomen on kautta linjan vaikea kilpailla suurempien avaruustoimijoiden kanssa, ja siksi Suomessa on päätetty panostaa avaruusromun torjuntaan, jossa Suomi onkin päässyt osaksi kansainvälisiä hankkeita. Sodankylän maa-asemaa hyödynnetään entistä laajemmin ja kansainvälisemmin perinteisten avaruusyritysten puolelta. Kokonaisuutena perinteisen

eurooppalaisen avaruusteollisuuden korostuminen on kuitenkin kaventanut Suomen mahdollisuuksia määrittää omaa kohtaloaan avaruusasioissa.

5.3 Tulevaisuuskuva B: Euroopan uusi avaruus

Euroopassa yksityiset ja julkiset toimijat ovat pystyneet hyödyntämään uuden avaruuden mahdollisuuksia ja liiketoimintapotentiaalia. Suomi on kuitenkin avaruusliiketoiminnan kehityksessä jälkijunassa ja kansainvälinen kilpailukyky heikkoa.



Kuva 17. Wikimedia Commons

Vuonna 2030 EU:n yhteinen agenda ja yhteenkuuluvuuden tunne ovat vahvistuneet 2020-luvun alkuun verrattuna. Avaruustoiminnan puolella EU:ssa on suurin harppauksin edistetty niin julkisia innovatiivisia hankintoja kuin lainsäädännön ajantasaistamista. Erittäin avaruusdatan standardointiin liittyen on syntynyt uudenlaista yhteisymmärrystä, mikä on tukenut seurantaan, analyysiin ja raportointiin kohdistuvan avaruusliiketoiminnan kehittymistä. Eurooppalaiset toimijat ovat kehittäneet nykyaikaista laukaisutoimintaa⁹⁷ ja muita kaupallisesti menestyviä avaruuspohjaisia palveluita.

Eurooppaan on vuoteen 2030 mennessä syntynyt monia uusia, merkittävässä asemassa olevia avaruusalan yrityksiä. Kansallisten työllisyysintressien jakolinjat tai perinteisen

avaruusteollisuuden lobbaustoimet eivät ole asettaneet merkittäviä esteitä uuden avaruustoiminnan kehittymiselle – uusille ratkaisuille on kysyntää, ja markkinat toimivat niiden tuottamiseksi melko tehokkaasti. Toisaalta Yhdysvallat ja Kiina ovat edelleen uuden avaruuden tosiasiallisia edelläkävijöitä, vaikka Euroopassa on kyetty hyödyntämään uuden avaruustoiminnan tarjoamia mahdollisuuksia monella tavalla.

Suomen avaruustoiminta on vuonna 2030 muuta eurooppalaista kehitystä jäljessä. Suomi on muuttanut avaruushallintoaan keskitetympään ja strategisempaan suuntaan, mutta avaruusalan rahoitus ja hankinnat ovat taantuneet. Suomessa on keskitetty avaruushallinto, jonka pääasiallinen rooli liittyy liiketoiminnan kehittämiseen ja avaruustoiminnan innovaatioihin. Business Finlandin johdolla on luotu avaruusalan toimijoille yhteiset strategiset painopisteet.

Avaruushallinnon resurssit ovat kuitenkin niukat, ja sen toiminta jää ylätasoiseksi. Resurssien niukkuus kuvastaa koko avaruussektorin toimintaa vuonna 2030: avaruustoiminnan perusrahoitus on jämähtänyt 2020-luvun alun tasolle, mikä on seurausta paitsi muiden toimialojen kuten sosiaali- ja terveystalouden vaatimasta huomiosta ja nopeasti heikenevästä huoltosuhteesta, kuten myös poliittisesta lyhytnäköisyydestä.

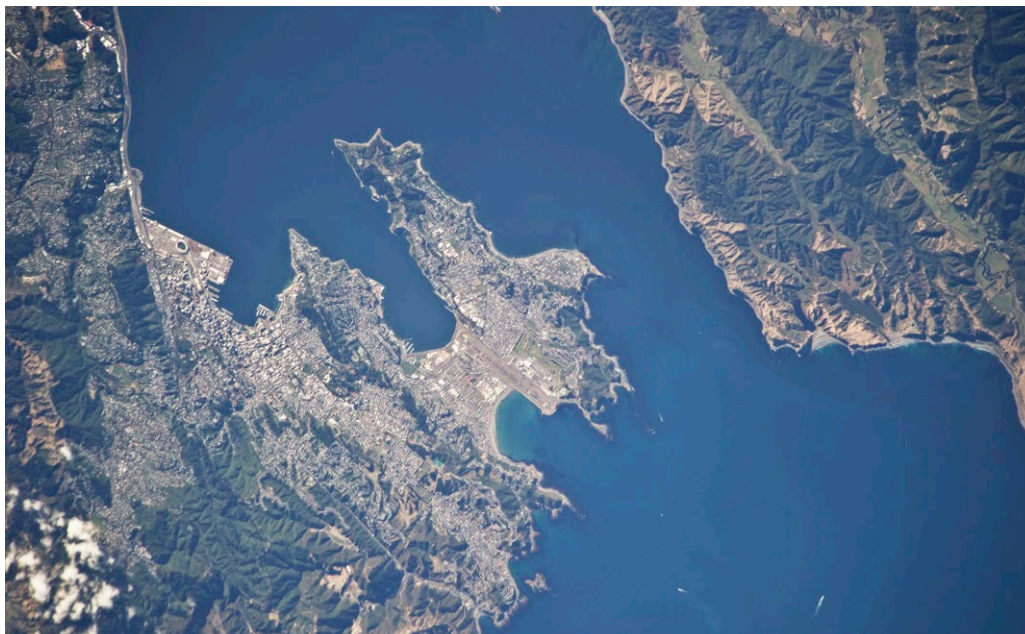
Avaruusalan heikko perusrahoitus tarkoittaa sitä, että korkeakoulut eivät kykene tuottamaan lupaavia liiketoiminnan ja huippututkimuksen alkua samalla tavalla kuin aiemmin. ESA-jäsenmaksun tasoa ei ole juurikaan korotettu, mikä pienentää suomalaisille avaruustoimijoille tarjolla olevien toimeksiantojen määrää. Tämä puolestaan heikentää alan työllisyysnäköymiä ja siten houkuttelevuutta opiskelijoiden näkökulmasta.

Tilannetta tässä kuvassa vaikeuttaa entisestään julkisen sektorin niukoista resursseista johtuva mahdollisuuden puute toimia ankkuriasiakkaana suomalaisille avaruusyrityksille. Kaikkiaan Suomi on joutunut negatiiviseen kierteseen, jossa avaruusliiketoiminnan heikot talousnäköymät vaikeuttavat uusien osaajien ja uudenlaisen osaamisen kehittymistä, mikä taas heikentää kilpailukykyä ja innovaatioita pitkällä aikavälillä. Tämä ongelma tiedostetaan hallinnossa varsin hyvin, ja sitä on yritetty ratkaista innovatiivisilla julkisilla hankinnoilla esimerkiksi avaruusdatan hyödyntämiseen liittyen. Tavoitteena on kasvattaa avaruustoiminnan budjettia tulevaisuudessa, mutta poliittista tahtoa sille on vaikeaa löytää.

Innovatiivisten julkisten hankintojen avulla on kuitenkin pystytty tukemaan joidenkin New Space -toimijoiden skaalautumista, mutta suomalaisen avaruusalan kansainvälinen kilpailukyky jää heikoksi. Samanaikaisesti avaruusdataa tuottavien ja hyödyntävien yritysten kasvavan määrän takia kyberturvallisuuden merkitys kasvaa, ja globaalilla tasolla on korostunut valvonnan ja häirinnän riski. Eurooppalaisella tasolla sekä julkiset että yksityiset toimijat ovat kuitenkin kehittäneet kyvykkyyksiä vastaamaan näihin kehityskulkuihin ja kasvaviin riskeihin.

5.4 Tulevaisuuskuva C: Varautumisen aikakausi

Kansainväliset jännitteet vaikeuttavat avaruuden liiketoimintapotentiaalin hyödyntämistä. Turvallisuuspoliittiset intressit dominoivat avaruustoiminnassa.



Kuva 18. NASA

Vuonna 2030 EU:n rooli on heikentynyt lisääntyneen populismin seurauksena, mikä on antanut tilaa suurvaltopolitiikalle ja Venäjän aseman vahvistumiselle arktisilla alueilla. Kansainväliset jännitteet vaikeuttavat avaruuden liiketoimintapotentiaalin hyödyntämistä ja ratkaisujen kaupallistamista.

Sekä Suomessa että Euroopan tasolla avaruustoimintaan liittyvä regulaatio on kiristynyt, mikä on rajoittanut yksityisten toimijoiden pääsyä avaruuteen ja hillinnyt kaupallisten innovaatioiden syntyä. Avaruussektori on kuitenkin voimakkaasti tuettua ja turvallisuusviranomaiset ympäri Eurooppaa toimivat avaruusalan ankkuriasiakkaina. Uusia innovaatioita syntyy, mutta ne vastaavat pääasiallisesti turvallisuusviranomaisten tarpeisiin. Uusien yritysten haasteena on päästä osaksi kansainvälisiä markkinoita tai avaruuden suurvaltojen jättihankkeita saadakseen liiketoimintansa kannattavaksi.

Euroopassa avaruusalan hankintaprosesseja on uudistettu osittain niin, että kyvykkyyksien ja palveluiden hankkimista korostetaan tietyn teknologian sijaan. Tämä on johtanut positiiviseen kehitykseen esimerkiksi laukaisujärjestelmien osalta. Euroopassa on vuonna 2030 useita korkeatasoisia ja julkisin varoin tuettuja laukaisujärjestelmiä, mikä on vähentänyt riippuvuutta amerikkalaisten ja aasialaisten toimijoiden laukaisupalveluista.

Euroopan kiristynyt turvallisuuspoliittinen tilanne heijastuu myös Suomeen vuonna 2030. Turvallisuusviranomaiset tukevat heille hyödyllisiä innovaatioita, mutta toiminnan kaupallistaminen on osoittautunut yrityksistä huolimatta vaikeaksi. Viranomaisten tilannekuvan parantaminen sekä avaruusromun siivoaminen ovat julkisen sektorin tärkeäksi nostamaa toimintaa, johon on löydetty julkista rahoitusta.

Suomeen on tämän toiminnan seurauksena kehittynyt erikoistunutta ja laadukasta avaruusosaamista, mutta kansainvälisten jännitteiden takia osaamisen kaupallistamisessa kompuroidaan. Suomen avaruushallinto on vuonna 2030 hajautettu, ja puolustusministeriöllä on vahva rooli painopisteiden ja resurssien käytön määrittämisessä. Koko avaruustoiminnassa korostuvat puolustusvoimien operatiiviset kyvykkyydet ja niiden ylläpito ja kehittäminen.

5.5 Tulevaisuuskuva D: Kukoistava avaruusala Suomessa

Niin Euroopassa kuin Suomessa on onnistuttu hyödyntämään New Space -murroksen mahdollisuuksia ja luotu kilpailukykyistä avaruustoimintaa Suomeen. Myös perinteinen avarusteollisuus sekä turvallisuustoimijoiden tarpeet on otettu kehityksessä huomioon.



Kuva 19. Pixabay

Vuonna 2030 EU:n yhtenäisyys on vahvistunut ja jäsenmailla on vahva yhteinen visio avaruuden hyödyntämisen mahdollisuuksista. Erityisesti lainsäädännön ja avaruusdatan hyödyntämiseen liittyvässä standardoinnissa on otettu harppauksia eteenpäin.

