

Avaruus arjessamme

Avaruustoiminnan yhteiskunnallinen vaikuttavuus (AVARTAVA)
loppuraportti

Kalle A. Piirainen, Katri Haila, Vesa Salminen, Kimmo Halme, Helka Lamminkoski,
Tuomas Häme, Marko Höyhtyä, Eelis Halme

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2022:28

tietokayttoon.fi

Avaruus arjessamme

Avaruustoiminnan yhteiskunnallinen vaikuttavuus (AVARTAVA) loppuraportti

Kalle A. Piirainen, Katri Haila, Vesa Salminen,
Kimmo Halme, Helka Lamminkoski (4FRONT),
Tuomas Häme, Marko Höyhtyä, Eelis Halme (VTT)

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Julkaisumyynti

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston
verkkokirjakauppa**

Statsrådets
nätbokhandel

vnjulkaisumyynti.fi

Valtioneuvoston kanslia

© This publication is copyrighted. You may download, display and print it for Your own personal use. Commercial use is prohibited.

ISBN pdf 978-952-383-080-6

ISSN pdf 2342-6799

Taitto Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2022

Avaruus arjessamme Avaruustoiminnan yhteiskunnallinen vaikuttavuus (AVARTAVA) loppuraportti

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:28

Kustantaja Valtioneuvoston kanslia

Tekijä/t Kalle A. Piirainen, Katri Haila, Vesa Salminen, Kimmo Halme, Helka Lamminkoski, Tuomas Häme, Marko Höyhty, Eelis Halme

Toimittaja/t Kalle A. Piirainen

Yhteisötekijä/t 4Front Oy ja VTT Oy

Kieli Suomi

Sivumäärä 135

Tiivistelmä

Selvityksen tavoitteena oli muodostaa ajankohtainen kuva siitä, miten avaruustoiminnan mahdollisuuksia hyödynnetään hallitusohjelman tavoitteiden ja muiden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteuttamisessa sekä eri hallinnonalojen päätöksenteossa.

Päähavainto on, että avaruustoimintaa hyödynnetään laajasti eri hallinnonalojen päätöksenteossa sekä hallitusohjelman ja muiden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteuttamisessa, vaikka avaruustoiminnan roolia aina ei välttämättä tiedosteta. Avaruustoiminnan palveluilla, kuten paikkatiedolla ja aikasignaaliilla, kaukokartoituksella ja satelliittitietoliikenteellä on merkittäviä sovelluksia viranomaistoiminnassa, esim. pelastuksessa, ympäristövalvonnassa ja turvallisuusviranomaisten toiminnassa, sekä liike-elämässä, erilaisten tietoliikenne- ja energiaverkkojen, kaupankäynnin, kuljetusten ja palveluiden mahdollistajana.

Kaiken kaikkiaan avaruustoiminta on kriittistä yhteiskunnan normaalille toiminnalle. Selvitysryhmä suosittaa tiedostamaan avaruustoiminnan roolin kriittisyyden. Selvityksessä esitetään toimenpiteitä tarvittavan osaamisen ja resurssien varmistamiseksi, jotta avaruustoiminnan palveluita voidaan hyödyntää jatkossa entistä laajemmin.

Klausuuli Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. (tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

Asiasanat avaruustoiminta, satelliittinavigointi, paikkatieto, satelliittitietoliikenne, kaukokartoitus, hallitusohjelma, tutkimus, tutkimustoiminta

ISBN PDF 978-952-383-080-6

ISSN PDF 2342-6799

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-080-6>

Den sociala påverkan av rymdaktiviteter i Finland

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2022:28

Förläggare Statsrådets kansli

Författare Kalle A. Piirainen, Katri Haila, Vesa Salminen, Kimmo Halme, Helka Lamminkoski, Tuomas Häme, Marko Höyhty, Eelis Halme

Förläggare Kalle A. Piirainen

Gemenskapsfaktorer 4Front Ab og VTT Ab

Språk Finsk

Sidantal 135

Referat

Syftet med utredningen var att skapa en aktuell bild av rymdverksamheten och granska hur rymdverksamhetens möjligheter utnyttjas för att uppfylla regeringsprogrammets mål samt andra samhällseliga mål i olika förvaltningsområdets beslutsfattande.

Den främsta observationen är att rymdverksamheten utnyttjas brett utan att nödvändigt vara medvetna om rymdverksamheten i olika förvaltningsområdets beslutsfattande samt under implementeringen av regeringsprogrammet och andra samhällseliga mål. Applikationer av rymdtjänster liksom geodata, tidssignal och satelliter används av myndigheter t.ex. inom räddningsväsendet, miljöövervakningen, säkerhetstjänsterna och av affärlivet som möjliggörare av t. ex. IT - och energinätverk, handel, logistik och service.

Sammanlagt är rymdverksamheten kritiskt för samhällets normala verksamhet. Utredningen rekommenderar att notera den kritiska rollen som rymdverksamheten har. Flera åtgärder behövs inom kunnandet och resurserna för att kunna utnyttja rymdtjänster även bättre i framtiden.

Klausul

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan. (tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

Nyckelord

rymdverksamhet, rymd, rymdtjänster, innovation, business, fjärranalys, forskning, forskningsverksamhet

ISBN PDF 978-952-383-080-6

ISSN PDF 2342-6799

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-080-6>

From space to everyday

Final report of Societal impact of space activities in Finland (AVARTAVA)

Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2022:28

Published by Prime Minister's Office

Author(s)	Kalle A. Piirainen, Katri Haila, Vesa Salminen, Kimmo Halme, Helka Lamminkoski, Tuomas Häme, Marko Höyhtyä, Eelis Halme		
Publisher(s)	Kalle A. Piirainen		
Partner(s)	4FRONT Ltd. And VTT Oy		
Language	Finnish	Pages	135

Abstract The objective of this study was to provide a picture how space-based services are used in the Finnish Government in fulfilling the goals set in the Government programme, in government activities, and advancing other societal goals.

The main findings of the study are that downstream space activities and space-based services are well integrated and utilized in a variety of sectors in the Finnish Government and private sectors, and the applications are used to advance a variety of societal goals, although the contribution of space activities are not always well recognized by the end users and beneficiaries. Mainstream space-based services include satellite navigation and time signal, satellite-based earth observation and satellite communication, which all are utilized in multiple government sectors, including public safety, transport, environmental protection, agriculture, as well as in private sector, including telecom and energy sectors, transport, and logistics and as platforms for a variety of services.

Altogether, space capabilities are critical to the normal functioning of Finnish society. The study consortium recommends a set of actions for raising public awareness of the role of space activities and securing the resources and knowledge to fully utilize and secure future functioning of space-based services and solutions.

Clause 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.

Keywords space, satellite systems, new space economy, earth observation, satellite navigation, satellite communication, government programme, research, research activities

ISBN PDF	978-952-383-080-6	ISSN PDF	2342-6799
-----------------	-------------------	-----------------	-----------

URN-address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-080-6>

Sisältö

1	Johdanto	10
1.1	Selvityksen tausta	10
1.2	Selvityksen tavoitteet	11
1.3	Selvityksen toteutus	12
2	Tausta ja määrittelyt	13
2.1	Mitä on avaruustoiminta?	14
2.1.1	Avaruustoiminnan määrittely ja rajaus.....	14
2.1.2	Keskeiset avaruustoiminnan sovellukset.....	17
2.2	Kansainvälinen ja kansallinen avaruuspolitiikka.....	20
2.2.1	Kansainvälinen ja Euroopan unionin taso	20
2.2.2	Kansallinen taso	23
2.3	Suomalainen avaruustoiminta	24
2.3.1	Keskeiset hallinnon avaruustoimijat ja niiden roolit	24
2.3.2	Yleiskuva suomalaisesta kaupallisesta avaruustoiminnasta	26
3	Avaruustoiminnan hyödyntäminen eri hallinnonaloilla	34
3.1	Yleiskuva avaruustoiminnan hyödyntämisestä hallinnossa.....	34
3.2	Tapaustutkimukset hallinnonaloilla.....	35
3.2.1	Satelliittipaikannuksen hyödyntäminen liikennesektorilla	37
3.2.2	Paikannusjärjestelmien tuottaman tarkan aikasignaalin hyödyntäminen	42
3.2.3	Kaukokartoitus maanviljelyssä	47
3.2.4	Avaruustoiminta pelastustoimessa	50
3.2.5	Ilmastonmuutoksen seuranta ja ihmisen toiminnan vaikutusten arviointi avaruustoiminnan avulla	56
3.2.6	Avaruustoiminta kansallisessa turvallisuudessa.....	62
3.3	Yhteenveto avaruustoiminnasta hallinnossa ja sen lisäarvosta	65
4	Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet	72
4.1	Satelliittipaikannus	76
4.1.1	Käynnissä olevat murrokset	76
4.1.2	Keskeiset tutkimusalat.....	77

4.2	Kaukokartoitus	81
4.2.1	Keskeiset tutkimusalat.....	82
4.2.2	Käynnissä olevat murrokset	88
4.2.3	Laskentamenetelmien kehityssuunta	90
4.3	Tietoliikenne	91
4.3.1	Käynnissä olevat murrokset	91
4.3.2	Keskeiset sovellus- ja tutkimusalat.....	93
4.3.3	Eurooppalainen oma satelliittitietoliikennejärjestelmä	100
4.4	Yhteenveto ja keskeiset tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuudet.....	101
5	Skenaariot avaruustoiminnan häiriöiden vaikutuksista	106
6	Johtopäätökset ja suositukset	117
6.1	Johtopäätökset.....	117
6.2	Suosituksset.....	121
	Liitteet	125
	Lyhenteet.....	130
	Lähteet.....	133

ESIPUHE

Avaruus kiehtoo ja kiinnostaa ihmisiä. Viimeisimmän tiedebarometrin mukaan 45 % suomalaista on kiinnostunut avaruustutkimuksesta ja ESA:n käynnistämä astronautti-haku sai yli 300 suomalaista ilmoittautumaan mukaan. Uutiset kiinnostavista avaruus-missioista ja avaruusteknologian kehitysaskeleista innostavat ja kannustavat nuoria kouluttautumaan tärkeille korkean teknologian aloille.

Haaveillessamme matkasta kiertoradalle tai uudesta tutkimusmatkasta naapuriplaneetalle, emme aina tule ajatelleeksi, että avaruustoiminnalla on yhä suurempi merkitys yhteiskuntamme ja arkielämämme toimivuudelle. Useat toimialat hyödyntävät satelliittien tuottamaa ja välittämää dataa. Esimerkiksi liikenteen palvelut, uudet tietoliikenne-ratkaisut, sään ennustaminen sekä maa- ja metsätalouden palvelut perustuvat satelliittien tarjoamiin ratkaisuihin. Avaruustoiminnalla edistetään myös YK:n kestävän kehityksen tavoitteita. Avaruustoiminta on myös entistä tärkeämpää kokonaisturvallisuudelle ja huoltovarmuudelle.

Suomalainen osaaminen on kehittynyt vuosikymmenten aikana kansainvälisesti kilpailukykyiselle tasolle. Innovatiiviset piensatelliitit, laadukkaat ohjelmistot ja kestävät instrumentit ovat saaneet rinnalleen laajan yritys- ja tutkijajoukon, jotka hyödyntävät avaruusteknologian avulla tuotettua dataa, signaaleja ja mittausaineistoja uusien sovellusten ja palveluiden kehittämiseen esimerkiksi ympäristön seurannan, tehokkaamman maa- ja metsätalouden sekä logistiikka- ja lähettipalvelujen tarpeisiin.

Tällä VN TEAS-hankkeella haluttiin selvittää, millainen merkitys avaruustoiminnalla hallitusohjelman tavoitteiden toteuttamiselle, hallinnonalojen päätöksenteolle ja viranomaisten toiminnalle sekä millä aloilla avaruustoiminnasta erityisesti on hyötyä toiminnan tehostumisen, helpottumisen tai nopeutumisen kautta. Selvityksen tapauskuvausten avulla pyrittiin toisaalta konkretisoimaan näitä hyötyjä, toisaalta osoittamaan, millaista haittaa avaruustoiminnan häiriöt voisivat aiheuttaa. Selvityksessä tunnistettiin lisäksi Suomen vahvuuksia ja tulevaisuuden aloja, joilla avaruustoimintaa voitaisiin soveltaa entistä laajemmin. Saatua tietoa voidaan käyttää avaruusstrategian toimeen-

panossa, eurooppalaisen yhteistyön prioriteettien määrittelyssä ja myös valmisteltaessa uutta hallitusohjelmaa ja muiden hallinnonalojen strategioita, tiekarttoja tai toimenpideohjelmia.

Kiitän selvityksen tekijöitä 4Frontilta ja VTT:ltä sekä ohjausryhmän jäseniä aktiivisesta työstä hankkeen parissa. Lisäksi kiitos kaikille selvityksen haastatteluihin ja työpajoihin osallistuneille. Ohjausryhmän kokouksissa ja työpajoissa kävimme kiinnostavia keskusteluita avaruustoiminnan määritelmästä, avaruustoiminnan sovellusten ja palvelujen käyttökohteista.