Keskeinen avaruustoiminnan kehittymisen edellytys on ollut innovatiivisten julkisten hankintojen käyttöönotto koko EU-alueella sekä toimivat ankkuriasiakkuudet julkisten ja yksityisten toimijoiden välillä. Tämä on tehnyt suomalaisista avaruusyrityksistä myös pääomasijoittajille kiinnostavia kohteita ja tuonut lisää rahoitusta toiminnan kasvattamiseen.

Vuonna 2030 eurooppalaiset avaruustoimijat ovat hyvissä asemissa kansainvälisessä kilpailussa yhdysvaltaisten ja kiinalaisten toimijoiden kanssa. Suomen toimijat menestyvät useilla avaruustoiminnan keskeisillä osa-alueilla kuten esimerkiksi tilannekuvan ja maa-asemien kohdalla. Sodankylän maa-asemaan kohdistuu kansainvälisiä investointeja.

Suomalaiset toimijat ovat päässeet kiinni kansainvälisiin toimitusketjuihin. Suomessa on esimerkiksi sarjatuotantokyvykkyksiä kansainvälisillä markkinoilla keskeisten järjestelmien valmistuksessa. Lisäksi Suomessa on osattu tarttua avaruustoiminnan palvelullistamisen mahdollisuuksiin erityisesti innovatiivisten hankintojen hyödyntämisen kautta.

EU:n ja ESA:n panostusten myötä Eurooppaan on syntynyt kilpailukykyisiä laukaisujärjestelmiä. Tämä tekee eurooppalaiset toimijat aiempaa itsenäisemmiksi ja on siten turvallisuuden näkökulmasta tärkeää. Suomi on mukana kehittämässä yhdessä eurooppalaisten toimijoiden kanssa laukaisujärjestelmää, joka on tarkoitus olla käyttövalmiina vuoteen 2040 mennessä.

Suomessa toimii selkeästi roolitettu ja resursoitu avaruushallinto, jonka toimintaa rahoittaa vuotuinen, pysyvä avaruusbudjetti. Avaruushallinnon työtä ohjaa yhdessä keskeisten avaruustoimijoiden kanssa määritelty avaruusstrategia, joka perustuu ennakointiin ja pitkän aikavälin muutosten ymmärtämiseen. Avaruuden hallinnoinnissa otetaan siis vuonna 2030 huomioon pitkän aikavälin kehitys ja tarpeet.

Suomessa on panostettu avaruusalan koulutukseen ja tutkimukseen laajasti, ja avaruusala on mukana useissa poikkitieteellisissä koulutusohjelmissa. Avaruusalan organisaatioissa on esimerkiksi kehitetty globaalisti kiinnostavaa asiantuntemusta olemassa olevan avaruusromun siivoamisesta ja kierrättämisestä, sekä uuden romun syntymisen välttämisestä. Kansalaistietoisuus avaruuden merkityksestä ja hyödyistä arkielämän sujuvuuteen on myös lisääntynyt. Avaruusala on nosteessa Suomessa ja koko Euroopassa.

Turvallisuuskäytännöistä Suomen ulkopuolisilla toimijoilla on edelleen suuret mahdollisuudet vaikuttaa Suomeen. Globaalin talouden maailmassa tätä on mahdotonta täysin poistaa, mutta Suomi on kuitenkin elävän avaruustoimialan ansioista kehittänyt tapoja vastata lisääntyneisiin turvallisuusriskeihin sekä kansainvälisen yhteistyön että operatiivisen toiminnan kautta. Suomi tunnetaan maailmalla korkean avaruusosaamisen maana ja luotettavana läntisen yhteisön jäsenenä.

6 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

**Tässä tutkimushankkeessa selvitettiin, millainen käynnissä oleva avaruustekninen murros on, ja miten voimme yhteiskuntana varautua sen aiheuttamiin turvallisuusvai-
kutuksiin. Lisäksi selvitettiin, miten murroksen tarjoama liiketoimintapotentiaali voitaisiin valjastaa parhaiten palvelemaan suomalaista yhteiskuntaa. Tutkimusteh-
tävän tilaaja antoi pohdittavaksi erikseen kohdennettuja tutkimuskysymyksiä, joi-
hin seuraavassa vastaamme.**

Kysymys 1: Mitkä ovat Suomen vahvuudet ja miten niitä hyödynnetään uudessa avaruus-
toimintaympäristössä?

Suomella on pitkä perinne avaruustutkimuksessa ja avaruusteknologian hyödyntämisestä alkaen 1980-luvun puolivälistä. Suomesta löytyy vahvaa osaamista avaruuselektroniikan, ohjelmistojen ja anturiteknologian alalla. Suomelle vahvoja instrumentaatioaloja ovat muun muassa SAR-tutkat, röntgeninstrumentit, hyperspektrikamera, radioteknologia sekä kaasukehämittausten anturiteknologia. Uudessa avaruustoiminnassa Suomi on ollut vahvasti mukana rakentamalla nanosatelliitteja. Mekaanisten järjestelmien osalta hiilikuiturakenteet ja niihin liittyvä suunnittelu on Suomelle vahva osaamisalue. Lisäksi Suomessa on hyödynnetty vahvasti kaukokartoitusta ja siihen liittyvää satelliittidatan vastaanottoa ja jatkoprosessointia. Avaruustutkimuksessa avaruussää sekä planeettojen ja aurinkokunnan tutkimus ovat Suomelle vahvoja tutkimusalueita.

Uuden avaruustoimintaympäristön hyödyntäminen vaatii kansallisen avaruusteknologi-
sen ja -tutkimuksellisen osaamisemme laaja-alaista vaalimista ja nostamista uudelle ta-
solle. Tämä edellyttää kansallisen perusrahoituksen nostoa sekä aktiivista kansainvälistä
yhteistyötä.

Suomalainen instrumentaatio- ja piensatelliittitekнологia ovat tällä hetkellä kansainväli-
sesti kilpailukykyisiä, mutta niiden laaja-alainen liiketoiminnallinen hyödyntäminen edel-
lyttää avaruusalalle suuntautuvia kansallisia ja EU-tason julkisia innovatiivisia hankintoja.
Tämä mahdollistaa sen, että voimme hyödyntää tarjolla olevan liiketoimintapotentiaalin,
ja toisaalta vastata uusien avaruustoimijoiden tuomiin turvallisuusriskeihin.

Sodankylän satelliittimaa-asema on suuressa roolissa, jotta kansallisesti tärkeät satelliittihavainnot ja niistä valmistetut tuotteet saataisiin ajantasaisina julkisten ja kaupallisten toimijoiden käyttöön. Sodankylän satelliittiaseman kautta saamme myös turvallisuuden kannalta olennaista tilannekuvaa maanpinnasta, ilmakehästä ja avaruudesta. Sodankylän satelliittiaseman toiminnot ovat nykytilanteessa vajavaiset ja kaipaavat kapasiteetin lisäystä. Aluevalvonnassa joudumme turvautumaan tällä hetkellä ei-kotimaisiin palveluihin.

Maata kiertävä romu ja satelliitit saattavat vaurioittaa avaruudessa toimivia satelliittijärjestelmiä, ja ne saattavat aiheuttaa turvallisuusuhan myös syöksyessään Maahan. Suomalaisen sähköpurjennovaation pohjalta kehitetty plasmajarru saattaa tarjota hyödyntämismahdollisuuksia uuden avaruusromun estämisessä.

Kysymys 2: Mille osaamisalueille tulisi kohdentaa erityistä huomiota ja resursseja?

Turvallisuuden kannalta tärkeä avaruustekninen osa-alue on kyky ottaa vastaan satelliittihavainnot ja prosessoida niitä käytettäväksi osana kaupallisia ja julkisia sovelluksia ja palveluita. Satelliittitiedon saatavuus on yksi keskeinen suomalaisen yhteiskunnan tarve. Turvallisuutta pohdittaessa olennaista on laadukas tilannekuva avaruudesta, ilmakehästä ja maanpinnasta, mikä saadaan aikaan hyödyntämällä satelliittijärjestelmiä. Laadukas satelliittitiedon vastaanotto- ja prosessointikyky tarvitaan yhteiskunnan toimintojen ylläpitämiseksi. Tässä on keskeisessä roolissa Sodankylän satelliittimaa-asematoimintojen kehittäminen, koska nykytoiminnot ovat kapasiteetiltaan vajavaiset. Kapasiteetin lisäystarve sisältää satelliittien ohjaamista, datan vastaanottoa ja prosessointipalveluja sekä maa-ase-masegmenttiä reaaliaikaisen aineiston toimittamista. Tämä on kansallisesti erittäin tärkeä toiminto, ja sen kapasiteettia olisi tarve kasvattaa uusilla satelliittiantenneilla, prosessointikapasiteetin lisäyksellä ja antennien liikuteltavuudella. Sodankylän satelliittimaa-asema olisi erinomaisen tärkeä paikka kohdentaa kansallisia resursseja.

Kykyä ymmärtää ja ennustaa avaruussäätä tarvitaan muun muassa arvioitaessa paikka- ja navigaatiotiedon sekä UHF/VHF-kommunikaation laatua, jotka ovat keskeisiä sekä siviili- että turvallisuuskäytössä. Maata kiertävä romu ja satelliitit saattavat vaurioittaa avaruudessa toimivia satelliittijärjestelmiä, ja ne saattavat aiheuttaa turvallisuusuhan myös syöksyessään Maahan. Näihin tarpeisiin tarvitaan Suomen avaruustoiminnan vahvuuksiin pohjautuva kansallinen avaruuden tilannekuvakeskus, joka operoisi kiinteässä yhteistyössä EU-toimijoiden kanssa. Kansallinen avaruuden tilannekuvakeskus sisältäisi avaruussään havainnoinnin ja ennustamisen sekä Maan lähiavaruudessa liikkuvan avaruusromun ja -esineiden seurannan. EU on parhaillaan rakentamassa eurooppalaista tilannekuva-järjestelmää, ja Suomi on tervetullut osallistumaan siihen. Suomella on vahvaa osaamista avaruussään tutkimuksessa ja 24/7-operatiivisessa palvelussa sekä lähiavaruuden kappaleiden seurannassa. Näitä vahvuuksia kannattaa hyödyntää nyt, kun EU on pystyttämässä

eurooppalaista tilannekuvajärjestelmää. Avaruuden tilannetietoisuuteen ja siihen liittyvään osaamiseen kannattaa kohdentaa kansallisia resursseja.

Suomella on lukuisia avaruusteknologisia vahvuuksia, joihin panostamalla on mahdollista saada panokseen nähden moninkertaisia suotuisia liiketoiminnallisia vaikutuksia Suomelle. Erityisesti mainitsemisen arvoisia ovat piensatelliittiteknologia, hyperspektrikamera, avaruussäainstrumentit ja plasmajarruinnovaatio.

Avaruustoiminnan murroksen hyödyntäminen edellyttää kansallista kykyä osallistua satelliittikonstellaatioiden rakentamiseen ja ylläpitoon. Tähän tarvitaan kykyä tuottaa tarvittavia teknologioita ja tuotteita sarjatuotantona. Murroksen liiketoiminnallinen hyödyntäminen vaatii kykyä skaalata kehitettyjä tuotteita sekä valmiutta toteuttaa kansainvälistä markkinointia. Nämä kyvykkyudet puuttuvat Suomesta, ja niihin kannattaa panostaa kansallisesti.

Satelliittijärjestelmän tasolla suurin yksittäinen puute on asennonsäätöjärjestelmien valmistus. Niitä voidaan hankkia kansainvälisiltä markkinoilta, mutta kyky toteuttaa nuo järjestelmät myös kansallisesti olisi toivottavaa.

Eurooppalaiseen yhteistyöhön perustuva itsenäinen laukaisupalvelu olisi kustannustehokas tapa varmistaa valmius lähettää omia satelliitteja lyhyellä varoitusajalla. Tämä tarve realisoituu todennäköisesti lähivuosina, ja siinä Suomen kannattaa olla aktiivinen toimija.