Maija Lönnqvist
Ohjausryhmän puheenjohtaja
Työ- ja elinkeinoministeriö
Maaliskuu 2022

Ohjausryhmän kokoonpano:

Maija Lönnqvist (TEM, puheenjohtaja)
Tuija Ypyä (TEM)
Jenni Tapio (TEM)
Heidi Pennanen (TEM)
Tuuli Ojala (LVM)
Janne Mänttari (LVM)
Mari Laakso (MMM)
Pentti Olin (PLM)
Minna Bloigu (SM)
Petri Liljaniemi (YM)

Asiantuntijoina:

Tero Vihavainen (Traficom)
Kimmo Kanto (Business Finland)

1 Johdanto

1.1 Selvityksen tausta

Avaruustoiminnalla on yhä suurempi strateginen merkitys yhteiskunnan toimivuudelle, kansalliselle turvallisuudelle ja eri hallinnonalojen päätöksenteolle. Avaruustoiminta edesauttaa monilla, usein näkymättömillä, tavoilla arkisten toimintojen sujuvuutta. Yksittäinen rakentaja tai kiinteistönomistaja ei tule välttämättä ajatelleeksi, että nykyaikainen maanmittaus ja kartoitus riippuu satelliittijärjestelmistä; kolmiomittausverkostoa ei ole enää ja koordinaatisto sekä kartaston ylläpitoon, maanmittaukseen, lohkomiseen ja näin myös rakentamiseen tarvitaan satelliittiyhteys. Satelliittipaikannus on monelle arkipäiväistynyt karttasovellusten osana. Merkittävä osa kansainvälisestä tietoliikenteestä kulkee satelliittien kautta. Satelliittikuvia ja muuta satelliittien toimittamaa mittaustietoa käytetään sääennusteissa ja ilmakehän tutkimuksessa, metsien arvioinnissa, talvimerenkulun tukena, veden laadun arvioinnissa ja lumipeitteen seurannassa sekä maanviljelyn valvonnassa. Toisin sanoen avaruustoimintaa hyödynnetään jo nyt varsin monipuolisesti yhteiskunnan eri osa-alueilla. Toki edellä mainitut asiat ovat olleet mahdollisia eri tavoin jo ennen avaruustoimintaa, mutta avaruustoiminnan soveltaminen on parantanut tehokkuutta ja tarjonnut uusia mahdollisuuksia kaikissa näissä sovelluksissa.

Sekä valtioiden, että yritysten kiinnostus ja panostukset avaruustoimintaan ovat kasvaneet voimakkaasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Julkinen avaruustoiminta suuntautuu sekä järjestelmien ja yleispalveluiden kehittämiseen, että avaruuden- ja aurinkokunnan tutkimukseen ja aurinkokunnan mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Samanaikaisesti laajentuva yksityinen avaruustoiminta suuntautuu erityisesti tietoliikenteeseen ja kaukokartoitukseen sekä avaruustoiminnan tuottaman mittaus- ja havaintoaineistojen sekä palveluiden hyödyntämiseen maanpäällisessä liiketoiminnassa.

Viimeisimpien tietojen valossa avaruustalous on voimakkaasti kasvava ala. Vuonna 2021 tehtiin kaikkien aikojen ennätys laukaisujen määrässä kiertoradalle¹; sekä laukai-

¹ Vuonna 2021 laukaisuyrityksiä oli yhteensä 145, joista 134 (92 %) onnistui. 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen keskiarvo oli 66 laukaisua vuodessa ks. Space Foundation, The Space Report 2021 Q4; Kyle 2021 The Space Launch Report. Saatavilla: <https://www.spacelaunchreport.com/logyear.html>

sujuen että kiertoradalle toimitettujen satelliittien vuosittainen lukumäärä on moninkertaistunut kymmenessä vuodessa². Viimeisten vuosien kaupallisen avaruustoiminnan liikevaihdon arviot (2019–2021) vaihtelevat välillä noin 360 ja 450 mrd. Yhdysvaltain dollaria globaalisti³ ja odotuksena on, että ensi vuosikymmenellä volyymi noin 2–3 kertaistuu ja rikkoo triljoonan rajan⁴. Lisäksi arvioidaan, että esimerkiksi Yhdysvalloissa julkinen investointi avaruustoimintaan on noin 0,23 % bruttokansantuotteesta ja avarusteollisuuden osuus on noin kaksinkertainen, eli julkinen toiminta vivuttaa merkittävästi yksityisiä investointeja, synnyttää työpaikkoja ja luo hyvinvointia.⁵

Kansainvälisesti avaruustoimintaa, sen soveltamista ja taloudellisia vaikutuksia on tarkasteltu ajoittain. Tämä selvitys pyrkii osaltaan tuottamalla tietoa avaruustoiminnan hyödyntämisen nykytilasta, tulevaisuuden mahdollisuuksista sekä pullonkauloista erityisesti Suomessa. Hankkeen tuloksia on tarkoitus hyödyntää nykyisen hallitusohjelman toteuttamisessa ja seuraavan hallitusohjelman valmistelussa, kansallisen avaruusstrategian toimeenpanossa ja päivittämisessä, sekä määriteltäessä Suomen prioriteetteja kansainvälisessä yhteistyössä. Lisäksi tuloksia voidaan käyttää hyödyksi myös muiden alojen strategioiden ja toimenpidesuunnitelmien laadinnassa ja toteuttamisessa.

1.2 Selvityksen tavoitteet

Hankkeessa selvitettiin, miten Suomessa jo hyödynnetään avaruustoiminnan mahdollisuuksia hallitusohjelman tavoitteiden ja muiden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteuttamisessa sekä eri hallinnonalojen päätöksenteossa. Hankkeessa tunnistettiin aloja, joilla toiminnan, tutkimuksen, seurannan ja suunnittelun tarkkuutta, tehokkuutta ja reaaliaikaisuutta on pystytty parantamaan avaruustoiminnan avulla. Lisäksi tarkasteltiin

² Avaruusesineiden määrä oli 2000-luvun ensimmäiselle vuosikymmenelle asti maltillisessa kasvussa ja vielä alle 10 000 kappaletta, kymmenessä vuodessa se on yli kaksinkertaistunut. Pelkästään vuonna 2021 kiertoradalle toimitettiin yli 1000 satelliittia. Vrt. ESA Space Debris Office, 2021. ESA's Annual Space Environment Report. Saatavilla: https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf

³ Ks esim. Space Foundation, The Space Report 2021 Q2, Q4; Weinzierl & Sarang, 2021 "The Commercial Space Age is Here, Harvard Business Review; OECD 2019, The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy; Morgan-Stanley, "The Space Economy's Next Giant Leap" Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>

⁴ Morgan-Stanley, "The Space Economy's Next Giant Leap" Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>

⁵ OECD, 2021 Space economy for people, planet and prosperity: OECD paper for the G20 Space Economy Leaders' Meeting, 20-21.9. 2021 Rome

sitä, millä aloilla mahdollisuuksiin ei ole vielä tartuttu ja mitkä tekijät mahdollisesti estävät avaruusratkaisujen hyödyntämisen tai hidastavat niiden käyttöönottoa. Selvityskysymykset olivat:

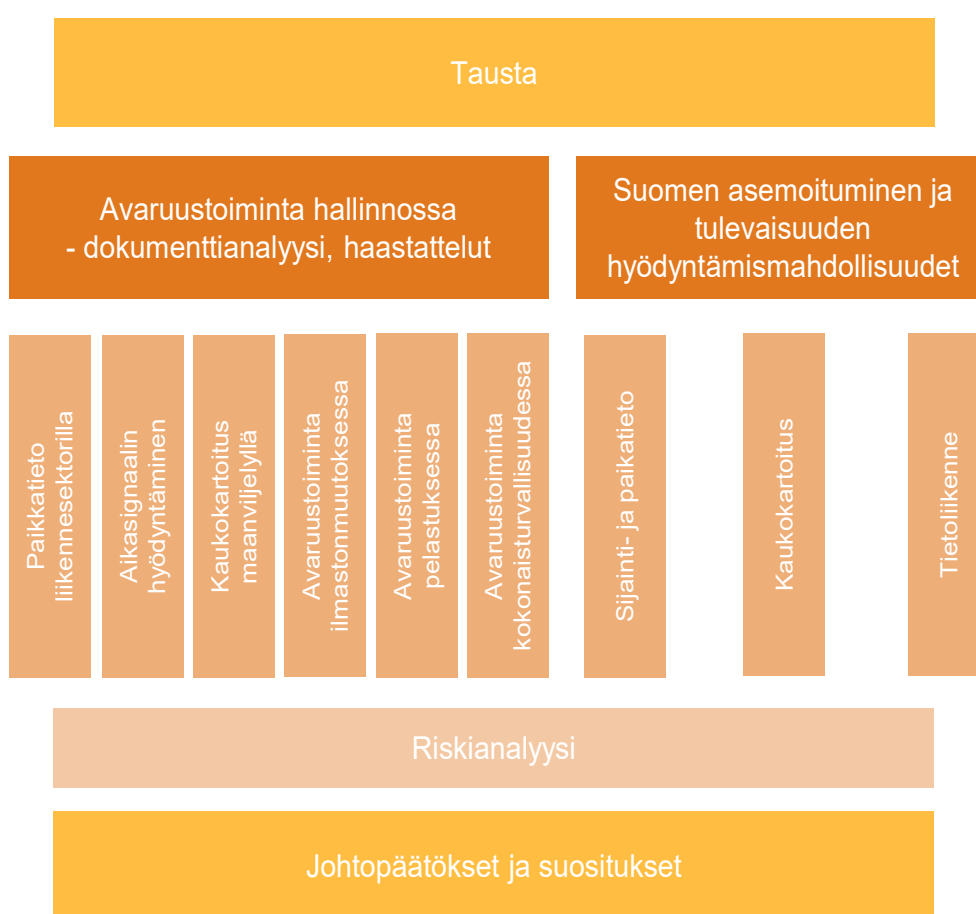
1. Miten hyvin Suomessa jo hyödynnetään avaruustoiminnan mahdollisuuksia hallitusohjelman tavoitteiden ja muiden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteuttamisessa sekä eri hallinnonalojen päätöksenteossa?
2. Millä aloilla Suomessa toiminnan, tutkimuksen, seurannan ja suunnittelun tarkkuutta, tehokkuutta ja reaaliaikaisuutta on pystytty parantamaan avaruustoiminnan avulla?
3. Millä aloilla mahdollisuuksiin ei ole vielä tartuttu ja mitkä tekijät, pullonkaulat, mahdollisesti estävät avaruusratkaisujen hyödyntämisen tai hidastavat niiden käyttöönottoa?
4. Mitä vaikutuksia avaruustoiminnan häiriöllä voisi olla yhteiskunnan eri toimintojen sujuvuudelle?
5. Miten Suomen pitäisi tulevaisuudessa asemoitua eurooppalaisessa yhteistyössä (Euroopan avaruusjärjestö, Euroopan Unioni, muu eurooppalainen yhteistyö) saadakseen parhaan hyödyn avaruustoiminnasta?

1.3 Selvityksen toteutus

Selvitys toteutettiin maaliskuusta 2021 maaliskuuhun 2022. Hankkeen toteuttivat 4FRONT Oy ja VTT Oy. Selvitystehtävän mukaisesti hankkeen analyysit ovat keskittyneet hahmottamaan niitä vaikuttavuuspolkuja, joita pitkin avaruustoiminnan vaikutukset ja hyödyt realisoituvat. Analyysi keskittyi erityisesti hallitusohjelmassa esitettyihin tavoitteisiin ja niiden toteutumiseen.

Esitetty analyysi perustuu, pääosin laadullisiin lähteisiin, joista tärkeimpiä ovat kirjallisuus ja dokumentit (viitattu tekstissä), sekä haastattelut. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna etukäteen valmisteltuun kysymysrunkoon perustuen ja haastatteluista tehtiin muistiinpanot analyysiä varten. Haastattelut kohdennettiin erityisesti julkishallintoon, eri hallinnonaloille ja virastoihin selvitystehtävän mukaisesti. Suomalainen yksityinen avaruustoiminta hahmoteltiin kuvailevan tilastokatsauksen pohjalta, mutta hankkeessa ei ole tehty ekonometristä vaikuttavuustutkimusta. Hankkeessa on järjestetty säännöllisen ohjausryhmätyön lisäksi kolme työpajaa, joissa on validoitu analyysiä ja yhteiskehitetty johtopäätöksiä ja suosituksia.

Oheinen kuva esittää hankkeen keskeiset työkokonaisuudet. Työ on edennyt taustatutkimuksesta (raportin luvut 1–2) hallinnonalojen avaruustoiminnan kartoitukseen, jonka ohessa on tuotettu joukko tapaustutkimuksia avaruustoiminnan hyödyntämisestä hallinnossa (luku 3) sekä tutkimuksellisen avaruustoiminnan katsaukseen, johon liittyy tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksien kartoitus (luku 4). Osana edellisiä vaiheita on tehty riskianalyysi ja skenaarioita avaruustoiminnan häiriöiden vaikutuksesta (luku 5).



Kuva 1. Selvityksen työkokonaisuudet

2 Tausta ja määrittelyt

Tässä luvussa taustoitetaan lukijalle mitä avaruustoiminta käsittää erityisesti Suomen kontekstissa ja lisäksi taustoitetaan kansainvälistä ja suomalaista avaruuspolitiikkaa.

2.1 Mitä on avaruustoiminta?

2.1.1 Avaruustoiminnan määrittely ja rajaus

Kokonaisuutena avaruustoiminta lyhyesti käsittää avaruuslennot, kiertoradalla ja sen ulkopuolella tapahtuvan avaruustoiminnan sekä avaruustoiminnan hyödyntämisen. Selvitykseen on valittu OECD:n yleisesti käytetty avaruustoiminnan määritelmä⁶, jota on selvennetty taulukossa 1 ja kuvassa 2. Tämän määritelmän mukaan avaruustoiminta jakautuu avaruusteknologiaa tuottavan toimintaan, myöhemmin lyhyemmin avaruusteknologiaan tai *upstream*-toimintaan, soveltavaan avaruustoimintaan, myöhemmin myös *downstream*, ja avaruusjohdannaiseen toimintaan (*space-derived*). Tässä selvityksessä keskitytään erityisesti näistä kahteen ensimmäiseen, jotka muodostavat avaruustoiminnan selkärangan.

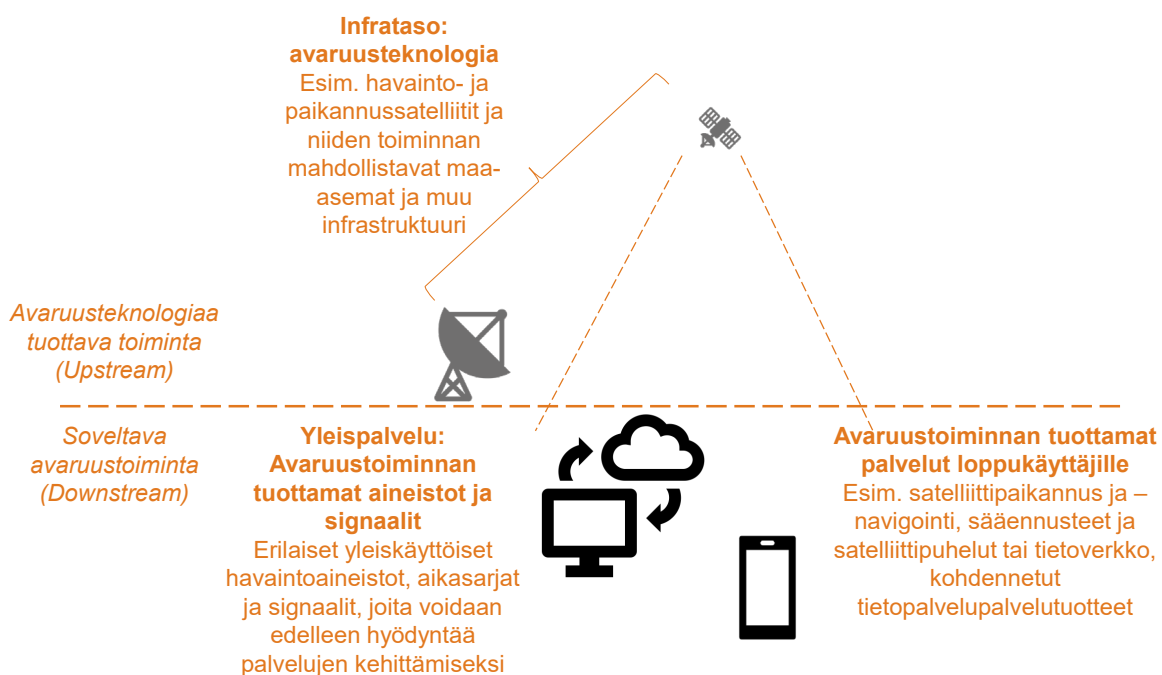
Kansainvälisesti avaruustoiminnan määrittelystä ja rajauksesta on käyty paljon keskustelua, jonka ajurina on yhtäältä (julkisen) avaruustoiminnan investointien legitimointi ja toisaalta avaruustoiminnan vaikutusten ja hyötyjen tekeminen näkyväksi, sekä toisaalta myös kasvavan yksityisen avaruustoiminnan taloudellisten vaikutusten arviointi ja ymmärtäminen. OECD:n kolmiportainen määrittely on paljon viitattu ja käytetty, ja sitä käyttävät pääosin Euroopan maat sekä kansainväliset organisaatiot kuten YK:n avaruustoimisto UNOOSA, Euroopan avaruusjärjestö ESA ja Euroopan Unioni.

⁶ Esimerkiksi laki avaruustoiminnasta (63/2018) määrittelee avaruustoiminnan olevan ”avaruusesineen [esineen, koneen, laitteen, ml. esineen osat, sen lähettämiseksi tarvittavat koneet, ja laitteet sekä niiden osat] lähettämistä avaruuteen, avaruusesineen operointia ja muuta määräysvaltaa siihen avaruudessa sekä avaruusesineen palauttamista ja palautumista maahan”

Taulukko 1. Avaruustoiminnan määrittelyä

	Kuvailu/määritelmä	Esimerkkejä
Avaruusteknologiaa tuottava toiminta (Upstream)	Avaruusohjelmien ja -lentotoiminnan teknis-tieteellinen perusta ja siihen liittyvä teollinen toiminta. Avaruustoiminnan infrastruktuurin ylläpito ja käyttö.	Satelliittien, rakettien ja muiden avaruusesineiden osien, komponenttien ja järjestelmien tutkimus-, ja kehitystoiminta (TKI), suunnittelu ja valmistus. Laukaisu ja avaruusesineiden operointi (lentotoiminta) Avaruustoiminnan maa-asemien suunnittelu, rakentaminen, ylläpito ja operointi.
Soveltava avaruustoiminta (Downstream)	Sovellukset, jotka hyödyntävät suoraan avaruudessa tapahtuvaa toimintaa, infrastruktuureja ja avaruustoiminnan tuottamia aineistoja.	Avaruustoiminnasta suoraan riippuvaisten laitteiden (esim. paikannuslaitteiden ja satelliittipuhelinten) suunnittelu ja valmistus. Säätiedotukset ja ennusteet, pilvi- ja sadealuekartat, jääkartat, jne. Paikkatietoa ja satelliittinavigointia käyttävät kuljetus, lähetti ja logistiikkapalvelut, lastin seuranta, alusten kulun optimointi, jne.
Avaruusjohdannainen toiminta (Space-derived)	Toiminta, joka käyttää hyödyksi avaruustoiminnassa kehitettyä teknologiaa, mutta ei ole suoraan riippuvainen avaruustoiminnasta tai -esineistä.	Alun perin avaruusohjelmissa kehitettyjen teknologioiden soveltaminen maanpäällisessä liiketoiminnassa. Kuten avaruuskävelypukuihin kehitettyjen teknisten materiaalin (Gore-Tex, Outlast, Aerogel yms.) käyttäminen ulkoiluvaatteiden valmistuksessa, tai muiden materiaalien (keraamiset komposiitit, pinnoitteet, Teflon/PTFE) lukemattomat sovellukset.

Yksinkertaistettuna satelliitit tuottavat erilaisia havaintoaineistoja ja signaaleja, jotka otetaan vastaan maa-asemilla ja tallennetaan hyödynnettäväksi. Varsinaiset loppukäyttäjälle näkyvät palvelut ja niitä käyttävät tuotteet hyödyntävät näitä aineistoja ja signaaleja, ”välituotteita”, jossakin jalostetussa muodossa (vrt. kuva 2).



Kuva 2. Kaavamainen esitys avaruustoiminnan eri tasoista yleiskäyttöisestä teknologiasta loppukäyttäjän hyödyntämään palveluun.

Kansainvälisessä keskustelussa puhutaan usein avaruustoiminnan ohella avaruustaloudesta (*space economy*). Suomen kielessä avaruustalous ja avaruustoiminta ovat osin päällekkäisiä käsitteitä, ja usein avaruustoiminnalla tarkoitetaan molempia. Avaruustaloudella tarkoitetaan taloudellista/yrittöystoimintaa, joka jollakin tavalla tuottaa taloudellista arvoa tutkimalla, hyödyntämällä tai soveltamalla avaruutta ja siellä tapahtuvaa tai siihen kohdistuvaa toimintaa. Usein esiintyvä käsite on myös ”uusi avaruusliiketoiminta/*New Space Economy (NSE)*”, joka viittaa avaruusalan karkeasti viimeisen vuosikymmenen aikana syntyneeseen yksityisen kaupallisen toiminnan aaltoon, jonka myötä yksityisillä toimijoilla on nyt yhä tärkeämpi rooli avaruustoiminnan kehittämisessä. Laajemmin uuteen avaruustalouteen liittyvät myös uudelleenheränneiden valtiollisen avaruuden tutkimuksen ja uusien taivaankappaleiden valloituksen ja hyödyntämisen kaltaiset avaukset.⁷

⁷ Esim. OECD Space Forum, 2020 Measuring the economic impact of the space sector key indicators and options to improve data. Saatavilla: <https://www.oecd.org/innovation/inno/measuring-economic-impact-space-sector.pdf>; OECD, 2012. OECD Handbook on Measuring the Space Economy, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264169166-en.>; Morgan-Stanley 2021 A New Space Economy on the Edge of Liftoff. Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>

Euroopan ulkopuolisessa keskustelussa erottuvat avaruustoiminnan perinteiset suurvallat Yhdysvallat, Venäjä ja haastajan asemassa oleva Kiina, jonka avaruustoiminta on voimakkaasti laajentunut viime vuosina. Näissä maissa julkinen avaruustoiminta on usein vahvasti sidoksissa puolustushallintoon. Nousevana kysymyksenä näyttäytyy myös avaruuspuolustus, eli avaruustoiminnan infran suojaaminen ja puolustaminen erilaisia hyökkäyksiä vastaan. Suurvaltojen yksityinen avaruustalous elää talousjärjestelmän asettamissa raameissa omaa elämäänsä, mutta myös yksityisessä avaruustoiminnassa keskeisenä painopisteenä on laukaisu- ja lentotoiminnan kehittäminen ja erityisesti laukaisutoiminnan omavaraisuuden varmistaminen. Soveltava avaruustalous ja avaruustoiminta sekä näiden määrittely vaikuttaakin olevan historiallisesti paljolti eurooppalainen keskustelu.

2.1.2 Keskeiset avaruustoiminnan sovellukset

Globaali satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Navigation Satellite System, GNSS) tunnetaan arkikielessä yhden järjestelmän nimellä, mutta käytössä on useita satelliittipaikannusjärjestelmiä, joita käytetään rinnakkain. Länsimaissa tunnetuin ja ensimmäinen maailmanlaajuisesti kattava oli Yhdysvaltain puolustushallinnon aloitteesta kehitetty *Global Positioning System* (GPS) (kehitetty n. 1960–1975, vapautettu siviilikäyttöön 1983), jota seurasivat kilpailevat neuvosto-venäläinen *GLONASS* (kehitys aloitettu 1976), kiinalainen *BeiDou Navigation Satellite System* (kehitys aloitettu 2000) eurooppalainen ja ainoa siviilihallinnon alainen järjestelmä Galileo, ja alueelliset intialainen *Indian Regional Navigation Satellite System IRNSS/NavIC* ja japanilainen *Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) "Michibiki"*.⁸

Kaikki nämä järjestelmät toimivat olennaisesti samalla tavalla. Niiden tekninen perusta on, että järjestelmän maata kiertävät satelliitit sisältävät samaan standardiaikaan tahdistetun atomikellon (tai useita) ja ne lähettävät aikamerkkiä ja ratatietoa määrämudossa. Perustapauksessa paikannus tai **sijaintitieto** lasketaan vastaanottimessa, ikään kuin monimutkaisella kolmiomittauksella, vertaamalla vähintään neljän (satelliittien minimimäärä komiulotteiseen paikannukseen) yhtä aikaa vastaanotetun satelliitin aikamerkkien eroa. **Paikkatieto** syntyy, kun sijaintiin yhdistetään muuta tietoa paikannettavan asian tai esineen ominaisuuksista. Yleisin GNSS-sovellus on **satelliittipaikannus** eli paikan tai sijainnin määrittely satelliittijärjestelmän avulla ja sen laajennuksena satelliittinavigointi tai **reittinavigointi**.

⁸ Ks. esim. Kaasalainen S. et al. 2021, Selvitys GNSS-palvelujen tarjonnasta ja toiminnasta, Raportti MML 50103/08 05/2021.

Satelliittipaikannuksen nimellistarkkuus on noin 4–5 m⁹, mutta esimerkiksi teolliseen ja viranomaiskäyttöön on tarjolla Galileon suuren tarkkuuden palvelu (*Galileo High Accuracy Service, HAS*), joka paikantaa sijainnin 20 cm tarkkuudella. Käytännössä paikannustarkkuus vaihtelee maastonmuotojen, radiokelin, auringon aktiivisuuden ja mahdollisten muiden häiriölähteiden johdosta parhaimmillaan modernilla kuluttajavastaanottimella noin kolmesta metristä heikoimmillaan noin 100–300 metriin.

Monissa laitteissa, esim. matkapuhelinten käyttöjärjestelmän paikannuspalvelussa, satelliittijärjestelmien lisäksi käytetään useita maanpäällisiä verkkoja kuten matkapuhelinverkon solutunnistetta, langattoman lähiverkon (WiFi) signaalia, ja kehittyneemmissä sovelluksissa lisäksi kuvantavia menetelmiä ja referenssisignaaleja yms. **avustepalveluita**, joilla paikannuksen tarkkuutta ja luotettavuutta myös sisätiloissa ja tunneleissa, jonne satelliittisignaali ei kulkeudu, voidaan parantaa. Ammattikäyttöön suunniteltu differentiaalikorjattu ja/tai muita avustepalveluita (kuten EGNOS, *European Geostationary Navigation Overlay Service*) käyttävä vastaanotin ylittää parhaimmillaan senttimetriluokan tarkkuuteen. Differentiaalisignaalia lähetetään eri maissa kansallisesti ylläpidetyiltä erillisiltä maa-asemilta, mm. Suomessa Maanmittauslaitos ylläpitää differentiaalisignaalia lähettävää FinRef-verkkoa ja Metsähovin geodeettista tutkimusasemaa Kirkkonummella. Metsähovi on myös yksi globaalin geodeettisten asemien verkoston perusasemista, jota käytetään kansallisten vertausjärjestelmien ja globaalien järjestelmien ylläpitoon, satelliittien ratojen määrittämiseen ja tutkimuksiin. MML:n Traficommin rahoituksella kehittämän ja ylläpitämän GNSS-Finland -laadunvalvontapalvelun avulla seurataan satelliittipaikannussignaalien laatua.¹⁰ Suomessa on lisäksi useita valtakunnallisesti sekä paikallisesti satelliittipaikannuksen tarkkuutta parantavia palveluita tarjoavia yrityksiä. Erytisovelluksena viranomaistoimintaa on kehitetty lisäksi Galileon julkinen säännelty PRS (*Public Regulated Service*) palvelu, johon sisältyy aika- ja paikkatiedon salausta ja siihen perustuva virheenkorjaus ja häiriönpoisto, joka parantaa paikannuksen luotettavuutta vaikeissa oloissa ja häirinnän alla.