Kysymys 3: Miten voidaan maksimoida suomalaisen avaruusosaamisen vaikuttavuus, sekä muut tekijät jotka vaikuttavat kilpailukykyyn globaaleilla markkinoilla?

Suomalaisen avaruusosaamisen vaikuttavuuden ja siitä saatavan hyödyn maksimoinnissa tärkeä kulmakivi on sellaisten hankkeiden ja innovaatioiden tukeminen, joilla on huomattavaa globaalia kasvupotentiaalia. Tämä saavutetaan määrittelemällä ankkuriasiakkuuksia joilla on merkittävä rooli sekä julkisten että yksityisten toimijoiden innovaatioiden kehittämisessä, niiden tuotteistamisessa ja käyttöönotossa.

Ankkuriasiakkuuksien sekä liiketoimintapotentiaalia osoittavien pilottihankkeiden onnistunut toteuttaminen vaatii nykyistä selkeämpää kansallista koordinointia sekä julkisen rahoituksen ohjaamista myös korkean riskin hankkeille. Tässä julkinen rahoitus sisältää sekä kansallisen että EU-tason suunnattujen avaruusalan hankkeiden rahoituksen. EU-tasolla Suomen tulisi olla aktiivinen toimija, joka pitää esillä avaruusala ja sille suunnattujen hankintojen tärkeyttä koko EU:n kannalta.

Julkisen rahoituksen pitää pystyä tukemaan näitä uusia korkean riskin hankkeita siinä määrin, että niiden toteutuminen ei epäonnistuisi riittämättömän rahoituksen takia. Korkean

riskin hankkeet voivat toteutuessaan luoda Suomeen ja Eurooppaan yleisesti uutta globaalisti merkittävää osaamista sekä liiketoimintaa, ja täten tuoda takaisin niihin laitettun taloudellisen panostuksen moninkertaisesti.

Suomen avaruussektorin pitää pyrkiä mukaan kansainvälisiin arvoketjuihin hyvin korkealle tasolle. Pienen valtion ainoa keino päästä vaikuttamaan suuriin avaruushankkeisiin ja niiden kehittämiseen on ottaa kokoaan suurempaa roolia hankkeiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Tämän myötä parannamme merkittävästi omia mahdollisuuksiamme viedä osaamistamme ja innovaatioitamme kansainvälisille markkinoille. Vastavuoroisesti kansainväliset hankkeet ja vahva osallistuminen niihin luovat mahdollisuuksia kansalliselle ja teknologiselle tutkimus- ja kehitystyölle. Tämä taas vahvistaa kansallista osaamista sekä parantaa pitkällä aikajänteellä kotimaisten toimijoiden kilpailukykyä globaaleilla markkinoilla.

Tärkeässä roolissa vaikuttavuuden maksimoinnissa on koulutus. Avaruustutkimuksen ja -teknologian koulutuksen pitää vastata osaamisen kasvavaan kysyntään. Yksi vaaravyöhykkeellä oleva ala on tällä hetkellä kelloseppäkoulutus, joka olisi tärkeää säilyttää myös avaruusalan kannalta, koska se ainoana koulutuksena Suomessa antaa valmiuksia avaruusteknologian edellyttämään hienomekaniikkaan. Riittävän korkeatasoinen koulutus usealla avaruusosaamisen ja yleisesti tieteellis-teknisellä alalla takaa kotoperäisen osaamisen riittävyyden. Potentiaalinen osaaajapula voi johtaa kotimaisten kaupallisten toimijoiden siirtymiseen ulkomaille yrityskauppojen myötä tai liiketalouden kasvun tyrehtymiseen ja saavutetun teknologisen edun menettämiseen.

Suomen rajalliset resurssit pakottavat meidät keskittämään voimavaramme meille tärkeisiin innovaatioihin ja hankkeisiin sekä tukemaan kansallisesti tärkeitä kaupallisia toimijoita. Toisaalta olemalla aktiivinen EU-tasolla voimme saada aikaan suuren vipuvaikutuksen myös kotimaisten toimijoiden tueksi. Kansallisen lainsäädännön pitää lisäksi vastata globaaleihin haasteisiin poistamalla tarpeettomia esteitä suomalaiselta avaruussektorilta ja mahdollistaa tasapuolinen kilpailuasetelma kansainvälisten toimijoiden kesken.

Suuriin kansainvälisiin kilpailijoiden verrattuna suomalaisilla toimijoilla on etuna yhteistyön perinne julkisten ja kaupallisten toimijoiden kesken, johon suomalaiset avaruustoimijat ovat harjaantuneet avaruusteknisissä yhteistyöhankkeissa viimeisten kolmen vuosikymmenen aikana. Suomalaiset avaruusalan toimijat myös tuntevat toisensa ja ovat oppineet luottamaan toisiinsa. Tämä on selkeä hyödynnettävissä oleva kilpailuetu globaaleilla markkinoilla.

Kysymys 4: Mitkä ovat avaruuden hyödyntämisen uusien teknologiamahdollisuuksien turvallisuusvaikutukset ja turvallisuuspoliittiset vaikutukset?

Avaruustoiminnan murroksen tarjoama uusi kustannustehokas avaruusteknologia mahdollistaa aiempaa laajemmalle toimijakunnalle kyvyn toimittaa satelliitteja ja niihin pohjautuvia satelliittijärjestelmiä Maan kiertoradalle. Suomen yllä lentää sekä kaupallisten palvelutarjoajien havainnointijärjestelmiä, että valtiollisten toimijoiden omia havainnointijärjestelmiä. Meillä ei ole tällä hetkellä riittävää tietoa näiden järjestelmien toimintakyvystä eikä riittävän tarkkaa tietoa siitä, mitä järjestelmiä Suomen yllä toimii. Kasvavan toimijamäärän vaikutuksesta on yhä hankalampaa tunnistaa, kuka yhteiskuntaamme tarkkailee tai häiritsee avaruudesta käsin ja miten. Valtiona emme voi kontrolloida, ketkä tahot saavat tiedustelutietoa alueestamme, ja millaista tietoa meille potentiaalisesti haitalliset toimijat saavat. Oletuksena on, että meistä on hyvin kattavaa tilannekuvaa tarjolla useille eri toimijoille, ja emme voi vaikuttaa tämän tiedon saatavuuteen.

Valvonnan ja tarkkailun lisäksi nykytilanne mahdollistaa aiempaa laajemman avaruusjärjestelmiin perustuvien palvelujen häirinnän. Tämä kattaa sekä suoraan avaruudesta Maaan tehtävän satelliittihäirinnän että maanpäällisen häirinnän, jolla vaikeutetaan tai jopa estetään satelliittipalveluiden hyödyntämistä. Varsinkin paikannusjärjestelmät ovat alttiita häirinnälle sekä hakkeroinnille, ja niiden aiheuttamat ongelmat tuntuvat koko yhteiskunnassa. Monet kansallisen turvallisuuden kannalta tärkeät toiminnot nojautuvat osin tai kokonaan satelliittijärjestelmiin perustuviin palveluihin, muun muassa luotettavaan paikkatietoon sekä tarkkaan ympäristön tilannekuvaan, ja siksi näiden palvelujen häiriintyminen aiheuttaa suoran turvallisuusriskin.

Avaruuden aseistaminen on uuden teknologian myötävaikutuksesta nousussa. On selviä viitteitä siitä, että sekä perinteiset suurvallat että uudet suurvalloiksi pyrkivät valtiot panostavat resursseja sotilaallisiin sovelluksiin ja -palveluihin avaruudessa. Uudet teknologiat ja satelliittikonstellaatiot mahdollistavat tämän toiminnan aiempaa kustannustehokkaammin.

Kasvava satelliittien määrä lisää riskiä törmäyksiin kiertoradalla. Törmäykset voivat luoda tilanteen, jossa meille tärkeät toiminnot häiriintyvät ja kansallinen turvallisuus vaarantuu. Kiertoradalla oleva romu ja törmäykset voivat aiheuttaa avaruuslaitteiden ennakoimattoman paluun Maan ilmakehään. Suuret putoavat kappaleet saattavat päätyä Maan pinnalle asti ja aiheuttaa siten myös inhimillisen turvallisuusriskin.

Kysymys 5: Miten jatkuvan "aluevalvonnan" alaisina hyödynnämme maksimaalisesti saamaamme tietoa ja toisaalta minimoimme sellaisen tiedon saatavuutta, jota emme halua antaa?

Valtiona Suomi ei voi estää avaruudesta käsin tehtävää aluevalvontaa ja signaalitiedustelua tai muuta alueemme tarkkailua. Tästä johtuen on tärkeää tietää riittävällä tarkkuudella, kuka meitä valvoo, milloin valvonta tapahtuu ja mitä valvonnassa havaitaan, ja mitkä

järjestelmät tämän toteuttavat. Kun tiedämme yllämme olevien järjestelmien kyvykkyydet ja niiden aikataulun, pystymme tarvittaessa suojaamaan omia toimintojamme. Tällaisen avaruuden tilannetietoisuuden luominen ja ylläpitäminen antaa meille mahdollisuuden lieventää ja mahdollisesti jopa ennakoivasti estää haittojen syntymistä.

Suomen tulee tehdä sopimuksia EU:n ja muiden yhteistyökumppaneiden kanssa siitä, miten käsittelemme ja kenelle luovutamme Suomea ja lähialueitamme koskevia havainto- ja tarkkailutietoja. Sopimusten on syytä määritellä myös tilanteet, joissa avoimen tiedon määrää rajoitetaan.

Avaruuden tilannetietoisuuden maksimoimiseksi Suomen pitää tukeutua luotettaviin turvallisuuskumppaneihin ja heiltä saatuun tietoon. Pienenä valtiona joudumme panostamaan aktiivisesti kumppanuusverkostojen toimintaan ja olemaan aloitteellisia edistääksemme omaa kansallista turvallisuutta. Tämä aktiivinen toiminta vaatii nykyistä laajempia resursseja sekä niiden optimoitua käyttöä.

Suomi hankkii aluevalvontaan käytettävää tietoa operatiivista satelliittijärjestelmistä kumppanuuksien kautta (mm. EUMETSAT, ESA, NOAA, kahdenväliset kumppanuudet), ja prosessoi havainnoista tarvittavia palveluita. Satelliittihavaintojen analytiikka ja niiden fuusiointi muihin havaintoihin edellyttää jatkuvaa kehittämistä ja osallistumista alan kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön. Tällä tavoin satelliittihavainnoista pystytään luomaan ajantasaisia ja kilpailukykyisiä tuotteita ja palveluita.

Suomelle olisi tärkeää rakentaa oma kansallinen avaruuden tilannekuvajärjestelmä (avaruussää, lähiavaruuden kappaleet) yhteistyössä EU:n kanssa pohjautuen kansallisiin vahvuksiimme. Suomella on erittäin vahvaa osaamista avaruussään alalla sekä tutkimuksessa että operatiivisissa 24/7 -palveluissa, ja myös lähiavaruuden kappaleiden seurannassa. EU on parhaillaan käynnistämässä Euroopan laajuista tilannekuvajärjestelmää, ja siihen Suomi on tervetullut liittymään mukaan.

Kysymys 6: Miten kansallista ja kansainvälistä yhteistoimintaa sekä viranomaisten ja yksityisten toimijoiden yhteistyötä kannattaa kehittää avaruusalaalla kansallisen turvallisuuden varmistamisen ja erilaisiin poikkeustilanteisiin varautumisen näkökulmasta?