Kaukokartoitus (*Earth Observation, EO; Remote Sensing*) käsittää laajan kirjon erilaisia teknologioita, joilla voidaan kerätä keskitetysti mittaustietoa, kuvia ja erilaisia muita sensoriaineistoja maan pinnan, ilmakehän yms. tilasta. Käytännössä sana useimmiten tarkoittaa satelliittien avulla kerättävän tiedon (*tark. Satellite-Based Remote Sensing, SRS*) yhdistelyä maanpäällisten havaintosarjojen kanssa jonkin ilmiön havainnoimiseksi.

⁹ Esim MML, <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematieto/paikannusjarjestelma-galileo>

¹⁰ <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematieto/satelliittipaikannus>

Eurooppalaisittain ja maailmanlaajuisesti keskeinen kaukokartoitusohjelma on EU:n Copernicus-ohjelma, jonka piirissä on toistaiseksi laukaistu kahdeksan Sentinel-satelliittia. Niissä on sensoreita mm. näkyvän valon ja infrapunaa aallonpituusalueelta, mitkä tuottavat kuva-aineistoa 10 metrin resoluutioon asti, tutkasatelliitteja, veden lämpötilan ja meren pinnan topografian mittaamisen sekä ilmakehän koostumuksen mittaamisen tarkoitettuja instrumentteja, pinnankorkeusmittareita ja muuta instrumenttaatiota. Havaintolaitteet mahdollistavat maapallon geologisten, maantieteellisten ja biologisten prosessien tutkimuksen ja seurannan (vrt. luku 4.1). Copernicus-ohjelma hyödyntää myös jäsenmaiden omia kaukokartoitussatelliitteja, ja tekee yhteistyötä esim. Yhdysvaltain vastaavan LANDSAT-ohjelman ja muiden kolmansien osapuolien kanssa globaalin kaukokartoitusaineiston tuottamiseksi. Copernicuksen kanssa yhteistyössä toimii myös Euroopan meteorologisten satelliittien hyödyntämisen järjestö EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), jolla on omia ja Copernicuksen kanssa yhteisiä ilmakehän ja sään mittaamiseen ja ennustamiseen hyödynnettäviä havaintosatelliitteja. Yhdessä nämä tuottavat joukon tieteilisistä ja kaupallisesti hyödynnettäviä havaintoaineistoja, "dataa".

Kaukokartoituksen keskeisiä sovelluskohteita ovat luonnontieteellinen ja **maanpinnalla sekä ilmakehässä tapahtuvien ilmiöiden tutkimus, ennustaminen ja näihin perustuvat tilannetietopalvelut**. Copernicus-ohjelma tuottaa paitsi "raakaa" käsittelemätöntä havaintoaineistoa tutkimuskäyttöön ja jalostettavaksi, erityisesti viranomaisille suunnattuja tilannetietopalveluita maankäytön, ympäristön tilan ja ilmastonmuutoksen sekä luonnonvarojen seurantaan ja valvontaan, sekä pelastus-, katastrofinhallinta-, väestönsuojelu- ja turvallisuusviranomaisille. Lisäksi jäsenmaiden kansalliset virastot ja tutkimuslaitokset jalostavat rinnakkaisia tilannetietopalveluita Copernicus-aineistoista.

Satelliittitiedonsiirto-/tietoliikenne/kommunikaatio-/viestintä on mitä tahansa tiedonsiirtoa, joka jossakin vaiheessa lähettäjän ja vastaanottajan välissä kulkee satelliitin kautta. Satelliittiviestinnän ensimmäiset askeleet olivat mannertenvälisen puhelujen reitittäminen osittain satelliittiyhteydellä mannertenvälisissä yhteyksissä 1960-luvun alussa. Käytännössä nykyään on vaikea teknisesti erottaa satelliittikommunikaatiota maanpäällisestä puhelunvälityksessä, vaan kansainväliset puhelut reitittyvät joko merikaapelia tai satelliittiyhteyttä pitkin joustavasti verkon vapaan kapasiteetin mukaan.

Puhelinliikenteen ulkopuolella liiketoiminta satelliittien kautta lähetettävän maksutelevisioiden ympärillä kasvoi voimakkaasti 1980-luvulla. Televisio- ja radiolähetykset ovat olleet pitkään suurin satelliittien avulla tapahtuvan tiedonvälityksen liiketoiminnan ala. Tietoliikenteen saralla Kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n spin-offina syntynyt INMARSAT-järjestelmä aloitti toiminnan 1970-luvun puolivälissä ja oli pitkään lähes

de-facto monopoli erityisesti meriliikenteen ja ilmailun satelliittipuhelujen välittämiin. Tiedonsiirron siirtymisen enenevässä määrin pakettidataan myös puheviestintään ja TV:n osalta, sekä suoratoistopalveluiden lisääntymisen ja valtavirtaistumisen myötä, 2010-luvulla alkoi voimakas kiinnostus ”kattavan/universaalin internetin” toteuttamiseen suurilla matalan kiertoradan satelliittikonstellaatioilla. Satelliiteilla on tärkeä rooli niin redundanttisenä teknologiana kuin kriittisenä osana viranomaistoimintaa, sekä etäisten alueiden ja eri liikennemuotojen tiedonvälitystä.

2.2 Kansainvälinen ja kansallinen avaruuspolitiikka

2.2.1 Kansainvälinen ja Euroopan unionin taso

Kansainvälisen avaruuslainsäädännön ensiaskeleita edustaa ”avaruusajan” alussa vuonna 1967 solmittu avaruusyleissopimus (*The Outer Space Treaty*), jonka mukaisesti avaruus on käytettävissä koko ihmiskunnan yhteiseen rauhanomaiseen käyttöön. Sen olennainen osa on, että sopimusvaltiot ovat vastuussa myös ei-valtiollisesta avaruustoiminnasta ja ovat velvollisia valvomaan myös sitä avaruustoimintaa. Avaruusyleissopimuksen lisäksi YK:n yleiskokouksen alaisessa Avaruuden rauhanomaisen käytön komiteassa (*United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, COPUOS) laadittiin 1970-luvulla täydentäviä valtiosopimuksia avaruuden käytöstä. Avaruussopimusten lisäksi YK:n ei-oikeudellisesti sitovissa päätöslauselmissa ja periaatejulistuksissa linjataan avaruustoiminnan yleisistä periaatteista, eri käytännön sovelluksista, sekä toimintalinjauksista esim. avaruusromun suhteen. COPUOS on ainoa YK:n täysin avaruuteen keskittyvä komitea. Suomi liittyi komitean jäsenmaaksi vuonna 2018. Jäsenmaiden lisäksi COPUOS:n kuuluu tarkkailijajäsenenä koko joukko avaruusalan kansainvälisiä ja kansallisia tieteellisiä ja teknisiä järjestöjä.¹¹

EU:n tasolla avaruushallinto on Euroopan komission käsissä. Vuonna 2007 vahvistetussa ja 2009 voimaan tulleessa EU:n perussopimuksessa ja sen toimeenpanevassa

¹¹ vrt. <https://spacefinland.fi/yk-n-avaruuskomitea-copuos> ja tarkemmin sopimuksista <https://finlex.fi/fi/esitykset/he/2017/20170157.pdf>

sopimuksessa ("Lissabonin sopimuksessa")¹² sovittiin ensimmäisen kerran avaruustoimintaan liittyvistä tehtävistä ja toimivallasta erityisesti EU:n ja sen virastojen sekä Euroopan avaruusjärjestön kesken.¹³

Jäsenmaat kehottivat 2010-luvulla EU:ta ottamaan vahvemmin kantaa avaruustoimintaan, ja sen seurauksena valmisteltiin vuonna 2016 lanseerattu Euroopan unionin avaruusstrategia, joka perustuu aiemman vuoden 2007 Euroopan avaruuspolitiikan viitoittamalle linjalle¹⁴. EU:n avaruusstrategiassa on tunnistettu tämänkin selvityksen ponttimena oleva avaruustoiminnan lisääntyminen ja laajeneminen kaupalliseksi. Samalla siinä on huomioitu, että avaruustoiminta on laajentunut olennaiseksi osaksi EU:n kansalaisten jokapäiväistä elämää. Lisäksi Euroopan pääsy avaruuteen on nostettu strategiassa tärkeäksi tavoitteeksi.

Osana EU:n avaruusstrategian toteutusta, EU on käynnistänyt ensimmäisen EU:n integroidun avaruusohjelma vuosille 2021–2027, jonka osana on perustettu EU:n avaruushallinto ja avaruusohjelmavirasto (*European Union Agency for the Space Programme*, EUSPA) perustamista. Euroopan avaruusohjelman selkärangan muodostavat mainitut Galileo ja EGNOS satelliittipaikannusohjelmat, Copernicus-kaukokartoitusohjelma, avaruustilannekuvaohjelma (*Space Situational Awareness*, SSA) sekä GOVSATCOM valtiollinen/viranomaissatelliittiviestintäohjelma.

Taulukko 2. EU:n avaruusstrategia tiivistettynä

Avaruustoiminnan hyötyjen maksimointi yhteiskunnalle ja Euroopan taloudelle	Globaalisti kilpailukykyinen ja innovatiivinen eurooppalainen avaruussektori	Eurooppalaisen riippumattomuuden vahvistaminen avaruustoiminnassa ja turvallisen avaruustoimintaympäristön varmistaminen
Avaruustoimintaan osallistumiseen ja siinä syntyvän aineiston käyttöön edistämisen	Tutkimuksen, innovaation ja osaamisen kehittäminen	Eurooppalaisen avaruuteen pääsyn ylläpito
EU:n avaruusohjelmien kehittäminen vastaamaan uusiin käyttötarpeisiin	Yrittäjyyden ja liiketoimintamahdollisuuksien edistäminen	Radiotaajuuksien saatavuuden varmistaminen

¹² Treaty of Lisbon amending the Treaty on European Union and the Treaty establishing the European Community (OJ C 306, 17.12.2007); tullut voimaan 1.12.2009

¹³ Artikla 189, Consolidated versions of the Treaty on European Union and the Treaty on the Functioning of the European Union, Official Journal C 326, 26/10/2012 P. 0001 - 0390

¹⁴ Euroopan komissio 2016. Space Strategy for Europe, COM(2016) 705 final

Avaruustoiminnan hyötyjen maksimointi yhteiskunnalle ja Euroopan taloudelle	Globaalesti kilpailukykyinen ja innovatiivinen eurooppalainen avaruussektori	Eurooppalaisen riippumattomuuden vahvistaminen avaruustoiminnassa ja turvallisen avaruustoimintaympäristön varmistaminen
		Eurooppalaisen avaruusinfrastruktuurin turvallisuuden ja jatkuvuuden varmistaminen
		Viranomais- ja siviili/kaupallisen avaruustoiminnan yhteyden kehittäminen
Euroopan globaalin roolin ja kansainvälisen yhteistyön vahvistaminen (poikkileikkaava tavoite)		
Toimenpiteiden vaikuttavan toteutuksen varmistaminen (poikkileikkaava tavoite)		

Historiallisesti merkittävin eurooppalainen avaruustoimija on Euroopan avaruusjärjestö (*European Space Agency, ESA*). ESA on vuonna 1975 perustettu itsenäinen kansainvälinen järjestö, joka toimii jäsenmaidensa rahoituksella. ESA toimii läheisessä yhteistyössä EU:n kanssa¹⁵. ESA:n oman ohjelmatoiminnan ohella komissio on delegoinut unionin avaruushjelman toteutusta sopimuksella ESA:lle.

Yhteenvetona Euroopassa avaruustoiminnan vastuut ja organisointi jakautuvat Euroopan komission ja sen virastojen, avaruusjärjestö ESA:n, sekä vielä erillisen Euroopan sääsatelliittijärjestön (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT*) kesken. Kaikki nämä ovat erillisiä itsenäisiä jäsenmaidensa sopimuksella muodostettuja organisaatioita, joilla on neuvoteltu yhteistyösuhde keskenään.

Tämän selvityksen kannalta relevanttia eurooppalaista avaruustoimintaa ovat erityisesti eurooppalaiset avaruusohjelmat, kuten Euroopan avaruusjärjestön ohjelmat, Euroopan sääsatelliittijärjestön EUMETSAT:n ohjelmat ja Euroopan unionin ”kärkiohjelmat” Copernicus-, Galileo-, EGNOS- ja GOVSATCOM-ohjelmat, sekä EU Secure Connectivity -aloite.

¹⁵ Resolution on the European Space Policy; ESA Director General's Proposal for the European Space Policy, ESA BR-269

2.2.2 Kansallinen taso

Suomen kansallinen laki avaruustoiminnasta astui voimaan 2018 ja sitä sovelletaan Suomen alueella tapahtuvaan avaruustoimintaan, sekä luonnollisiin että oikeushenkilöihin, joilla on Suomen kansalaisuus tai kotipaikka Suomessa. Laki avaruustoiminnasta koskee pääasiassa avaruusesineiden lähettämistä ja operointia, avaruustoiminnan turvallisuutta ja ympäristövaikutusten hallintaa määräämällä avaruustoiminnan luvanvaraisuudesta, ja asettamalla tiettyjä vastuita ja velvoitteita avaruustoimijoille. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) valvoo avaruustoimintalain noudattamista. Puolustushallinnon avaruustoiminnasta ja sen valvonnasta vastaa puolustusministeriö¹⁶.

Kansallinen avaruusstrategia ”Suomi 2025: Maailman houkuttelevin ja ketterin avaruusliiketoimintaympäristö, josta hyötyvät kaikki täällä toimivat yritykset” laadittiin 2018¹⁷. Kansallisen avaruusstrategian jäsentely perustuu teemoihin, joille kullekin on asetettu oma tavoitetila ja toimet (Taulukko 3).