Turvallisuuden näkökulmasta avaruusteknologian murros on Suomen kaltaisille pienille valtioille haaste. Turvallisuustutkijat ovat kuvanneet käynnissä olevaa avaruustoiminnan murrosta siirtymänä territoriaalisesta funktionaaliseen kamppailuun. Alueellisen hallinnan sijasta tarkastellaan toimintojen kuten paikannuspalvelun, merireittien tai tietoliikenneyhteyksien toimivuutta ja käyttövarmuutta. Koska yhteiskunnan toiminnot perustuvat kasvavassa määrin avaruuspalveluihin, tulee niistä kiinnostavia funktionaalisen vaikuttamisen kohteita. Paikannuspalveluiden häirinnästä on jo useita esimerkkitapauksia. Esimerkiksi

lentoliikennettä voidaan häiritä vaikuttamalla satelliittipaikannuksen tai tietoliikennepalveluiden toimintaan.

Suomen kaltaisen pienen maan intressien kannalta tiiviit kansainväliset kumppanuudet sekä turvallisuusverkostot ovat tärkeitä. Tämä helpottaa riskien tunnistamista ja erityisesti niiden hallintaa. Tästä johtuen kumppanuudet muiden luotettavien valtiollisten ja myös kaupallisten toimijoiden kanssa ovat Suomelle välttämättömiä. Näiden verkostojen hyödyntäminen edellyttää myös vahvaa kotimaisten toimijoiden tukemista, jotta niiden tuottama mahdollinen lisäarvo saadaan hyödynnettyä kansallisen turvallisuuden takaamiseksi. Tässä julkisten ja kaupallisten toimijoiden yhteistyöllä on paljon synergiaa osaamisen ja kapasiteetin kannalta. Suomessa tällainen yhteistyö on tavallista, ja se on meille myös selkeä kilpailuetu.

Suomelle on edullista olla mukana sellaisissa kansainvälisissä kumppanuuksissa, joissa kehitetään Suomen kannalta tärkeitä ja uusia avaruuskäyttöä. Riittävän huoltovarmuuden takaamiseksi Suomen pitää pyrkiä mahdollisimman merkittäviin aseisiin kansainvälisissä avaruusteknologian ja -palvelujen arvoketjuissa. Merkittävät asemat näissä arvoketjuissa luovat Suomen kannalta positiivisia riippuvuusketjuja, joilla suomalaiset toimijat integroidaan osaksi kansainvälistä avaruustoimintaa, ja joka osaltaan vahvistaa valtiollista turvallisuutta sekä normaali- että poikkeustilanteissa.

Suomen tulee varautua ennakoivasti mahdollisiin avaruusperäisiin poikkeustilanteisiin. Meillä pitää olla varasuunnitelmat tilanteisiin, jossa muun muassa paikannus, tietoliikenne tai aikasykronoidut palvelut häiriintyvät kyberhyökkäyksen tai muun tahallisen häirinnän vuoksi. Erityspiirteensä pohjoinen sijaintimme altistaa meidät avaruussään aiheuttamille luonnollisille häiriöille. Nämä häiriöt on kyettävä erottamaan luotettavasti tahallisesta häirinnästä. Erityistä huomiota pitää kohdentaa sellaisiin kriittisiin valtion toimintoihin ja järjestelmiin, joihin avaruusperäiset häiriöt voivat vaikuttaa.

Kysymys 7: Miten kansallinen lainsäädäntö mahdollistaa tai rajoittaa uusien teknologioiden hyödyntämistä muihin maihin verrattuna? Mitkä ovat kansainvälisen sääntelyn vaikutukset Suomeen?

Suomen kansallisen avaruuslain perusteena ovat tarpeet tukea suomalaista avaruustoimintaa ja sen kehittämistä, sekä vähentää tarpeettomia esteitä kansallisella tasolla. Laki ja säädökset ovat luotu kansallisesta näkökulmasta ottaen kuitenkin huomioon kansainväliset sopimukset ja yleinen lainsäädäntö sekä EU:n avaruusasetus.

Kansallinen lainsäädäntö vaikuttaa vain Suomessa toimiviin tahoihin ja toimijoihin. Yritykset, jotka eivät aktiivisesti toimi Suomessa jäävät lainsäädäntömme ulkopuolelle. Näin huolimatta siitä, että mikä tahansa toimija voi tehdä aluetarkkailua ja tiedustelua

avaruudesta käsin toimivilla satelliiteilla ja instrumenteilla. Lainsäädäntömme ei koske Suomen yli lentäviä satelliittia ja niitä operoivia tahoja.

Suomen avaruuslaki ei kata laukaisutoimintaa. Jos Suomessa haluttaisiin tulevaisuudessa kehittää omaa kansallista laukaisukykyä, tämä puute olisi merkittävä haitta ja kansallisen laukaisutoiminnan kehityksen mahdollinen hidastaja. Nykyisen lainsäädännön puitteissa Suomi on pakotettu tukeutumaan luotettaviin kansainvälisiin kumppanuuksiin.

Radiotaajuuksien käytön lisääntyessä sopivilla taajuusalueilla olevien vapaiden taajuuksien saatavuus heikkenee, mikä rajoittaa sekä tutkimus- että kaupallisia aktiviteetteja. Tämän vuoksi olisi tärkeää sopia yhteiset taajuusalueet mm. kommunikaatioon ja rauhoittaa tutkimuksen kannalta tärkeät taajuusalueet. Tämä edellyttäisi parannuksia näiden taajuusalueiden kansainvälisessä hallinnoinnissa sekä standardoinnissa.

Avaruudesta tehtäviä havaintoja käytetään jossain muodossa useilla inhimillisen toiminnan aloilla, mutta käyttöä ja liiketoiminnan kasvua rajoittaa joissain tapauksissa sekä kotimainen että Euroopan laajuinen lainsäädäntö. Esimerkiksi ympäristölainsäädännössä ympäristötiedon määritelmä estää satelliittitietojen käytön, koska lainsäädäntö on niin vanha, että sitä säädettäessä ei satelliittien käyttömahdollisuuksia vielä ymmärretty.⁹⁸ Kaikkien alojen lainsäädännön päivittäminen avaruusnäkökulmasta tällaisten teknisten rajoitteiden poistamiseksi olisi siis tärkeää. Lainsäädännön näkökulmasta yksi keskeisimmistä haasteista on, että satelliittien kautta kerättyjä tietoja ei voida tällä hetkellä lainkaan hyödyntää ympäristönseurannassa viranomaistason, sillä yhteisiä standardeja kaukokartoitusdatan käytölle ei ole luotu. Standardien luominen tulee tapahtua EU:n tasolla, mutta Suomi voi edistää tämän tapahtumista pitämällä standardoinnin tärkeyttä esillä.⁹⁹

Kansainväliset avaruussäännökset aiheuttavat monissa tilanteissa lisäesteitä kansallisille toimijoille. ITAR-säännökset rajoittavat merkittävästi keskeisten avaruuskomponenttien käyttöä joidenkin yhteistyökumppaneiden kanssa. ITU:n säännökset vastaavasti aiheuttavat merkittävää hitautta ottaa käyttöön uusia avaruusjärjestelmiä, ja lisäksi ne rajoittavat joidenkin avaruusperäisten palveluiden käyttöönottoa. Nämä kaikki ovat kansallisen edun kannalta ongelmallisia tilanteita.

Suomelle on edullista pyrkiä vaikuttamaan verkostojensa kautta kansainvälisiin avaruus-oikeudellisiin säännöstöihin. Erityisen tärkeää on vaikuttaa monivaltioillisten avaruushankkeiden säännöstöjen kehittämiseen sekä toimintatapojen määrittelyyn. Pienelle valtiolle on kansallinen etu, kun kansainväliset toimijat noudattavat yhdessä sovittuja pelisääntöjä.

7 Toimenpidesuosituksset

Tässä kappaleessa kuvataan 10 keskeistä toimenpidesuosituksia, joita tutkimuksemme mukaan Suomen tulee toteuttaa, jotta voimme päästä luvussa 5.5 esitettyyn toivottavaan tulevaisuuskuvaan. Toimenpidesuosituksset ovat lähtökohtaisesti linjassa Suomen avaruusstrategian toimenpideohjelma kanssa.

Turvallisuus

Turvallisuuden näkökulmasta keskeiset toimenpidesuosituksset liittyvät avaruustoiminnan jatkuvuuden turvaamiseen, viranomaisten tilannekuvan parantamiseen, arktisen alueen rauhanomaisen hyödyntämisen turvaamiseen sekä toimivien kumppanuuksien rakentamiseen.

1. Suomen tulee panostaa omiin kyvykkyyksiinsä siten, että viranomaisilla on jatkuvasti selkeä tilannekuva maasta, ilmakehästä ja avaruudesta.

- a) Suomella on kapasiteetiltaan rajoitettu kansallinen satelliittimaa-asema (Sodankylän Avaruuskeskus). Suomi tarvitsee vikasietoisen, resilientin kyvyn komentaa satelliitteja, vastaanottaa satelliittidataa sekä prosessoida datasta tosiaikaisia tuotteita yhteiskunnan käyttöön. Suosittelemme Sodankylän keskuksen kapasiteetin merkittävää laajentamista antennien lukumäärää kasvattamalla, vastaanotto- ja komentotaajuusalueiden lisäämistä sekä operaattoritoimintaa. Tämä onnistuu parhaiten julkisten ja yksityisten toimijoiden yhteistyöllä.
- b) Suomen tulee perustaa oma kansallisiin kyvykkyyksiin pohjautuva avaruuden tilannekuvakeskus yhteistyössä EU-toimijoiden kanssa, jotta suomalaisten viranomaisten käyttöön saadaan riittävä avaruuden tilannetietoisuus, joka sisältää myös tiedon Suomen aluetta tarkkailemaan kykenevistä avaruusjärjestelmistä. Avaruuden tilannekuvaan liittyen Suomen kannattaa panostaa myös ESA:n S2P-ohjelmaan sekä EU:n EDIDP-ohjelmiin.
- c) Hyödynnetään Suomen ESA:n Space19+-ohjelmaan tehtyä panostusta, jonka avulla kehitetään suomalaisten toimijoiden kykyä tarjota kyberturvapalveluita avaruusjärjestelmiin liittyen sekä ymmärrystä avaruusjärjestelmien kyberhaavoittuvuuksista.

2. Suomen on tuettava kotimaisten avaruusalan toimijoiden teollista kilpailukykyä sekä verkostoitumista ja markkinointia, jotta ne pystyvät osallistumaan Suomen ulkopuolella kehitettävien avaruusjärjestelmien toimitusketjuihin.

- a) Liiketoiminnan kasvun ja jatkuvuudenhallinnan näkökulmasta on tärkeää, että Suomi on mukana eurooppalaisissa ja transatlanttisissa avaruustoiminnan arvoketjuissa.
- b) Eurooppalaisten markkinoiden kehittyminen kokonaisuutena on tärkeää, sillä vaarana on Euroopan jääminen jälkeen Yhdysvaltojen, Venäjän ja Kiinan panostaessa omien kyvykkyyksiensä kehittämiseen.

3. Suomen tulee rakentaa toimivia maailmanluokan kumppanuuksia avaruustoiminnassa.

- a) Maailmanluokan kumppanuudet ovat keskeisiä Suomelle sekä turvallisuuden että liiketoiminnan näkökulmasta. Historiallisesti onnistunutta yhteistyötä Euroopan ja Yhdysvaltojen kanssa olisi syytä syventää. Lisäksi Suomen NATO-kumppanuus ja harjoitustoiminta sen puitteissa tehostaa Suomen avaruusverkostoja.
- b) Suomen tulee jatkossakin sitouttaa läntistä arvoyhteisöä arktisen alueen rauhanomaiseen ja kestävään hyödyntämiseen. Arktinen alue on Suomen avaruustoiminnan kannalta keskeisessä roolissa, ja Suomen ulkopoliittikan tulee heijastella tätä. Arktinen alue on enenevässä määrin suurvaltakilpailun aluetta, ja tämä näkyy myös avaruustoimintakentällä. Toisaalta alueen teollinen ja logistinen kehittyminen lisää painetta tuottaa kestäviä ja häiriöttömiä logistisia ratkaisuja, ja näiden toteutumiseksi tarvitaan Suomen kumppanimaiden sitoutumista

Liiketoimintaympäristö ja kilpailukyky

Liiketoimintaympäristön näkökulmasta tavoitteena on luoda itsenäisesti elinkelpoista kaupallista avaruusalan toimintaa. Tämä luo työpaikkoja ja vaurautta Suomeen, varmistaa Suomen pääsyn uusien avaruuspohjaisten palveluiden käyttöön ja osallisuuden niiden kehitykseen, sekä mahdollistaa nykyistä paremman tiedon meihin kohdistuvasta avaruusjärjestelmiä käyttävästä tarkkailusta. Liiketoimintaympäristön osalta on pidettävä mielessä, että Suomi toimii osana laajempaa eurooppalaista toimintaympäristöä. Pelkästään Suomessa tehtävillä toimenpiteillä saadaan aikaan vain rajallisia vaikutuksia ja hyötyjä. Laajempien vaikutusten aikaansaamiseksi Suomen on pyrittävä vaikuttamaan kehitykseen myös Euroopan tason instituutioissa. Koulutuksen näkökulmasta tavoitteena on lisätä panostusta avaruusalan monialaiseen osaamiseen.

4. Suomi pyrkii vaikuttamaan EU:n avaruusasetuksen voimaan tuloon ja tavoitteelliseen täytäntöönpanoon.

- a) EU-tason innovatiiviset julkiset hankinnat on määritelty EU:n uudessa avaruusasetuksessa. Innovatiivisia julkisia hankintoja käyttämällä synnytyt ankkuriasiakkuudet niin kansallisella kuin EU-tasollakin mahdollistavat tilauksia ja ennustettavaa

kassavirtaa kaupallisille palveluntuottajille. Yhdysvaltojen esimerkistä näemme, että tilaukset ja ennustettava kassavirta tekee näistä toimijoista myös pääomasijoittajille kiinnostavia kohteita ja siten mahdollistaa itsenäisesti elinkelpoisen ja kasvukykyisen yritystoiminnan kehittymistä.

5. Suomessa julkiset toimijat suorittavat innovatiivisia julkisia hankintoja synnyttääkseen EU-tasolla kilpailukykyisiä kaupallisia palveluita.

- a) Kotimaiset innovatiiviset hankinnat ovat väistämättä pienempiä, kuin EU-tason hankinnat. Kotimaisilla hankinnoilla pystytään kuitenkin tuottamaan referenssejä sekä todennäköisesti myös EU-tasolla kilpailukykyisempiä tuotteita ja palveluita.

6. Suomessa kehitetään konstellatioiden operointiosaamista.

- a) Kehitetään suomalaisen osaamisen pohjalta omia satelliittikonstellatioiden operointimenetelmiä, joissa hyödynnetään myös konstellatioiden sisäistä kommunikaatiota, jolloin voidaan minimoida maa-asemien määrä.
- b) Kehitetään Sodankylän maa-asematoimintaa kaupallisesti helpommin hyödynnettävään suuntaan esimerkiksi lisäämällä tuettuja taajuusalueita sekä toimimalla yhteistyössä kaupallisen toimijan kanssa palvelun tuottamiseksi.

7. Suomi lisää panostusta avaruusalan monialaisten osaajien lisäämiseksi.

- a) Lisätään avaruusalaan sivuavia opintoja myös AMK-tasolle sekä erityisesti kaupalliseen koulutukseen.
- b) Säilytetään Suomessa hienomekaniikkakoulutus (kelloseppäkoulu) sekä lisätään siihen avaruusteknologiaan liittyviä elementtejä.

Hallinto ja sääntely

Hallinnon ja sääntelyn näkökulmasta keskeisimmät toimenpiteet liittyvät yhteisen tiekartan luomiseen Suomen avaruustoiminnan tulevaisuudelle, Suomen avaruusdiplomatian keskeisimpien intressien määrittämiseen, poikkisektoraalinen asiantuntijaryhmän perustamiseen ANK:n alaisuuteen, avaruusbudjetin määrittämiseen sekä menetelmästandardoinnin edistämiseen EU-tasolla.

8. Valtioneuvoston kanslia käynnistää ANK:n koordinoiman yhteiskehittämisprosessin Suomen avaruustoiminnan tiekartan luomiseksi¹⁰⁰.

- a) Tiekartassa määritellään kansallisen avaruustoiminnan pitkän aikavälin tahtotila sekä Suomen avaruustoiminnan 3–5 kansainvälistä keihäänkärkeä, joita Suomi lähtee edistämään kansainvälisesti. Kansainväliset keihäänkärjet voivat esimerkiksi olla arktiset alueet, satelliittidatan prosessointimenetelmien standardointi ja avaruuden kestävä käyttö.

- b) VNK:n ja ANK määrittävät yhteisessä prosessissa, mitkä ovat Suomen avaruusdiplomatian keskeisimmät intressit, joita lähdetään edistämään kansainvälisesti.

9. Suomi määrittää avaruustoiminnalle oman, pysyvän avaruusbudjetin

- a) Avaruustoiminnan vakauttamisessa keskeinen tekijä on pitkäjänteinen kansallinen rahoitus. Tämä on avaruusalan toimijoiden selvä yhteinen näkemys. Budjetilla rahoitetaan ESA- ja EU-hankkeisiin osallistumista, avaruusliiketoimintaa, innovatiivisia julkisia hankintoja, kansallisia tutkimus- ja kehityshankkeita, sekä ANK:n hallinnollisia tehtäviä.
- b) Suomen tulee kasvattaa avaruusbudjettiaan siten, että panostus ESA:n ohjelmistoihin on vähintään ESA:n perustamissopimuksen edellyttämä kansantuotteen mukainen taso ESA:n vuosibudjetista. Tämä tarkoittaa kansallisen rahoituksen korotusta sekä kasvua Suomen maksuosuuksiin. Lisäksi Suomi ylläpitää riittävää kansallista ESA-toiminnan ulkopuolista avaruusbudjettia, jonka avulla pystytään varmistamaan tehokas kansallinen tutkimus- ja kehitystoiminta sekä voidaan ohjata joustavasti Suomen avaruusstrategian toteutusta.

10. Suomi panostaa avaruudesta tehtävien havaintojen hyödyntämisen standardointiin olemalla aloitteellinen toimija EU:n standardoimisyhteistyössä

- a) Lainsäädännön näkökulmasta yksi keskeinen haaste on, että satelliittien kautta kerätyt tiedot ei voida aina hyödyntää viranomaistasolla, sillä käytölle ei ole luotu yhteisiä standardeja. Esimerkiksi ympäristölainsäädännössä ympäristötiedon määritelmä estää satelliittitietojen käytön, koska lainsäädäntö on niin vanha, että sitä säädettäessä ei satelliittien käyttömahdollisuuksia vielä ymmärretty. Standardin luominen tulee tapahtua EU:n tasolla, jossa Suomi voi olla aloitteellinen avaruustoiminnan tuottaman datan hyödyntämisen edistämässä ja standardoimisessa. Ympäristötiedon määritelmä estää satelliittitietojen käytön, koska lainsäädäntö on niin vanha, että sitä säädettäessä ei satelliittien käyttömahdollisuuksia vielä ymmärretty. Standardin luominen tulee tapahtua EU:n tasolla, mutta Suomi voi olla aloitteellinen avaruustoiminnan tuottaman datan hyödyntämisen edistämässä ja standardoimisessa.

8 Yhteenveto

Avaruustoiminta on suuressa murroksessa. Avaruusteknologian kehittyminen, miniatyrisointi ja erityisesti laukaisupalvelujen halventuminen ovat kuluvan vuosikymmenen aikana laskeneet avaruustoiminnan kustannuksia radikaalisti. Käytännössä kaikki valtiolliset toimijat ja jopa pienehköt yritykset ja muut yksityiset organisaatiot pystyvät toteuttamaan omia satelliittihankkeita, koska kyvykkyudet voidaan hankkia kaupallisesti. Avaruudessa toimivien järjestelmien tuottaman datan määrä, monipuolisuus sekä sen maantieteellinen kattavuus ovat laajentuneet viime vuosina ja tuo trendi on edelleen vahvistumassa. Tämä mahdollistaa täysin uusia sovelluksia ja palveluita, jotka perustuvat avaruudesta ja Maan pinnalta tehtyjen havaintojen tehokkaaseen yhdistämiseen. Nämä muutokset kuuluvat New Space -ilmiöön, johon liittyvää kaupallista toimintaa kutsutaan nimellä New Space Economy – Uusi avaruusliiketoiminta.

Tämän AVAUS -tutkimushankkeen keskeiset tutkittavat aiheet olivat a) Suomen vahvuudet ja niiden hyödyntäminen uudessa avaruustoimintaympäristössä, b) miten käynnissä oleva avaruustekninen murros vaikuttaa yhteiskuntamme turvallisuuteen ja c) miten murroksen tarjoama liiketoimintapotentiaali voitaisiin valjastaa parhaiten palvelemaan suomalaista yhteiskuntaa. Tutkimusaiheita lähestyttiin kattavilla taustaselvityksillä kohdistuen aiheisiin turvallisuus, yhteiskunta, avaruusteknologiat ja liiketoiminta.

Avaruustoiminnalla on suuri strateginen merkitys yhteiskunnan toimivuudelle, kansalliselle turvallisuudelle ja eri hallinnonalojen päätöksenteolle. Yhteiskunnan toiminnot hyödyntävät satelliittien tuottamaa ja välittämää dataa. Esimerkiksi liikenteen palvelut, uudet 5G-tietoliikennetkaisu, sään ennustaminen sekä maa- ja metsätalouden palvelut hyödyntävät satelliittien tarjoamia ratkaisuja. Avaruus on keskeisessä roolissa myös sotilaallisissa toiminnoissa, koska oikeastaan kaikkia avaruusjärjestelmiä ja teknologioita hyödynnetään myös sotilaallisesti. New Space tuo perinteisiin avaruutta hyödyntäviin järjestelmiin ja toimintoihin uusia elementtejä, jotka vaikuttavat kansallisiin turvallisuusratkaisuihin sekä tarjoavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Avaruustoiminnan murrosta tarkasteltaessa on tärkeätä huomata että uuden avaruusteknologian ja sen tuomien sovellusmahdollisuuksien esiinmarssi ei ole korvaamassa

perinteisellä avaruusteknologialla toteutettuja järjestelmiä. Uudet teknologiat monipuolistavat ja lisäävät avaruuden hyödyntämismahdollisuuksia sekä täydentävät perinteisiä avaruusjärjestelmiä, jotka edelleen säilyttävät oman tärkeä roolinsa.

Suomella on korkea tieteellisteknisen osaamisen taso, mikä edesauttaa avaruustoiminnan murroksen hyödyntämistä. Suomalaiset toimijat ovat jo kolmen vuosikymmenen ajan osallistuneet vaativiin kansainvälisiin avaruusteknologisiin hankkeisiin ja ovat osoittaneet kykyä suunnitella, rakentaa, ja operoida nano- ja mikrosatelliitteja sekä pieniä satelliittikonstellatioita.