Taulukko 3. Avaruusstrategian teemat

Teemat	Visio	Toimet	Toteuttajat
Markkinoillepääsyn edellytykset	Suomi on houkutteleva toimintaympäristö avaruusalan kehittäjille ja soveltajille. Meillä on mahdollistava lainsäädäntö, kattava toimijakenttä ja helposti lähestyttävät toimijat. Monipuoliseen osaamiseen pohjaavat yrityksemme ovat maailman johtavia avaruusratkaisujen tuottajia ja soveltajia	Pilottihankkeet Mahdollistaminen, verkostojen avaaminen Rahoitus Referenssit Lainsäädäntö	TEM, LVM Business Finland
Tutkimus ja koulutus	Suomessa toimivat yritykset ja tutkimusorganisaatiot uudistavat avaruuden hyödyntämisen toimintatapoja kestäväällä tavalla ja osallistuvat huippuluokan avaruushankkeisiin.	Yhteishankkeet Rahoitus Osaaminen Koulutus Kestävä kehitys	Business Finland LVM, TEM, OKM

¹⁶ Laki avaruustoiminnasta (63/2018) Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180063>

¹⁷ TEM/LVM 2018

Teemat	Visio	Toimet	Toteuttajat
Kansainvälinen vaikuttaminen	Suomessa toimivat yritykset ja tutkimusorganisaatiot ratkaisevat kestäväen kasvun haasteita huippuluokan avaruustoiminnan keinoin läheisessä yhteistyössä kohdemarkkinoiden toimijoiden ja maailman tiedeyhteisön kanssa.	ANK:n toiminnan tehostaminen Kansainvälinen edustus, vaikuttaminen säännöksiin (esim. COPUOUS) Palveluiden ja aineistojen kattavuuden kehittäminen (kansallisesti) Markkinointi ESA:n ja EU:n avaruusohjelmat	LVM, TEM valtioneuvosto

2.3 Suomalainen avaruustoiminta

2.3.1 Keskeiset hallinnon avaruustoimijat ja niiden roolit

Avaruusasiain neuvottelukunta (ANK) kokoaa yhteen kansalliset avaruusasioiden kannalta keskeiset toimijat, jotka edustavat toimialan kannalta tarpeellisia hallinnonaloja, sekä tieteen ja tutkimuksen, teollisuuden ja avaruustoiminnan muiden hyödyntäjien asiantuntemusta. Neuvottelukunta toimii TEM:n yhteydessä ja sen kokoonpanosta ja tehtävistä on säädetty valtioneuvoston asetuksella (739/2019). Neuvottelukunnassa ovat edustettuina hallinnonaloista TEM:n lisäksi ulkoministeriö (UM), puolustusministeriö (PLM), ympäristöministeriö (YM), maa- ja metsätalousministeriö (MMM), liikenne- ja viestintäministeriö (LVM), sisäministeriö (SM), ja opetus- ja kulttuuriministeriö (OKM), sekä lisäksi Ilmatieteen laitos (IL), Business Finland (BF), Suomen Akatemia (AKA), Suomen avaruustutkimuksen COSPAR-kansalliskomitea, sekä Suomen ilmailu- ja puolustusteollisuusyhdistys PIA ry.¹⁸

ANK on keskeinen avaruustoimijoiden yhteyselin, jolla on keskeinen rooli kansallisen avaruusstrategian käytännön toteutuksen ohjauksessa edistämällä ja kehittämällä

¹⁸ TEM, Avaruusasiain neuvottelukunta kokoaa kansalliset toimijat yhteen, <https://tem.fi/avaruus-asiain-neuvottelukunta>

puolustus- ja ilmailualan elinkeinojärjestö Puolustus- ja Ilmailuteollisuus PIA ry:n (*Association of Finnish Defence and Aerospace Industries – AFDA*). Elinkeinoelämän avaruustoimijoita tuovatkin yhteen myös BF:n New Space Economy -ohjelman tilaisuudet, sekä ESA:n *Business Incubation Center* (ESA BIC) eli ESA:n yrityshautomo, joka sijaitsee Aalto-yliopiston yhteydessä. Kuten edellä mainittiin, avaruustoiminnan liiketaloudellinen ulottuvuus on vahvistunut, mistä johtuu, että kaikki määritelmällisesti avaruustoimintaan osallistuvista toimijoista eivät välttämättä miellä itseään avaruustoimijoiksi, varsinkaan sen perinteisessä mielessä.

2.3.2 Yleiskuva suomalaisesta kaupallisesta avaruustoiminnasta

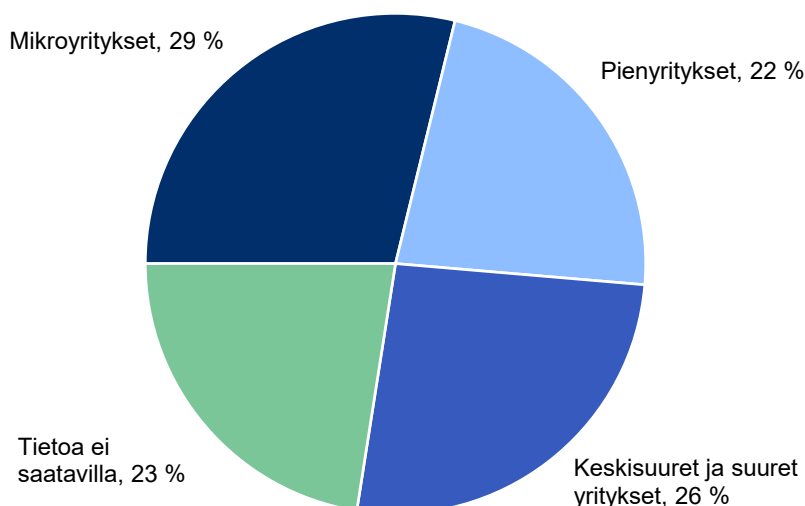
Seuraavassa on esitetty yleiskuva suomalaisesta kaupallisesta avaruustoiminnasta. Tuloksia tulkittaessa tulee huomata, että yritysjoukon määrittely ei ole helppoa ja siihen liittyy useita epävarmuuksia. Näin ollen esitettyjä löydöksiä tulee käsitellä luonteeltaan ennen kaikkea suuntaa antavina.

Kartoituksessa tunnistettiin Suomesta noin sata²² avaruustoimintaan osallistuvaa yritystä. Yritysten haarukointi toteutettiin pääasiassa avaruusteemaa tarkastelleiden aiempien selvitysten ja linjausten sekä erilaisten jäsenyyksien kautta. Lähteenä olivat avaruustoiminnan arviointi 2012, avaruusstrategia 2013–2020 ja avaruusstrategia 2018–2025. Jäsenyyksien osalta tarkasteltiin avaruusasiain neuvottelukunnan jäsenyyksiä, New Space Economy -ohjelmaan osallistuneita yrityksiä sekä Puolustus- ja ilmailuteollisuus PIA ry:n jäsenistöä soveltuvien osien.

Yritysten koko ja sijoittuminen

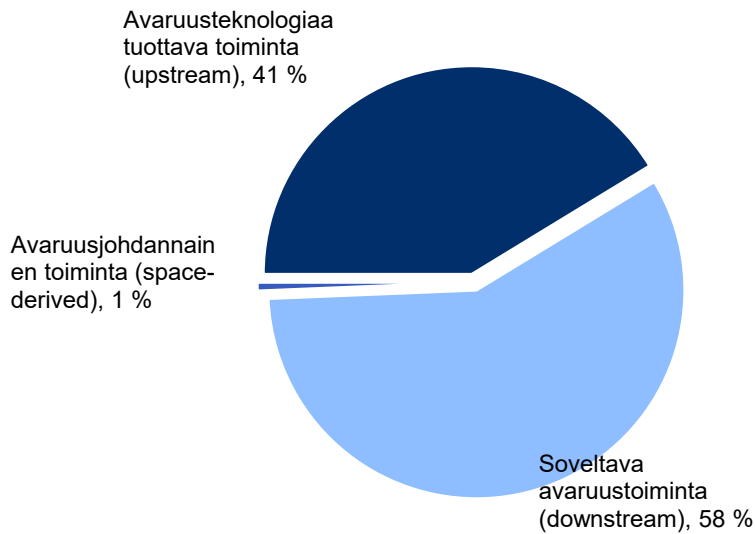
Lähes 80 prosentille tunnistetuista yrityksistä oli määritettävissä kokoluokka. Nämä yritykset jakautuivatkin mikro-, pien- ja keskisuuriin sekä suuriin yrityksiin melko tasaisesti. Yrityksistä 32 kappaletta (29 %) oli alle kahden miljoonan euron liikevaihdon omaavia mikroyrityksiä, siinä missä pieniä, 2–10 miljoonan euron liikevaihdon yrityksiä oli 25 kappaletta (23 %). Keskisuuria ja suuria, yli kymmenen miljoonan euron liikevaihdon operaatioita oli 29 kappaletta, mikä vastasi noin 26 prosenttia tunnistetusta yritysjoukosta.

²² Yhteensä 111 yritystä, joista 92 yrityksen tiedot oli löydettävissä Vainu-yritystietokannasta.



Kuva 3. Tunnistettujen suomalaisten avaruustoimintaan osallistuvien yritysten jakauma yrityskokoon mukaan (kokoluokka määritelty liikevaihdon perusteella).

Analysissa tunnistetut yritykset luokiteltiin manuaalisesti avaruustoiminnan sektoreihin yritysten toimialan ja verkkosivuilla esitetyn palvelukuvauksen mukaisesti. Yritykset jakautuvat varsin tasaisesti avaruusteknologiaa tuottaviin (*upstream*) ja avaruustoimintaa soveltaviin yrityksiin (*downstream*). Yksiselitteistä avaruusjohdannaista liiketoimintaa (*space-derived*) ei joukosta tunnistettu. Maantieteellisesti tarkasteltuna avaruustoimintaan osallistuvat yritykset sijoittuvat kymmeneen eri maakuntaan. Niistä yrityksistä, joille oli määriteltävissä kotipaikka, kaikkiaan 54 prosenttia toimi Uudellamaalla. Toinen keskittymä vaikuttaa sijaitsevan Pirkanmaalla (18 %), muiden maakuntien osuuksien vaihdellen yhden ja kuuden prosentin välillä.



Kuva 4. Tunnistettujen suomalaisten avaruustoimintaan osallistuvien yritysten jakautuminen eri luonteiseen liiketoimintaan

YRITYSESIMERKKI: NOKIA

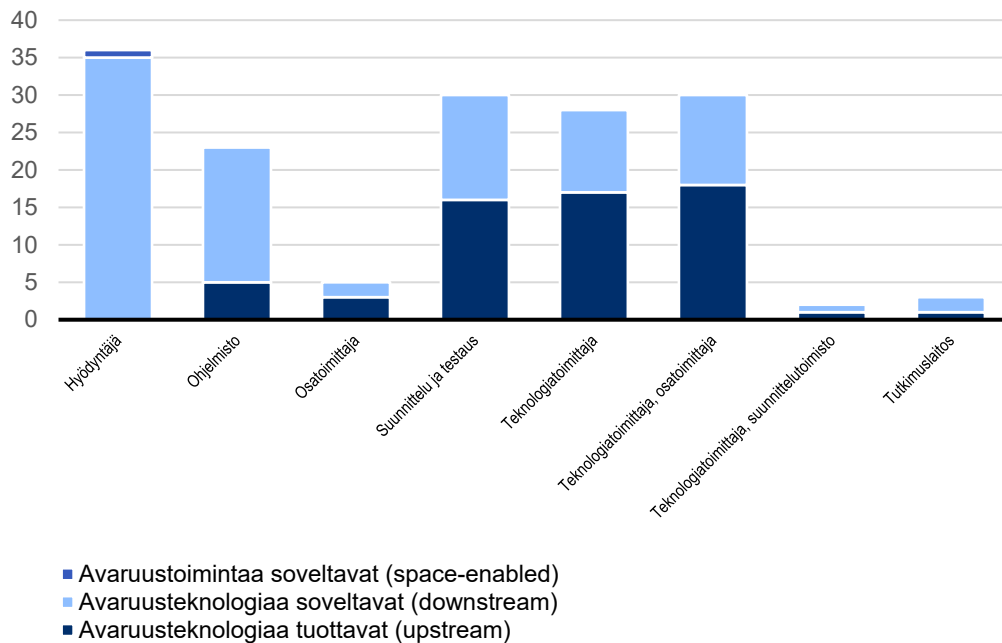
Langaton tietoverkko kuuhun

NASA valitsi 2020 Nokia Bell Labs:n tarjouksen ensimmäisen Kuun pinnalle rakennettavan tietoverkon toteuttamiseksi osana NASA:n ja ESA:n Artemis-ohjelmaa, jonka pitkän ajan tavoitteena on muodostaa pysyvä infrastruktuuri kuun pinnalle.

Nokian osuus ohjelmassa on etäohjauksella kiertoradalta asennettava 4G-verkko, joka mahdollistaa langattoman tiedonsiirron ja puheviestinnän Kuun pinnalla työskenteleville astronauteille. Verkon suunnittelu on aloitettu aikaisemman ohjelman yhteydessä ja prototyyppien testit ovat käynnissä. Verkon asentaminen on ilmoitettu alkavaksi 2022, tavoitteena on, että se on toiminnassa 2024 aikataulutetun seuraavan miehitetyn kuulennon toteutuessa.

Yritysten asemoituminen arvoketjussa ja niiden teknologia-alat

Yritysten määrän kautta tarkasteltuna teknologian kehittämisen (upstream), soveltamisen ja hyödyntämisen (downstream) voidaan sanoa olevan varsin hyvässä tasapainossa. Avaruustoimintaa soveltava ja hyödyntävää liiketoimintaa on erityisesti paikkatietosovelluksissa. Vastaavasti arvoketjussa avaruusteknologiaa kehittävään ja tuottavaan toimintaan kuuluu useita elektromekaniikan suunnittelu-, valmistus- ja testausyrityksiä. Rakennetta liikevaihdon näkökulmasta analysoitaessa ohjelmisto- ja tietoliikenneyritykset nousevat suurimmiksi.



Kuva 5. Yritysten sijoittuminen arvoketjuun

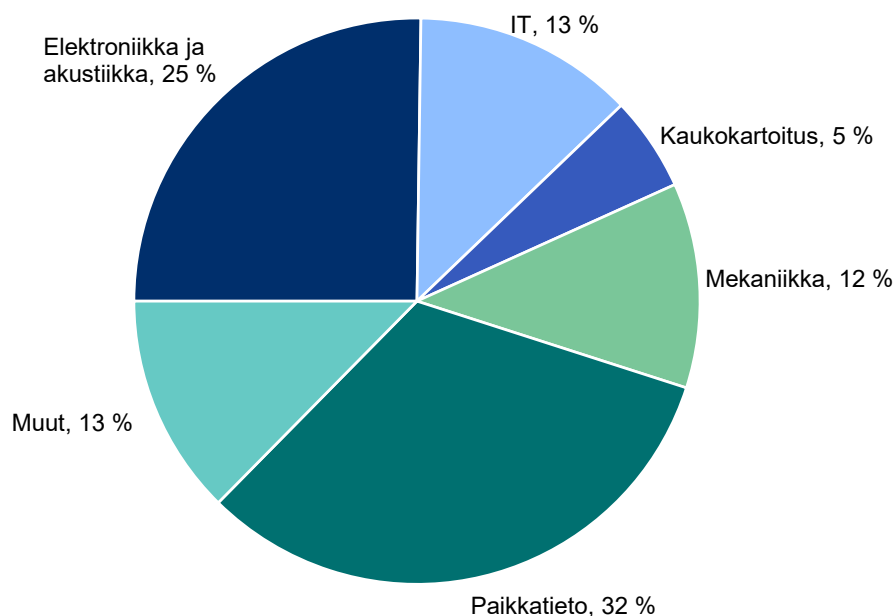
Yritykset myös luokiteltiin verkkosivuilla saatavilla olevien tuote- ja palvelukuvausten perusteella mukaan kuuteen teknologia-alaan. Tällainen luokittelu on luonteeltaan vain suuntaa antava, sillä monissa tapauksissa yritys voi toimia useammalla alueella.

YRITYSESIMERKKI: ARBONAUT**Luonnonvarojen inventointi ja paikkatietoratkaisut**

Arbonaut Oy tarjoaa palveluita luonnonvarojen ja erityisesti metsien inventointiin yhdistelemällä erilaisia kaukokartoitusaineistoja ja mallinnusta, sekä toteuttaa paikkatietojärjestelmiä.

Paikkatietojärjestelmät tarjoavat parempaa tilannetietoa esim. sähkö-, viestintä- ja liikenneverkkojen ylläpitoon ja riskien tai vaarojen tunnistamiseen ja varautumiseen. Ajantasaisen ja päivittyvän tiedon avulla riskit ja vaaratilanteet voidaan tunnistaa ennakoivasti ja palvelukatkojen välttämiseksi voidaan toimia joustavammin ja ennakkoiden.

Analyysin perusteella eniten yrityksiä toimii paikkatiedon parissa. Paikkatietoon foku-soituneet yritykset sisältävät monenlaisia erilaisia yrityksiä start-upeista aina suuryrityksiin. Näiden yritysten tyypillisiä tuotteita ja palveluita ovat kartta- ja GIS-ohjelmistot, mobiilisovellukset sekä tietoliikennepalvelut ja verkkoyhtiöt. Toiseksi suurimpana ryhmänä erottuvat elektroniikkayritykset, jotka keskittyvät pääasiassa ilmais-, sensori- ja tietoliikennetarvikkeiden suunnitteluun ja testaukseen. Mekaniikkayritykset ovat tyypillisesti pk-yrityksiä, kuten insinööritoimistoja sekä pienehköä erikoisvalmistusta. Muut-luokan yrityksiin lukeutui muun muassa kontrollijärjestelmätoimittajia ja säteily- ja simulaatioyrityksiä sekä suunnitteluun ja testaukseen erikoistuneita yrityksiä.



Kuva 6. Avaruustoimintaan osallistuvien suomalaisten yritysten teknologia-alat

Yhteenveto

Tämän analyysin perusteella suomalaisen avaruusliiketoiminnan painopiste vaikuttaa olevan avaruustoiminnan tuottamien palveluiden hyödyntämisessä, erityisesti paikkatietoa käyttävissä sovelluksissa.

Toimijamäärällä mitattuna avaruusteknologiaa tuottavia avaruusteknologiaa tuottavia yrityksiä on kohtuullisen paljon, mutta ne ovat pääosin pieniä toimittajia. Erityisesti suurempien yritysten kohdalla avaruustoiminta ei muodostane niiden pääasiallista erikoistumista. Tähän ryhmään kuuluvat myös monet pitkäaikaiset suomalaiset avaruusteknologian toimijat, kuten usein tässä yhteydessä mainitut Nokia Oyj ja Vaisala Oy, jotka toimittavat verkkoratkaisuja, ilmaisimia ja muuta teknologiaa laajasti teollisuuden, viranomaisille ja myös avaruuteen, tai nykyinen Huld Oy, joka tuottaa turvallisuus ja analytiikkaratkaisuja samoin laajasti eri asiakasryhmille. Samaan aikaan toteutetun selvityksen, jonka aiheena oli ESA:n vapaaehtoiseen E3P-ohjelmaan liittymi-

sen hyödyt, yrityshaastatteluissa tuli esille, että suomalaisyrityksillä, jotka ovat säännöllisesti tehneet laitetoimituksia myös avaruustoimintaan, avaruus näyttäytyy melko pienenä osana liiketoimintaa ja eikä se ole strateginen painopiste.²³

YRITYSESIMERKKI: ICEYE JA KUVA SPACE

Suomalaisen piensatelliittitoiminnan edelläkävijät

ICEYE Oy on suomalainen start-up yritys, joka on perustettu kehittämään synteesiapertuuritutkasatelliitteja (*synthetic aperture radar, SAR*, suuren laskennallisen antennin tutka). ICEYE Oy on laukaissut avaruuteen 14 tutkasatelliittia matalalle 560–580 kilometrin kiertoradalle ja tavoitteena on vuonna 2022 laajentaa järjestelmä 18 satelliittiin.

Tutkasatelliitit mahdollistavat ympärivuorokautisen maan pinnan kuvaamisen riippumatta pilvipeitteessä tai päivänvalosta. ICEYE Oy:n tarjoamia jatkuvan valvonnan palveluita hyödynnetään mm. meriliikenteen ohjauksessa, tulvien tarkkailussa ja kartoituksissa ja tulvatuhojen arvioinnissa.

Kuva Space Oy (entinen Reaktor Space Lab) puolestaan kehittää spektrikuvaussatelliitteja ja niitä hyödyntäviä laskennallisia menetelmiä erityisesti maatalouden ja ruuantuotannon sekä metsävarojen arvioinnin ja hiilensidonnin arvioinnin tarpeisiin.

Hyperspektrikamerat tallentavat näkyvän valon ja muun heijastuneen sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuden kuvia kapeissa aallonpituuskaistoissa. Spektrikuvat antavat yhdistettynä kasvu- ja hiilimallinnukseen tietoa esimerkiksi kasvuun kunnosta ja viljelykasvien tai metsän terveydestä, biomassan määrästä ja sitoutuneen hiilen määrästä, kastelun tai lannoituksen tarpeesta, ja tuleentumisesta.

²³ TEM/KPMG, 2021 Suomen osallistuminen Euroopan avaruusjärjestön miehitettyjen avaruuslentojen ja avaruuden tutkimuksen ohjelmaan – selvitys taloudellisista ja yhteiskunnallisista hyödyistä

Suomalaiset avaruusliiketoiminnalliset viimeaikaiset esiin nousseet menestykset ovat yksittäisiä toimijoita, jotka ovat menneet mukaan kansainväliseen liiketoimintaan pääasiassa omalähtöisesti (vrt. yo. yritysesimerkki). Kokonaisuutena, Suomessa ja suomalaisissa yrityksissä on hyödynnettävää avaruustoimintaa liittyvää osaamista, mutta nykyisellään avaruustoimintaa näyttäytyy suhteellisten pienten ja erikoistuneiden toimijoiden kenttänä.

3 Avaruustoiminnan hyödyntäminen eri hallinnonaloilla

Tässä luvussa tarkastellaan avaruustoiminnan soveltamisen ja hyödyntämisen nykytilaa eri hallinnonaloilla. Luvussa esitetään kootusti kokonaiskuva hallinnon avaruustoiminnasta, sekä tapaustutkimuksia konkreettisoimaan avaruustoiminnan sovelluksia ja vaikutuksia hallinnon toimintaan. Luku vastaa osaltaan selvityskysymyksiin 1–3.

3.1 Yleiskuva avaruustoiminnan hyödyntämisestä hallinnossa

Kokonaisuudessa nykyisistä avaruustoiminnan osa-alueista erottuvat kaksi, jotka ovat selvästi muita enemmän valtavirtaa (vrt. myös tapaukset luvussa 3.2.): ensimmäinen on satelliittinavigointijärjestelmät sekä näihin kiinteästi liittyvä aikaisignaali. Toinen on kaukokartoitus, joka sisältää käytännön sovellukset kuten sääennusteissa käytettävät satelliittikuvat, ympäristön seurannassa, ilmaston- ja metsäntutkimuksessa, luonnonvarojen kartoituksessa ja satoseurannoissa käytettävät satelliittikuvat ja muut sovellukset. Vastaavasti turvallisuusviranomaisten toiminnassa satelliittiviestintä ja erityisesti GOVSATCOM-hanke ja Galileon turvallinen PRS-paikkatietosignaali näyttävät tärkeinä käynnissä olevina kehityskohteina.

Avaruustoiminnan resurssit vaihtelevat suuresti hallinnonalojen välillä, kuten selviää liitteeseen 1 kootuista tiedoista. Haastattelujen perusteella ministeriöissä avaruushallintoon ja koordinointiin osallistuu lähinnä yksittäisiä viranhaltijoita tai pieniä ryhmiä pääsääntöisesti oman toimen ohella. Poikkeuksen muodostaa TEM, jossa on koordinoitiroolin myötä useamman henkilön avaruustiimi. Perustuen saatuihin tietoihin, arvioidaan, että valtioneuvostossa eli yhteensä ministeriöissä avaruushallintoon ja koordinointiin on resursoitu suuruusluokaltaan noin 10–20 henkilötyövuotta, joka jakautuu alle 50 henkilön kesken.

Virastoissa ja sektoritutkimuslaitoksissa avaruushallinnon ja avaruustoiminnan resurssit ja laajuus tai volyyymi on suurempi. Suurimmissa virastojen yksiköissä avaruustoiminnan palveluiden tai aineiston hyödyntäjänä ja/tai tutkimuksessa ja kehittämisessä työskentelee suoraan ja välillisesti jopa 150 henkilöä yhdessä yksikössä, ja taas toisissa muutama henkilö.

Avaruustoiminnan koko laajuuden arviointiin liittyy rajoituksia; alkaen siitä mitä eri hallinnonaloilla mielletään avaruustoiminnaksi ja on ilmoitettu haastatteluissa ja dokumenteissa, päättyen siihen, että onko hankkeessa tavoitettu kaikki avaruustoimijat. Haastattelujen ja muiden saatujen tietojen perusteella voidaan arvioida, että hallinnon avaruustoiminnan ytimen muodostavat suuruusluokkana noin 500 (–1000) tutkijaa ja viranhaltijaa, n. 350–500 HTV kokonaispanoksella.

3.2 Tapaustutkimukset hallinnonaloilla

Seuraavassa kuvataan joukko tapauksia, jotka kuvittavat konkreettisesti avaruustoiminnan hyödyntämistä. Kuvauksen kohteeksi on tarkoituksella valittu erityyppisiä tapauksia eri hallinnonaloilta, tarkoituksena hahmottaa miten avaruustoiminta liittyy erilaisiin yhteiskunnan toimintoihin.

Tapaustutkimusten otsikot ja havainnot on tiivistetty seuraavassa taulukossa. Seuraavissa alaluvuissa esitettyjen kuvausten rakenne alkaa taustan kuvauksesta, siirtyä avaruustoiminnan sovellusten erittelyyn otsikon alalla ja päättyä yhteenvedoon.