Uuden avaruusliiketoiminnan potentiaali on suuri. Yksityiset yritykset kuten Planet, SpaceX ja OneWeb rakentavat parhaillaan jopa tuhansien pienten kuvaus- ja tietoliikennesatelliittien parvia. Digitalisaation ja alustatalouden rakenteet sekä ilmastonmuutoksen seurantaan keskittyneet toimijat tarvitsevat ajantasaista tilannekuvaa ja tietoliikennekapasiteetin tarve kasvaa kaikkialla. Kaupalliset sijoittajat tunnustavat tämän liiketoimintapotentiaalin. Vuonna 2018 avaruussektorille sijoitettiin ennätyselliset 3.2 miljardia dollaria yksityistä pääomaa. Suomalainen tutkasatelliittiparvea rakentava ICEYE sai myös osansa näistä kaupallisista sijoituksista.

Avaruustoiminnan murroksen myötä valtioista riippumattomien avaruustoimijoiden määrä on kasvanut, kun teknologinen kehitys on madaltanut kynnyksiä luoda avaruuskyvykkyksiä. Uusilla avaruustoimijoilla saattaa olla Suomen kannalta haitallisia motiiveja, millä voi olla turvallisuuspoliittisia vaikutuksia. Esimerkiksi karttapalveluyritys Planetin kamerasatelliitit pystyvät kuvaamaan mitä tahansa kohdetta maapallolla joka päivä. Kuvauksen kohteella ei ole sananvaltaa yrityksen toimintaan, esimerkiksi milloin kuvia saisi ottaa tai kenelle otettuja kuvia luovutetaan. Tässä on tärkeässä roolissa myös oma kansallinen kyky ylläpitää tietoisuutta avaruuden tilannekuvasta.

Turvallisuuden näkökulmasta avaruusteknologian murros on Suomen kaltaisille pienille valtioille haaste. Turvallisuustutkijat ovat kuvanneet käynnissä olevaa avaruustoiminnan murrosta siirtymänä territoriaalisesta funktionaaliseen kamppailuun. Alueellisen hallinnan sijasta tarkastellaan toimintojen, kuten paikannuspalvelun, merireittien tai tietoliikenneyhteyksien toimivuutta ja käyttövarmuutta. Koska yhteiskunnan toiminnot perustuvat kasvavassa määrin avaruuspalveluihin, tulee avaruuspalveluista kiinnostavia funktionaalisen vaikuttamisen kohteita. Paikannuspalveluiden häirinnästä on jo useita esimerkitapauksia. Esimerkiksi lentoliikennettä voidaan häiritä vaikuttamalla satelliittipaikannuksen tai tietoliikennepalveluiden toimintaan. Kriittisillä järjestelmillä on syytä olla häiriötilanteita varten varasuunnitelmat paikannus-, tietoliikenne- ja aikasynkronointipalveluiden osalta.

Avaruudesta tehtävä alueellinen valvonta ja signaalitiedustelu ovat murroksen myötä nyt lähtökohtaisesti lukuisien erilaisten toimijoiden saavutettavissa olevia kyvykkyksiä.

Suomen yllä lentää sekä kaupallisten palvelun tarjoajien havainnointijärjestelmiä, että valtiollisten toimijoiden omia havainnointijärjestelmiä. Meillä ei ole riittävää tietoa näiden järjestelmien toimintakyvystä, eikä täysin kattavaa tietoa siitä, mitä järjestelmiä Suomen yllä toimii. Ensimmäinen askel tarkkailua vastaan suojautumisessa on kehittää avaruuden tilannetietoisuuttamme siten, että meillä on riittävän kattava tieto siitä, mitkä järjestelmät meitä tarkkailevat. Tämä edellyttää avaruuden tilannekuvakeskuksen perustamista osana euroopan laajuista järjestelmää.

Uuden avaruusteknologian myötä lähiavaruudessa kiertävien satelliittien ja myös avaruusromun määrä lisääntyy. Siksi avaruuden tilannekuvajärjestelmä, avaruustoimien liikennesäännöt, romun poisto ja satelliittien huoltaminen ovat alueita, joilla tarvitaan nopeaa kehitystä lähiavaruuden toimintaympäristön käyttökelpoisena säilyttämiseksi. Avaruusromun poiston sekä satelliittien huoltamisen alueilla on myös selvää kaupallisen toiminnan potentiaalia, jossa Suomella on selkeästi hyödynnettäviä vahvuuksia.

Perustuen analyysiimme avaruusteknologian murroksen etenemisestä hahmottelimme Suomelle neljä erilaista tulevaisuuskuvaavuuden 2030 tilannekuvasta. Perinteisen avaruustoiminnan tulevaisuuskuvaavuudessa asiat etenevät omalla painollaan. Hieman paremman lopputuloksen kuvassa Suomessa ollaan passiivisia, mutta EU-tasolla toimitaan oikeaan suuntaan. Jännitteisessä tulevaisuuskuvaavuudessa uuden avaruustoiminnan mahdollisuuksia hyödynnetään, mutta kansainväliset jännitteet ja turvallisuuspoliittiset intressit vaikeuttavat uuden avaruusliiketoiminnan potentiaalinen täysimääräistä hyödyntämistä, ja siksi tulevaisuuskuva on vielä vaisu. Hyvin menestyvän avaruusalan tulevaisuuskuvaavuudessa niin Euroopassa kuin Suomessakin on tehty ajoissa oikeita toimenpiteitä. Mukaan on otettu myös perinteinen avarusteollisuus, sekä on onnistuttu yhdistämään liiketoiminnan ja turvallisuustoimijoiden tavoitteet. Tilannekuva parantuu entisestään, jos Suomen ja muiden EU-toimijoiden lisäksi jotkut globaalit kaupalliset toimijat tekevät Suomen kannalta suotuisia päätöksiä optimoidessaan omaa liiketoimintaansa. Tässä tulevaisuuskuvaavuudessa onnistumme kansallisesti menestyksellisesti hyödyntämään New Space -murroksen mahdollisuuksia.

Vaihtoehtoisten tulevaisuuksien mahdollista toteutumista arvioitiin niihin vaikuttavien keskeisten muuttujien avulla. Tällaisia muuttujia ovat esimerkiksi liiketoimintapotentiaalinen hyödyntämiseen vaikuttava muuttuja 'Suomeen kehitty sarjatuotanto-osaamista'. Suotuisien kuvien toteutuminen edellyttää lähivuosien aikana kansallisia toimenpiteitä, joiden suoritustapa on ratkaisevaa vuoden 2030 tilannekuvan kannalta.

Jotta Suomen avaruustoiminnan kehittymiseen kohdistuvat odotukset voisivat täyttyä, tarvitsemme tasokorotuksen nykyiseen avaruustoiminnan rahoitukseen. ESA-panostuksen osalta Suomen olisi lisättävä rahoitusta ESA:n perustamissopimuksen edellyttämään kansantuotteen mukaiseen tasoon, jotta olisimme samalla tasolla verrokkimaiden kanssa.

Kaikkia kansallisesti merkittäviä kehityshankkeita emme pääse tekemään ESA:n kautta, ja siksi on selkeä tarve myös ESA:n ulkopuoliselle avaruusbudjetille, jonka avulla Suomen avaruusstrategian toteutusta pystytään joustavasti ohjaamaan.

Uuden teknistieteellisen osaamisen kehittäminen kansallisella perusrahoituksella tuottaa tärkeän vipuvaikutuksen sekä liiketoimintaan että turvallisuussovelluksiin. Osaaminen ja innovaatiot houkuttelevat kasvurahoitusta, mikä mahdollistaa liiketoiminnan kasvun. Avaruustoiminnan lisärahoitus tukisi osaltaan myös hallitusohjelman tavoitetta kasvattaa kansallisia tutkimus- ja kehityspanostuksia neljään prosenttiin bruttokansantuotteesta..

Uusi avaruusliiketoiminta edellyttää monissa sovelluskohteissa kykyä tuottaa tarvittavia teknologioita ja tuotteita sarjatuotantona, mihin suomalaisilla avaruusalan toimijoilla ei ole vielä riittävää osaamista ja kapasiteettia. Tähän osaamiseen sekä kykyyn skaalata kehitettyjä tuotteita kannattaa panostaa, jotta suomalaiset toimijat pääsevät mukaan globaaleihin avaruuspalveluiden ja -teknologioiden toimitusketjuihin.

Suomen pohjoinen sijainti palvelee erinomaisesti erityisesti satelliittien komentamista ja niiden datan vastaanottoa, mitä Sodankylän avaruuskeskus tekee tehokkaasti pienin resurssein. Puolustuksellisten toimien kannalta olennaista on ajantasainen tilannekuva avaruudesta, ilmakehästä ja maanpinnasta, mikä myös saadaan aikaan hyödyntämällä satelliittijärjestelmien havaintoja. Sodankylän satelliittikeskus on kansallisesti erittäin tärkeä toiminto, ja sen toiminnallista kapasiteettia (mm. lisääntenni, Ka-taajuus, liikuteltavuus) olisi laajennettava uusien vestointien avulla kaupallisten toimijoiden kanssa.

Sodankylän avaruuskeskuksen sijainti ja infrastruktuuri tarjoaa myös hyvän sijainnin avaruusesineitä tarkkailevalle tutka-asemalle. Tämä tarjoaisi mahdollisuuden kehittää suomalaisiin teknistieteellisiin vahvuuksiin pohjautuva kansallinen avaruuden tilannekuvajärjestelmä osana yhteiseurooppalaista avaruuden tilannekuvajärjestelmää.

Aktiivisilla toimilla Suomi pystyy hyödyntämään avaruusteknisen murroksen tarjoamat laajat liiketoiminnalliset mahdollisuudet sekä toisaalta varautumaan turvallisuuteen liittyviin uusiin haasteisiin. Useassa tapauksessa päättäväisesti suoritettut toimet palvelevat sekä turvallisuutta että liiketoimintapotentialin hyödyntämistä.

Käynnissä oleva avaruusteknologinen murros voidaan hyödyntää parhaiten vahvalla yksityisen ja julkisen sektorin yhteistyöllä sekä koordinoimalla hallinnon toimia yli ministeriöiden rajojen. Tällä tavoin on mahdollista saavuttaa Suomen kannalta suotuisa tilannekuva. Toimenpidesuosituksemme ovat tämän mukaisia.

LYHENNELUETTELO

ANK	Avarusasiain neuvottelukunta
APEX	Asteroid Prospection Explorer
ARTES	Advanced Research in Telecommunications Systems
ASPERA	Analyzer of Space Plasmas and Energetic Atoms
AVAUS	Avaruuden uuden toimintaympäristön turvallisuusulottuvuudet ja liiketoiminta
BA	Business Applications
BKT	Bruttokansantuote
CEP	Civil emergency planning
COTS	Commercial off-the-shelf
CLPS	Commercial Lunar Payload Services
EDIDP	European Defence Industry Development Programme
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EISCAT	European Incoherent Scatter Scientific Association
EO	Earth Observation
EOS	Earth Observing System
ERNE	Energetic and Relativistic Nuclei and Electron
ESA	European Space Agency
ESO	European Southern Observatory
EU	Euroopan Unioni
EUSA	EU Space Agency
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOMOS	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars
GPS	Global Positioning System
GSA	European GNSS Agency
HF	High frequency
ICAO	International Civil Aviation Organization
IL	Ilmatieteen laitos
ISRO	Intian Avaruusjärjestö
ITAR	International Traffic in Arms Regulations
ITU	International Telecommunication Union
LEO	Low Earth Orbit
MIXS	Mercury Imaging X-ray Spectrometer
MML	Maanmittauslaitos
MSW	Micro-weather and Space Weather
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NEO	Near Earth Objects
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMI	Ozone Monitoring instrument
PIA	Puolustus- ja ilmailuteollisuus
QFL	Quantum Flagship Initiative
RSL	Reaktor Space Lab
SAR	Synthetic Aperture Radar
SDR	Software-defined radio
SIA	Satelliittiteollisuuden yhdistys
SIXS	Solar Intensity X-ray and particle Spectrometer
SLR	Satellite Laser Ranging
SOHO	Solar and Heliospheric Observatory
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device
SSA	Space Situational Awareness
SST	Space Surveillance and Tracking
SWE	Space Weather
SYKE	Suomen ympäristökeskus
S2P	Space Safety Programme
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TP	Työpaketti
T&K	Tutkimus ja kehitys

UHF	Ultra high frequency
USD	USA:n dollari
VHF	Very high frequency
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.
XFM	X-ray Flux Monitor
YK	Yhdistyneet Kansakunnat

Liitteet

- [1] Yhteenveto mahdollisista tulevaisuuskuvista
- [2] Lista haastatelluista henkilöistä

Seuraavat liitteet ovat saatavilla vain sähköisessä muodossa:

- [3] Taustaselvitys – Avaruusteknologian tilannekuva Suomessa
- [4] Taustaselvitys – Liiketoimintapotentiaali
- [5] Taustaselvitys – Turvallisuusvaikutukset
- [6] Suomen avaruustoiminnan mahdolliset tulevaisuuskuvat

Liite 1: Yhteenvedo mahdollisista tulevaisuuskuvista

Tulevaisuuskuvat A, B, C ja D on analysoitu tarkemmin luvussa 5.