Taulukko 4. Yhteenvedo hallinnon avaruustoiminnan tapauksista

Tapausesimerkin nimi	Miten avaruustoimintaa sovelletaan tapauksessa	Mikä on avaruustoiminnan lisäarvo	Mikä on avaruustoiminnan vaikutus?
Satelliittipaikannuksen hyödyntäminen liikennesektorilla	Liikennejärjestelmän, -automaation ja liikkuuspalveluiden (MaaS-palvelut) ja niiden edellytysten kehittäminen	Liikennejärjestelmien ja niiden automatisaation kehittäminen parantaa liikenteen tehokkuutta, ennustettavuutta, taloudellisuutta, ja turvallisuutta, sekä näin kokonaisuutena parantaa myös kestävyttä.	Ilman jo käytössä olevaa paikatietoa ja muuta avaruustoimintaa olemassa oleva liikennejärjestelmä todennäköisesti heikkenisi; matka-ajat ja toimitusvarmuus heikkenisi, ruuhkat lisääntyisivät jne. Avaruustoiminnan nettovaikutus näkyy laajana tuottavuuden parantumisena.
Paikannusjärjestelmien tuottaman tarkan aikasignaalin hyödyntäminen	Paikannusjärjestelmien tuottamaa tarkkaa aikasignaalia käytetään kaikkialla finanssimarkkinoilla, kaupassa, logistii-	Aikasignaali ja siihen perustuvat aikaleimat parantavat sähköisen kaupan ja sähköisten sopimusten luotettavuutta ja	Aikaleimaamiseen ja synkronointiin on olemassa muitakin teknologioita, mutta ne ovat kalliimpia, hitaampia ja/tai epävarmempia kuin lähes kaikkialla saatavilla oleva korkealaatuinen satelliittisignaali. Ilman luotettua

Tapausesimerkin nimi	Miten avaruustoimintaa sovelletaan tapauksessa	Mikä on avaruustoiminnan lisäarvo	Mikä on avaruustoiminnan vaikutus?
	kassa, energiansiirrossa tapahtumien todentamiseen ja järjestelmien synkronointiin	erilaisten reaali prosessien luotettavuutta ja tehokkuutta.	aikaleimaa ja synkronointipalveluita sopimusten tekeminen olisi riskisempää ja sopimusten valvontaa vaikeampaa, ja lisäksi erilaisten reaali prosessien luotettavuus, tehokkuus ja tuottavuus kärsisi.
Kaukokartoitus peltoviljelyn satoarvioinnissa ja tuottavuuden parantamisessa	Kaukokartoituksen tuottamien aineistojen yhdistely maanpäällisen havaintoverkon havaintoihin ja kasvumallinnukseen auttaa kohdistamaan toimenpiteitä	Kaukokartoituksen hyödyntäminen edistää ns. täsmäviljelyä, ja siis auttaa parantamaan satoisuutta paremmin räätälöidyllä kasvinhoidolla, ja näin auttaa vähentämään myös lannoite- ja kasvin suojeleaineiden kuormitusta ympäristölle.	Parempi tuottavuus hyödyttäisi sekä viljelijöitä, että kuluttajia, ja parantaisi omavaraisuutta/ huoltovarmuutta.
Avaruustoiminta pelastustoimen osana	Pelastustoimessa sovelletaan monipuolisesti kaukokartoitusta, paikkatietoa ja tiedonsiirtoa	Avaruustoiminta mahdollistaa ennaltaehkäisevää työtä ja varautumista, ja tehostaa sekä tekee pelastustyötä turvallisemmaksi.	Ilman avaruustoiminnan hyödyntämistä pelastustoimi olisi reaktiivisempaa, vasteaika olisi pidempi, työ olisi vaarallisempaa ja tehtävien onnistuminen epävarmempaa.
Ilmastonmuutoksen seuranta ja ihmisen toiminnan vaikutusten arviointi avaruustoiminnan avulla	Kaukokartoitus tuottaa jatkuvasti aikasarja-aineistoa maapallon tilasta, ilmakehän, vesistöjen, ja maa-alueiden tilasta	Avaruustoiminta mahdollistaa kattavien vertailukelpoisten ja luotettavien aikasarjojen tuottamisen ympäri maailmaa eri luonnonilmiöistä.	Ilmaston ja maapallon tutkimus olisi kalliimpaa, hitaampaa ja perustuisi epävarmempaan aineistoon, jos jouduttaisiin toimimaan maanpäällisen näytteenotto- ja mittausverkoston varassa
Avaruustoiminta kokonaisturvallisuudessa	Kokonaisturvallisuudessa hyödynnetään myös paikkatietoa, navigointia, kaukokartoitusta ja tietoliikennettä tietojen hankkimiseen ja tilannekuvan ylläpitämiseen	Kaukokartoitus, paikkatieto, tietoliikenne yhdessä mahdollista paremman tilannekuvan, sen ylläpitämisen ja turvallisuusviranomaisten tehokkaan ja vaikuttavan toiminnan	Tilannekuva ja johtamisjärjestelmän toiminta sekä sujuva tiedonkulku ovat ensiarvoisen tärkeitä viranomaisten suorituskyvyille, ja avaruustoiminnalla on olennaista lisäarvoa näihin

3.2.1 Satelliittipaikannuksen hyödyntäminen liikennesektorilla

Tausta ja konteksti

Tässä tapauskuvauksessa tarkastellaan satelliittipaikannuksen soveltamista liikennesektorilla. Tietoliikenne- ja paikkatietotekniikan yhdistelmien soveltamista henkilö- ja tavaraliikenteessä käytetään termiä **liikennetelematiikka** (*ITS, Intelligent Transportation Systems and Services*). Nykyisin tosin myös puhutaan tyypillisesti laajemmin **älykkään liikenteen** menetelmistä ja palveluista, joiden avulla pyritään muun muassa parantamaan liikenneturvallisuutta, tehostamaan liikenneinfrastruktuurin käyttöä ja/tai vähentämään liikenteestä aiheutuvia päästöjä.

Suomessa on pitkä historia älykkään liikenteen ja liikennetelematiikan kehityksessä. Ensimmäinen älykkään liikenteen strategia julkaistiin vuonna 2004. Strategian tavoitteena oli varmistaa turvallinen, tehokas, asiakaslähtöinen ja ympäristöystävällinen liikennejärjestelmä älykkään liikenteen (liikennetelematiikan) menetelmiä hyödyntämällä.²⁴ Sen jälkeen valtioneuvoston tasolla liikenne on ollut perättäisten hallitusten ohjelmassa ja valtioneuvosto on käynnistänyt ohjelmatoimintaa liikenteen ja infrastruktuurin digitalisaation edistämiseksi.²⁵

Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelmassa yhtenä liikenneverkon kehittämiseen liittyvänä tavoitteena on toimiva liikenteen infrastruktuuri. Tavoitteena on, että ”Suomen infraverkko maalla, merellä, sisävesillä ja lentoliikenteessä rakentuu ja tukee tasapainoisesti koko maan huoltovarmaa, kilpailu- ja uusiutumiskykyistä, resurssiviihastaa ja kokonaisvaltaisesti kestävää kehitystä.” Toimenpiteenä mainitaan mm. että ”liikenteen digitalisaation, palveluistumisen ja yhteiskäytön mahdollisuudet käytetään täysimittaisesti järjestelmän kehittämiseksi, päästöjen vähentämiseksi ja saavutettavuuden parantamiseksi”. Toisena tavoitteena mainitaan ”vähäpäästöinen liikenne”,

²⁴ LVM (2004) Intelligent transport systems and services. Finnish strategy. Ministry of Transport and Communications Programmes and Strategies 5/2004.

²⁵ Esim. Liikennepoliittinen selonteko 2008, Kansallinen älyliikenteen strategia 2009, liikenteen automaation ja robotiikan kehittämistoimenpiteiden tiekartta 2017, liikennealan kansallinen kasvuo-ohjelma vuosille 2018–2022, Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa -toimenpideohjelmassa 2017.

jonka osalta yhtenä toimenpiteenä on mainittu, että ”hallitus edistää liikenteen ja logistiikan digitalisoitumista ja automatisaatiota kohdentamalla rahoitusta kokeiluille ja vaikuttamalla alan EU- ja kansainväliseen sääntelyyn.”²⁶

Hallitusohjelman tavoitteiden pohjalta on sittemmin laadittu liikenteen kehittämiseksi useita politiikkaohjelmia, joille on yhteistä, että digitalisaatio ja liikenteeseen liittyvä tieto ovat keskeisiä liikenteen ja liikkumisen tehokkuuden, turvallisuuden ja kokonaisuutena kestävyuden kehittämisessä.²⁷ Suoraan avaruustoimintaa koskevassa, marraskuussa 2021 päivitetystä, **Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa -toimenpideohjelmassa (2021–2025)** on esitetty useita avaruustoimintaan liittyviä toimenpiteitä. Liikennesektorin osalta merkittävimpiä ovat mm. liikenteen automaation kehityksen tukeminen (valtioneuvoston periaatepäätöksen ja LVM:n liikenteen automaation lainsäädäntö- ja avaintoimenpidesuunnitelman toimenpiteet, ks. alla), merenkululle suunnattujen GNSS- ja EGNOS-palveluiden kehittämisen edistäminen, GNSS-palveluiden hyödyntäminen kansallisessa lennonvarmistuksessa, kansallisen matalalentoverkoston valmistelu, sekä GNSS-tekniologian pilotointi Digirata-hankkeessa.²⁸

Satelliittinavigoinnin hyödyntäminen liikennesektorilla

Avaruustoiminta liittyy laajempaan liikenteen ja digitalisaation kokonaisuuteen. Liikenteen kannalta keskeisin avaruustoiminnan osa-alue on satelliittipaikannus, jota hyödynnetään liikennesektorilla hyvin monin eri tavoin.

Suomi on ollut yksi Euroopan edelläkävijöitä ilmailun satelliittinavigoinnin käyttöönotossa. Satelliittinavigoinnin mahdollistavat lentomenetelmät ovat jo käytössä kaikilla Suomen lentoasemilla ja valtaosa mittarilennoista Suomessa lennetään ilma-

²⁶ Hallitusohjelma s. 111–117.

²⁷ LVM (2021a) Fossiilittoman liikenteen tiekartta: Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163258>; LVM (2020) Logistiikan digitalisaatiostrategia. Kohti tehokasta ja kestävää logistiikkaa digitalisaatiolla. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:13. LVM (2021b) Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä Digirata-valmisteluvaiheen loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:17; Valtioneuvoston periaatepäätös meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163290> Digi-ilmailun työryhmän raportti 5.10.2020. LVM (2021a) Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa. Toimenpideohjelma 2021–2025. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 27/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163609> Valtioneuvoston periaatepäätös liikenteen automaation edistämisestä. Valtioneuvoston periaatepäätös LVM/2021/137. <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f80772030>

²⁸ LVM 2020 Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä : Digirata-selvityksen loppuraportti, LVM:n julkaisuja 2020:6

aluksilla, joissa on GNSS-vastaanotin. Nämä ovat osaltaan mahdollistaneet ilma-alusten vapaan reitityksen toimintamallin, sekä ympäristöystävälliset jatkuvan nousun ja liu'un menetelmät. Satelliittipaikannusta on hyödynnetty pisimpään lentoliikenteen valvonnan ohella laivojen navigoinnissa. Navigoinnin lisäksi reaaliaikaista paikannustietoa käytetään mm. liikennevirtojen ja yksittäisten alusten reittien optimointiin.

Tieliikenteessä on niin ikään jo käytössä useita satelliittipaikannukseen perustuvia sovelluksia. Yleisin sovelluskohde on laajasti sekä ammattilaisten, viranomaisten että yksityishenkilöiden käytössä olevat reittinavigointipalvelut. Lisäksi useissa maissa käytössä olevat tienkäyttömaksut, ajopiirturit ja pysäköintipalvelut sekä erilaiset joukkoliikenteen ja matkaketjujen palvelut hyödyntävät satelliittipaikannusta.

Raideliikenteen tapauksessa varsinainen kulunvalvonta ja ohjaus on toteutettu maanpäällisillä verkoilla, mutta Euroopassa on tällä hetkellä käynnissä voimakas muutos rautatieliikenteen järjestelmien uudistamiseksi hyödyntämään satelliittipaikannusta.²⁹ Satelliittipaikannuksen avulla pyritään parantamaan myös liikennemuotojen yhteistointia ja esim. tasoristeysten turvallisuutta.³⁰

Navigoinnin ohella satelliittipaikannuksen tuottamaa reaaliaikaista paikkatietoa hyödynnetään eri liikennemuotojen yhteydessä kuljetus- ja liittisuunnitelmien sekä kaluston käytön ja ylläpidon optimointiin. Suuressa mittakaavassa logistiikan optimointi voi paitsi tuoda kustannussäästöjä suoraan ja välillisesti lyhentämällä ajomatkoja ja aikoja, nopeuttamalla lastin kulkua ja vähentämällä varastointitarvetta, ja samalla myös auttaa vähentämään päästöjä järjestelmän tasolla tai parantamaan esim. vaarallisten aineiden tai arvokuljetusten turvallisuutta. Esimerkiksi metsäteollisuuden raakapuukuljetusten ja polttoainekuljetusten suunnittelu perustuu jo tällä hetkellä pitkälti satelliittipaikannukseen. Satelliittipaikannukseen perustuvaa tietoa hyödynnetään myös satamien liikenteen ja logistiikan sujuvoittamisessa. Reaaliaikainen seuranta mahdollistaa myös asiakkaille tilausten seurannan ja sitä kautta edesauttaa asiakaslähtöisempien logistiikkapalveluiden kehittämistä.³¹

Liikennejärjestelmän ja infran kehittämisessä paikannuksen tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi teiden kunnossapitotarpeiden tunnistamisessa, tieolosuhteiden

²⁹ LVM 2021a.

³⁰ Satelliittipaikannuksen hyödyntäminen tasoristeysturvallisuuden parantamisessa. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/its_2018-34_satelliittipaikannuksen_hyodyntaminen_web.pdf

³¹ LVM satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/160397>; Logistiikan digitalisaation ilmastovaikutukset. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162319>

tarkkailussa, karttatietojen päivittämisessä ja väylien kehittämisessä.³² Tällä hetkellä on käynnissä monikansallinen ESRIUM-projekti³³, jonka tavoitteena on luoda palvelu vihreämmän ja älykkäämmän tienkäytön, teiden kunnossapidon ja liikenneturvallisuu- den parantamiseksi. Projektien keskiössä on muodostaa tarkka ja ajantasainen satelliittipaikannukseen perustuva digitaal kartta tienpinnan vaurioista ja teiden kulumi- sesta. Tarkoituksena on, että kartan avulla tienhoitajat voivat vähentää tien kunnossa- pitotoimia optimaalisella suunnittelulla, vähentää tien kulumista ja lisätä erityisesti ras- kaiden ajoneuvojen liikenneturvallisuutta.³⁴ Paikannustietoja hyödynnetään myös ra- dantarkastuksessa, ratojen tietojen ylläpidossa ja kulunvalvonnassa.