Muuttuja	Muuttujan arvot		
EU:n interessikoheesio	EU-tasolla on vahva intressikoheesio, mikä näkyy myös avaruustoiminnassa B D	EU:ssa tapahtuu voimistuvaa blokkiumista A	Hajanainen EU, avaruustoimintaa toteutetaan bilateraalilla suhteilla EU:n ulkopuolisten tahojen kanssa C
Arktisen alueen kehitys	Suurvaltapolitiikan tai pääoman roolin merkittävä korostuminen, Venäjän tai Kiinan dominoima arktinen C	Hajanainen, ei toimivaa yhteistyötä arktisella, mutta uhkakuvat eivät toteudu B	Multilateraalinen, valtapolitiikasta eristetty arktinen A D
Avaruushallinto Suomessa	Suomessa on hajautettu ja hajanainen avaruushallinto A C	Suomessa on keskitetty avaruushallinto, jolla ei tarvitsemiaan resursseja tai strategista suuntaa B	Suomessa on selkeästi roolitettu ja riittävästi resursoitu avaruushallinto, sekä ennakoitiin ja pitkän aikavälin ymmärrykseen perustuva avaruusstrategia D
Avaruuslainsäädäntö ja regulaatio	Suomessa muuta lainsäädäntöä ei ole harmonisoitu avaruuslain kanssa, tilanne on toimijoille epäselvä A	Suomessa on avaruuslain lisäksi myös muu lainsäädäntö ajan tasalla avaruusasioissa C	EU-tasolla edistetään lainsäädännön muutoksia avaruusdatan hyödyntämiseen & standardointiin B D
Data	Datan käsittelystä ja hyödyntämisestä ei ole yhteiskunnassa yhteisymmärrystä tai pelisääntöjä A	Suomessa on vahva dataosaaminen, mutta kansainvälisesti jännitteet vaikeuttavat hyödyntämistä C	Julkishallinnossa tehdään innovatiivisia ja strategisia kokeiluja avaruusdatan hyödyntämiseksi, Suomessa on syvä yhteisymmärrys ja pelisääntö datan eettiselle käytölle B D
Eurooppalaiset avaruusyritykset	Eurooppaan ei synny toimivampaa liiketoimintaekosysteemiä tai yksityisiä toimijoita A	Uusia yrityksiä syntyy, mutta ne eivät pääse osaksi kansainvälisiä markkinoita tai suurvaltojen jättihankkeita A B C	Eurooppaan syntyy uusia yrityksiä, jotka kilpailevat aidosti esimerkiksi yhdysovaltalaisten ja kiinalaisten toimijoiden kanssa D
EU:n innovatiiviset hankinnat	Hankintamalli säilyy ESA-vetoisena A	Hankintaa uudistetaan rajallisesti C	EU toteuttaa innovatiivisia hankintoja B D
Suomen rooli palveluiden tuotannossa	Suomessa ei juurikaan ole toimijoita, joilla on palvelulistamistarjontaa A	Suomessa on toimijoita, jotka osallistuvat avaruustoimintaan palvelulistamiseen jonkin verran esimerkiksi Euroopassa B C	Suomella on kansainvälisesti hyvä rooli avaruustoimintojen palvelulistamisessa D
Koulutus	Avaruuskoulutus on siiloutunutta A C	Suomessa avaruuskoulutusta moninaistetaan B	Avaruusala on mukana useissa poikkitieteellisissä koulutusohjelmissa, jotka tuottavat ja houkuttelevat kansainvälisiä osajia D
Sarjatutanto- osaaminen Suomessa	Suomessa ei ole sarjatutanto- osaamista A C	Suomi vastaa sarjatutannon tarpeisiin osittain B	Suomessa valmistetaan kansainvälisiin toimintoihin komponentteja sarjatutantona D
SSA	Suomella ei ole merkittävää tai kansainvälisesti relevantti avaruuden tilannekuvan luomisessa A	Suomella on osaamista avaruuden tilannekuvan luomisessa B C	Suomella on globaalisti keskeinen rooli avaruuden tilannekuvan luomisessa D
Laukaisujärjestelmät Euroopassa	Euroopassa ei ole laadukkaita laukaisujärjestelmiä A B	Euroopassa on korkeatasoisia laukaisujärjestelmiä, mutta niitä subventoidaan rajusti C	Eurooppaan syntyy kilpailukykyisiä laukaisuasemia D
Maa-asetat	Sodankylän maa-aseman roolia ei kyetä laajentamaan C	Sodankylän maa-asemaa hyödynnetään entistä laajemmin ja kansainvälisemmin A	Suomeen kohdistuu kansainvälisiä investointeja maa-asematoimintaan liittyen B D
Avaruusromun torjunta	Avaruusromun torjunnan suhteen ei ole merkittävää osaamista Suomessa C	Avaruusromun torjuntaan liittyvää osaamista kehitetty Suomeen, mutta sitä ei kyetä kaupallistamaan B C	Avaruusromun torjunnan näkökulmat ovat keskeisessä asemassa Suomen avaruustoiminnassa, ja Suomi on mukana joissakin kansainvälisissä hankkeissa A D

Liite 2: Lista haastatelluista henkilöistä

Hankkeessa haastatellut henkilöt. Haastattelut on toteutettu välillä marraskuu 2018 – kesäkuu 2019.

Nimi	Titteli	Organisaatio
Hannu Koskinen	Avaruusfysiikan professori, eläkkeellä	Helsingin yliopisto
Heidi Kuusniemi	Johtaja, Digital Economy	Vaasan yliopisto
Kai Knape	Yksikönjohtaja, Turvallisuusyksikkö	Puolustusministeriö
Kimmo Kanto	Head of Space	Business Finland
Maija Lönnqvist	Johtava asiantuntija	Työ- ja elinkeinoministeriö
Matti Anttila	Business Area Manager, Space	Space Systems Finland
Päivi Antikainen	Yksikön johtaja, viestintäneuvos, Ilmasto- ja ympäristöyksikkö	Liikenne- ja viestintäministeriö
Petri Liljaniemi	Neuvotteleva virkamies	Ympäristöministeriö
Matti Keränen	Toimittaja	Alma Media
Paavo Heiskanen	REACH Officer, Product Assurance and Safety Department	European Space Agency
Juho Simpura	Lähetystöneuvos, Vastuuvirkamies vientivalvontakoordinaatio	Ulkoministeriö
Mikko Nikulainen	Head of the Technical Reliability and Quality Division	Euroopan avaruusjärjestö

LÄHDELUETTELO

- 1 State of the Satellite Industry Report, May 2019, BRYCE Space and Technology. <https://brycetechnology.com/downloads/SSIR-2019-2-pager.pdf>
- 2 Start-Up Space, Update on Investment in Commercial Space Ventures, 2019, BRYCE Space and Technology. https://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Start_Up_Space_2019.pdf
- 3 Satellites Key to \$5T+ Across U.S. Economy, 2019, BRYCE Space and Technology. https://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Satellites_Key_2019.pdf
- 4 EU budget: A €16 billion Space Programme to boost EU space leadership beyond 2020, 6 June 2018, EC. https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-4022_en.htm
- 5 Dependence of the European economy on space infrastructures - Potential impacts of space assets loss - Study, 2.8.2018, Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e5450aac-0d4d-11e8-966a-01aa75ed71a1/language-en>
- 6 Thanks Elon: How SpaceX has lowered launch costs and made space more accessible, 5.3.2019, Smart Company. <https://www.smartcompany.com.au/startupsmart/analysis/spacex-lowered-costs-space-accessible/>
- 7 Start-Up Space Update on Investment in Commercial Space Ventures, 2019, BRYCE Space and Technology. http://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Start_Up_Space_2019.pdf
- 8 ICEYE Raises \$34M in Series B Financing and Confirms Nine Satellite Launches by End of 2019, 24.5.2018, ICEYE Press Release. <https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-raises-34-million-dollars-series-b-financing-confirms-nine-sar-satellite-launches-by-end-of-2019>
- 9 Bryce Space & Technology (2017[19]), Start-Up Space 2017: Update on Investments in Commercial Space Ventures.
- 10 Suomen huoltovarmuus ja Baltian alue: Tiivistyvät yhteydet muuttuvassa turvallisuusympäristössä (FIIA-raportti 61), 10.9.2019, Ulkopoliittinen instituutti. <https://www.fii.fi/julkaisu/suomen-huoltovarmuus-ja-baltian-alue>
- 11 Documents reveal how the Space Force would launch in 90 days, Syyskuu 2019, DefenceNews. <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/2019/09/16/documents-reveal-how-the-space-force-would-launch-in-90-days/>
- 12 France Is Launching a 'Space Force' with Weaponized Satellites, 2.8.2019, Space.com. <https://www.space.com/france-military-space-force.html>
- 13 India's Anti-Satellite Missile Test Is a Big Deal. Here's Why., 30.3.2019, Space.com. <https://www.space.com/india-anti-satellite-test-significance.html>
- 14 After China's Test: Time For a Limited Ban on Anti-Satellite Weapons, 04/2007, Arms Control Association. <https://www.armscontrol.org/act/2007-04/features/after-chinas-test-time-limited-ban-anti-satellite-weapons>
- 15 Copernicus - Europe's eyes on Earth. <https://www.copernicus.eu/en>
- 16 Galileo - the European global satellite-based navigation system. <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>
- 17 Space Policy and Activities Beyond 2020: The new EU Space Programme at a Glance, EC. https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/budget-june2018-space-policy_en_0.pdf
- 18 Europe's launchers, European Space Agency. http://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers
- 19 The Next Neil Armstrong May Be Chinese as Moon Race Intensifies, 18.7.2019, Bruce Einhorn, Justin Bachman, Hannah Dormido and Adrian Leung. <https://www.bloomberg.com/graphics/2019-us-vs-china-moon-race/>
- 20 SpaceX wants to land Starship on the moon within three years, president says, with people soon after, 27.10.2019, CNBC. <https://www.cnbc.com/2019/10/27/spacex-president-we-will-land-starship-on-moon-before-2022.html>
- 21 Virgin Galactic: From Space To The Stock Market, 30.10.2019, Forbes. <https://www.forbes.com/sites/michaelgoldstein/2019/10/30/virgin-galactic-from-space-to-the-stock-market/#75f961ac7b08>
- 22 Research on the Space Solar Power Systems (SSPS), Jaxa Research and Development Directorate. <http://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/ssps/ssps-index.html>
- 23 Space-based solar power conversion and delivery systems study. Volume 3: Economic analysis of space-based solar power systems, 30.6.2016, NASA. <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19770008553>
- 24 US Military Eyes Strategic Value of Earth-Moon Space, 29.8.2019, Space.com. <https://www.space.com/us-military-strategic-value-earth-moon-space.html>
- 25 Commercial Lunar Propellant Architecture - A Collaborative Study of Lunar Propellant Production, David Kornuta et. al. https://www.ulalaunch.com/docs/default-source/commercial-space/commercial-lunar-propellant-architecture.pdf?sfvrsn=649113d4_4

- 26 China Will Create 'Space Economic Zone' by Midcentury: Report, 1.11.2019, CX Tech. <https://www.caixinglobal.com/2019-11-01/china-will-create-space-economic-zone-by-midcentury-report-101477919.html>
- 27 Mikä on EISCAT? EISCAT Scientific Association, Sodankylä. <https://www.sgo.fi/Eiscat/kuvaus.php>
- 28 Ilmatieteen laitoksen tiedotarkisto: Marsin Phobos-kuu askarruttanut suomalaistutkijoita jo neljänneksivuosisadan. <https://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1272341807>
- 29 <https://space.fmi.fi/main/planetary-research-and-space-technology/>
- 30 Ilmatieteen laitoksen mittalaitteita avaruudessa. <https://ilmatieteenlaitos.fi/avaruushavainnot>
- 31 <https://www.vaisala.com/en/sensors-instruments>
- 32 Ilmatieteen laitoksen tiedotarkisto: Ilmatieteen laitoksen mittalaite tuottanut laadukkaita tietoja Titan-kuun kaasukehästä. <https://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1106206726>
- 33 Mars Curiosity Rover. <https://mars.nasa.gov/msl/home/>
- 34 <https://ilmatieteenlaitos.fi/mars-monkija-msl>
- 35 Solar and Heliospheric Observatory. <https://sohowww.nascom.nasa.gov/>
- 36 Energetic and Relativistic Nuclei and Electron. <https://srl.utu.fi/projects/erne>
- 37 Rendezvous with a comet. <http://rosetta.esa.int>
- 38 PP-anturi mittaa komeetan vesipitoisuutta. <https://ilmatieteenlaitos.fi/pp>
- 39 EUMETSAT. <https://www.eumetsat.int/website/home/index.html>
- 40 European Southern Observatory. <https://www.eso.org/public/>
- 41 European Commission COM(2016) 705 final, 26.10.2016
- 42 <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/5/lissabonin-sopimus>
- 43 Avaruushallinnon järjestäminen eräissä verrokkimaissa. Selvitysraportti, 24.01.2018, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 21/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-541-5>
- 44 Avaruussasiain neuvottelukunta, Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://tem.fi/avaruussasiain-neuvottelukunta>
- 45 Business Finland. <https://www.businessfinland.fi/>
- 46 AVAUS TP3 ja TP4 taustadokumentit (sähköiset liitteet)
- 47 Galileo GNSS. <https://galileognss.eu/>
- 48 Copernicus. <https://www.copernicus.eu/en>
- 49 Suomi 2025 - Maailman houkuttelevin ja ketterin avaruusliiketoimintaympäristö, josta hyötyvät kaikki täällä toimivat yritykset, 2018, Työ- ja elinkeinoministeriö / Liikenne- ja viestintäministeriö. <https://tem.fi/documents/1410877/3227301/Avaruusliiketoimintaty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+2018/c6ea3c04-0415-31f5-12ae-dd417d045bed/Avaruusliiketoimintaty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+2018.pdf>
- 50 The European space industry in 2016 facts & figures 2017, 2017, ASD-EUROSPACE - The Space group in ASD. https://p7665.phpnet.org/wp-content/uploads/2018/05/factsfigures_2017-web.pdf
- 51 The Space Economy in Figures - How Space Contributes to the Global Economy, OECD Library. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c9916723-en/index.html?itemId=/content/component/c9916723-en>
- 52 <https://business.esa.int/projects/msw-service>
- 53 VTT participates in the €1 billion Quantum Flagship Initiative, 29.10.2018, <https://www.vttresearch.com/media/news/vtt-participates-in-the-%E2%82%AC1-billion-quantum-flagship-initiative>
- 54 IQM, <https://www.meetiqm.com/>
- 55 Space Weather Study Results, November 2016, ESA SSA CBA – SWE Study Results. https://esamultimedia.esa.int/docs/business_with_esa/Space_Weather_Cost_Benefit_Analysis_ESA_2016.pdf
- 56 PECASUS globaali avaruussääkeskus. <http://pecasus.org/>
- 57 E-SQUID (Development of SQUID-based multiplexers for large Infrared-to-X-ray imaging detector arrays in astronomical research from space), 10.6.2015. <https://cordis.europa.eu/project/id/262947/reporting>
- 58 Business Finland - New Space Economy. <https://www.businessfinland.fi/en/for-finnish-customers/services/programs/new-space-economy/>
- 59 European defence industrial development programme (EDIDP), 19.3.2019, European Commission. https://ec.europa.eu/growth/content/2019-calls-proposals-european-defence-industrial-development-programme-edidp_en
- 60 www.hilla.center
- 61 Ilmavoimien komentaja allekirjoittaa avaruustilannekuvayhteistyötä koskevan yhteisymmärryspöytäkirjan, 2019, Ilmavoimat. https://ilmavoimat.fi/artikkeli/-/asset_publisher/ilmavoimien-komentaja-allekirjoittaa-suomen-ja-yhdysvaltain-valisen-avaruustilannekuvayhteistyota-koskevan-yhteisymmarruspoytakirjan
- 62 Selvitys suomalaisen avaruustoiminnan ja sen hallinnon kehittämistarpeista, 2018, Liikenne- ja viestintäministeriö. <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM038:00/2018>
- 63 Valtioneuvoston asetus
- 64 Avaruussasiain neuvottelukunnasta, 2019, Valtioneuvosto. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190739>

- 65 2025 - Maailman houkuttelevin ja ketterin avaruusliiketoimintaympäristö, josta hyötyvät kaikki täällä toimivat yritykset, 2018, Työ- ja elinkeinoministeriö / Liikenne- ja viestintäministeriö. <https://tem.fi/documents/1410877/3227301/Avaruusliiketoimintaty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+2018/c6ea3c04-0415-31f5-12ae-dd417d045bed/Avaruusliiketoimintaty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+2018.pdf>
- 66 PROgramme de Développement d'Expériences scientifiques. <https://sci.esa.int/web/prodex>
- 67 Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the space programme of the Union and the European Union Agency for the Space Programme and repealing Regulations (EU) No 912/2010, (EU) No 1285/2013, (EU) No 377/2014 and Decision 541/2014/EU, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A447%3AFIN>
- 68 Galileo is the European global satellite-based navigation system, European Global Navigation Satellite System Agency. <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>
- 69 European Global Navigation Satellite System Agency. <https://www.gsa.europa.eu/>
- 70 EP endorses provisional agreement on EU Space Programme, 18.4.2019, European Global Navigation Satellite System Agency. <https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/ep-endorses-provisional-agreement-eu-space-programme>
- 71 ESA, an intergovernmental customer - Funding of ESA activities, 26.9.2014, European Space Agency. https://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/Business_Opportunities/ESA_an_intergovernmental_customer
- 72 NASA Commercial Space Economy, NASA. <https://www.nasa.gov/exploration/commercial/index.html>
- 73 Laki avaruustoiminnasta, 12.1.2018, Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180063>
- 74 Space Law Treaties and Principles, United Nations Office for Outer Space Affairs. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties.html>
- 75 Laki avaruustoiminnasta, 12.1.2018, Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180063>
- 76 Suomalaissatelliitti lähetti ensimmäisen signaalin, 26.5.2017, YLE. <https://yle.fi/uutiset/3-9634970>
- 77 The future of the European space sector How to leverage Europe's technological leadership and boost investments for space ventures, 2019, European Investment Bank. https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_en.pdf
- 78 Attacking satellites is increasingly attractive and dangerous., 18.7.2019, The Economist. <https://www.economist.com/briefing/2019/07/18/attacking-satellites-is-increasingly-attractive-and-dangerous>
- 79 India Shot Down a Satellite, Modi Says, Shifting Balance of Power in Asia., 27.3.2019, Gettleman, Jeffrey ja Hari Kumar, The New York Times. <https://www.ny-times.com/2019/03/27/world/asia/india-weather-satellite-missile.html>
- 80 Russia Claims It Now Has Lasers To Shoot Satellites., 26.2.2018, Tucker, Patrick, Defenseone.com. <https://www.defenseone.com/technology/2018/02/russia-claims-it-now-has-lasers-shoot-satellites/146243/?oref=d1-related-article>
- 81 China, Russia Building Attack Satellites and Space Lasers: Pentagon Report, 12.2.2019, Tucker, Patrick, Defenseone.com. <https://www.defenseone.com/technology/2019/02/china-russia-building-attack-satellites-and-space-lasers-pentagon-report/154819/>
- 82 Avaruusyleissopimus 57/1967, 27.10.1967. <https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sops-teksti/1967/19670057#idp447181856>
- 83 The geostrategic arctic: Hard security in the high north., April 2019, Mikkola, Harri, FIIA Briefing paper 259, The Finnish Institute of International Affairs. <https://www.fiia.fi/julkaisu/the-geostrategic-arctic>
- 84 Russia says its radio-electronic shield now covers the Arctic., 21.5.2019, Staalesen, Atle, The Barents Observer. <https://thebarentsobserver.com/en/arctic-security/2019/05/russia-says-its-radio-electronic-shield-now-covers-arctic>
- 85 What non-alignment? Finland's security and defence policy stems from partnerships., November 2017, Pesu, Matti, FIIA Briefing Paper 227. The Finnish Institute of International Affairs. <https://www.fiia.fi/julkaisu/finlands-security-and-defence-policy-stems-from-partnerships>
- 86 Haastattelut
- 87 The future of the European space sector How to leverage Europe's technological leadership and boost investments for space ventures, 2019, European Investment Bank. https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_en.pdf
- 88 ICEYE. <https://www.iceye.com/>
- 89 Reaktor Space Lab. <https://reaktorspace.com/>
- 90 Sodankylä National Satellite Data Centre. <https://space.fmi.fi/category/national-satellite-data-centre/>
- 91 Tiedebarometri 2019: Tutkimus suomalaisten suhtautumisesta tieteeseen ja tieteellis-tekniseen kehitykseen, 2019. http://www.tieteentiedotus.fi/files/Tiedebarometri_2019.pdf
- 92 Main trends and challenges in the space sector, 6/2019, PWC. <https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2019/06/fr-pwc-main-trends-and-challenges-in-the-space-sector.pdf>

- 93 Maxar weaving components into new business ventures, 2.8.2019, SpaceNews.
<https://spacenews.com/maxar-weaving-components-into-new-business-ventures/>
- 94 Google Buys Skybox Imaging - Not Just For Its Satellites, 10.6.2014, Forbes. <https://www.forbes.com/sites/ellenhuet/2014/06/10/google-buys-skybox-imaging-not-just-for-its-satellites/#4ff3baf97391>
- 95 Google selling Terra Bella satellite imaging business to Planet, 3.2.2017, TechCrunch. <https://techcrunch.com/2017/02/03/google-selling-terra-bella-satellite-imaging-business-to-planet/>
- 96 Swedish company to acquire cubesat manufacturer Clyde Space, 23.12.2017, Spacenews.
<https://spacenews.com/swedish-company-to-acquire-cubesat-manufacturer-clyde-space/>
- 97 German launch, Space News, 12.12.2019. <https://spacenews.com/german-launch-startup-raises-17-million-with-help-from-airbus-ventures-and-an-ex-spacex-employee/>
- 98 Haastattelu
- 99 Haastattelu ja AVAUS-työpaja
- 100 AVAUS työpaja, 7.10.2019, Ulkopoliittinen Instituutti

TIETOKAYTTOON.FI