Satelliittipaikannus on keskeinen mahdollistaja myös liikenteen palveluille, kuten ti- lausliikenteelle tai liikkuminen palveluna (*Mobility as a Service, MaaS*)-konseptille, jossa julkiset ja yksityiset liikennepalvelut (esim. joukkoliikenne, auton vuokraus/jaka- minen, taksi- palvelut) on koottu yhdeksi palvelukokonaisuudeksi.³⁵ Kuluttajat voivat valita kokonaisuudesta yhdellä maksulla ja käyttöliittymällä (esim. mobiilisovelluksen kautta) haluamansa ja tarvitsemansa palvelut sen sijaan, että joutuisivat ostamaan jo- kaiseen kulkumuotoon erilliset liput. Kyse on uudeltaisesta lähestymistavasta liikku- miseen, jonka ytimessä on siirtyminen liikennevälinekohtaisesta ja henkilökohtaiseen omistamiseen perustuvasta järjestelmästä kokonaisvaltaiseen ja ihmisten liikkumistar- peisiin perustuvaan järjestelmään, mikä samalla mahdollistaa uudeltaisia (kestäväm- piä ja vähäpäästöisempiä) toimintamalleja.³⁶ MaaS-konseptia pidetään yleisesti suo- malaisena innovaationa ja Suomi onkin maine MaaSin yhtenä edelläkävijämaana.³⁷,

Eri liikennemuotoja yhdistää avaruustoiminnan soveltamisen suhteen autonomisen lii- kenteen kehittyminen sekä liikennejärjestelmän älykkäiden aspektien kehittäminen, jotka ovat järjestelmän tasolla hyvin saman tyyppisiä. Liikenteen automaatiolla tarkoi- tetaan laajasti liikenteessä käytettäviä erilaisia järjestelmiä. Kyse ei siis ole vain esi- merkiksi autopilotilla liikkuvista autoista, aluksista tai lentokoneista, vaan siihen sisäl- tyy myös mm. kuljettajaa avustavia järjestelmiä. Tarkka paikanmääritys voidaan nähdä jopa perusehtona koko automaattisen liikenteen kehittämiselle. Automaattisen liikenteen sovelluksissa paikanmääritys perustuu absoluuttiseen paikanmäärityksen ja

³² <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematieto/satelliittipaikannus>

³³ Ks. <https://esrium.eu/>

³⁴ <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/egnssn-mahdollistama-alykas-tieinfrastruktuurin-kaytto-ja-yllapito-energiatehokkuuden-ja>

³⁵ LVM 2017a: LVM 2021b.

³⁶ Ks. esim. MaaS Alliance. What is MaaS? <https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/>

³⁷ TEM (2017) Liikennealan kansallinen kasvuo-ohjelma 2018-2022. Työ- ja elinkeinoministeriön jul- kaisuja 15/2017. van Audenhove, F. et al. (2020) The Future of Mobility post-COVID. Arthur D. Little, July 2020. <https://www.adlittle.com/en/insights/report/future-mobility-post-covid>

suhteelliseen (muihin liikennevälineisiin ja erilaisiin esteisiin nähden) paikanmäärityksen yhdistelmään. Tulevaisuudessa GNSS-paikannus on keskeisessä asemassa autonomisen liikenteen sovelluksissa, ja samalla vaatimukset tai odotukset paikannuksen tarkkuudelle ja luotettavuudelle kasvavat.³⁸

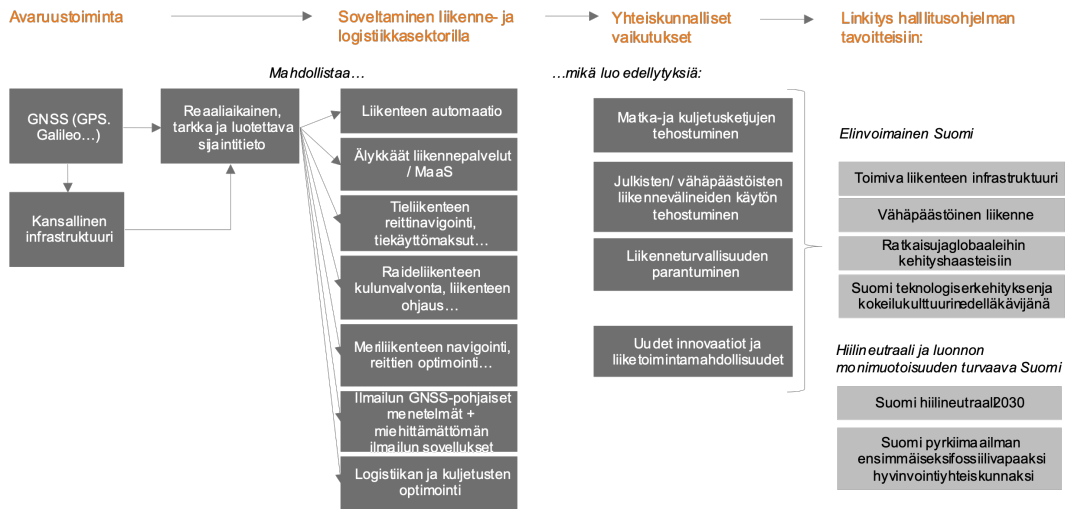
Yhteenveto

GNSS-pohjaisen satelliittipaikannuksen merkitys liikennesektorilla on jo tällä hetkellä hyvin keskeinen, jopa kriittinen. Vaikka ainakin vielä GNSS-järjestelmille on olemassa varajärjestelmiä, ilman satelliittien kautta saatavaa aika- ja paikkasignaalia yksittäisen käyttäjän kannalta perille pääsy ja suunnistaminen vaikeutuisi, mikä osaltaan johtaisi liikennejärjestelmän ruuhkautumiseen. Tämä puolestaan heijastuisi myös laajemmin yhteiskunnan toimintaan. Satelliittisignaalien häiriöihin ja/tai tahalliseen häirintään varautuminen onkin tärkeä osa kansallista huoltovarmuus- ja turvallisuuspolitiikkaa. Galileo-järjestelmässä häiriötilanteisiin on pyritty varautumaan mm. siten, että järjestelmä toimii kahdella eri taajuudella ja erityisesti viranomaiskäyttöön ollaan ottamassa varmennettu paikannussignaali (vrt. Galileo PRS edellä).

Tulevaisuudessa satelliittipaikannuksen rooli kasvaa entisestään sen ollessa keskeinen mahdollistaja muun muassa liikenteen automatisaation, liikenteen palveluiden ja logistiikan tehostamisen kehityksessä. Satelliittipaikannukseen pohjautuvien uusien teknologioiden ja innovaatioiden kautta voidaan parhaimmillaan saada aikaan merkittäviä vaikutuksia niin liikenteen turvallisuuteen, matkaketjujen ja logistiikan tehostumiseen kuin liikennepäästöjen vähentämiseen. Samalla se tarjoaa huomattavia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille. Vaikutusten todentamiseksi ja arvioimiseksi tarvitaan kuitenkin lisää tutkittua tietoa.

Oheisessa kuviossa on havainnollistettu satelliittipaikannuksen hyödyntämistä ja yhteyksiä hallitusohjelman tavoitteisiin.

³⁸ LVM 2017a ; LVM 2021b.



Kuva 7. Avaruustoiminnan vaikutuspolku liikennesektorilla ja yhteys hallitusohjelman tavoitteisiin

3.2.2 Paikannusjärjestelmien tuottaman tarkan aikasignaalin hyödyntäminen

Tausta ja konteksti

Ajoitus ja synkronointi ovat välttämättömiä yhä digitaalisemmassa, verkottuneessa maailmassa. Tarkka aika ja aikaleimaus mahdollistavat keskeiset digitaaliset infrastruktuurit, kuten datakeskukset, langallisen ja langattoman viestinnän, pörssit, teollisuusverkot, älykkään sähköverkon ja muun suojatun viestinnän. Esimerkiksi langattomat verkot luottavat erittäin tarkkaan ajoitukseen ja synkronointiin, jotta verkosta päivittäin kulkeva ääni-, video- ja mobiilidata siirtyy sujuvasti solusta soluun. Tarkka ajoitus on kriittistä finanssiverkostoille, jotka käsittelevät miljardeja euroja päivittäin.

Aikaleimalla tarkoitetaan sellaista tapahtuman (digitaaliseen) tositteseen (tai sen metatietoihin) tallennettua merkintää, joka todistaa tapahtuman tarkan ajankohdan.

Luotettua aikaleimaa ei pysty muuttamaan sen jälkeen, kun se on annettu. Aikaleimojen hyväksyntä noudattaa Euroopan komission asetuksia³⁹ ja hyväksytyillä sähköisillä aikaleimoilla on juridinen asema. Kyberturvallisuuden aikakaudella niiden merkitys **luottamuspalveluna** on kasvanut.

”Perinteinen” aikaleimaus perustuu koordinoituun yleisaikaan (*Coordinated Universal Time*, UTC). Mittanormaallilaitokset ja ajoituslaboratoriot tuottavat koordinoitua yleisaikaa yhteiskunnan käyttöön. Valtioiden virallinen aika pohjautuu yleensä kansallisen mittanormaallilaitoksen tuottamaan UTC-aikaan, jonka toteuttaja Suomessa on Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (entinen Mittatekniikan keskus). Järjestelmien synkronoinnin lähteenä onkin käytännössä järkevä käyttää koordinoitua maailmanaikaa, sillä sen ylläpitoon osallistuu 72 kansallista metrologialaitosta ja aikalaboratoriota.

Satelliittipaikannus perustuu tarkkaan ajanmääritykseen, kuten luvussa 2 kuvattiin. GNSS-järjestelmän satelliittien lähettämä signaali pitää sisällään lähettävän satelliitin sijainnin kiertoradalla ja lähetyksen tarkan kellonajan. Näistä eurooppalainen Galileo on yleisesti ottaen sekä sijainnin että ajan (virhe <15 ns) suhteen tarkin järjestelmä.⁴⁰ GNSS-satelliittien radiolähete tarjoaa vaihtoehdoisen edullisen tavan saada laadukas ja tarkka aikaleima lähes joka puolella maailmaa suhteellisen halvalla radiolähettimellä ja ohjelmistolisäosalla.

GNSS-ajan ja synkronisoinnin sovelluskohteet

Koska GNSS-paikannusjärjestelmät tarjoavat luotettavan, edullisen ja globaalisti kattavan mekanismin ajan määrittämiseksi lähes atomikellon tarkkuudella, ne avaavat monia uusia ja tarpeellisia sovellusmahdollisuuksia digitalisaation aikakaudella. Satelliiteista saatavaa synkronoitua aikasignaalia hyödynnetään erityisesti kohteissa, joissa edellytetään mikrosekuntiluokan ajoituksen tarkkuutta ja luotettavuutta sekä usein myös ajankohdan todennettavuutta ja jäljitettävyyttä (aikaleimaus). Tällaisia ovat mm. tietoliikenne- ja sähköverkkojen mittaaminen ja kontrollointi, sähköinen kaupankäynti sekä digitaalisten TV- ja radiolähetysten ja tutkajärjestelmien synkronoinnit. Kaikkein suurinta tarkkuutta tarvitaan tieteellisissä sovelluksissa, joissa pyritään nanosekuntiluokan tarkkuuksiin.

Monissa digitaalisissa verkoissa ja järjestelmissä toimilaitteiden tahdistus tai aikasykronointi on myös yhteiskunnan huoltovarmuuden kannalta kriittistä, kuten esimerkiksi

³⁹ eIDAS - Regulation (EU) No 910/2014 of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 on electronic identification and trust services for electronic transactions in the internal market and repealing Directive 1999/93/EC.

⁴⁰ Nanosekuntin tarkkuus signaalin ajassa vastaa etäisyydessä runsaat 30 cm, mikrosekunti 300 m ja millisekunti vastaavasti 300 km.

energian tuotanto-, siirto- ja jakelujärjestelmissä, tieto- ja viestintäjärjestelmissä, -verkoissa ja -palveluissa, finanssialan palveluissa, liikenteessä ja logistiikassa, vesihuollossa, infrastruktuurin rakentamisessa ja kunnossapidossa, elintarvikehuollossa, terveydenhuollossa ja teollisuudessa. Seuraavassa on kuvattu joitakin satelliittipaikannuksen mahdollistaman aikasynkronoinnin sovelluskohteita.

Erilaiset tietoliikennesovellukset ovat GNSS-aikasignaalin ylivoimaisesti suurin hyödyntämiskohde (yli 90 % GNSS-laitetoimituksista). Muiden muassa langattoman verkon yli tapahtuva reaaliaikainen videoliikenne edellyttää nopeaa ja luotettavaa tietoliikenneinfrastruktuuria, joissa tarkan aikaleimauksen ja synkronoinnin merkitys on olennainen. Uusissa 5G-verkoissa käytetään häiriöiden poistotekniikoita, aiempaa tiheämpää tukiasemaverkkoa, sekä moniantennitekniikkaa, joissa kaikissa tarvitaan hyvin tarkkoja ajan synkronointimenetelmiä. Lähivuosien suurimmat tarpeet liittyvät juuri uusien 5G-verkkojen ja pienisoluisten televiestintäinfrastruktuurien käyttöönottoon Aasiassa, Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. GSM-järjestö (*The Global System for Mobile Communications Association*, GSMA) arvioi, että vuoteen 2025 mennessä on käytössä jo 1,2 miljardia 5G-yhteyttä.

GNSS:n tarjoama suuren tarkkuuden aikasynkronointi tarkoittaa parempia palveluja myös energian siirtoon ja jakeluun. Sähköverkkojen valvonnan kannalta tarkka tahdistus on olennaista verkon käytön ja vikojen tunnistamisen luotettavuuden kannalta. Myös uusiutuvan energian ja hajautetun/pienuotannon hyödyntäminen on asettanut uusia vaatimuksia verkkojen osien tahdistukselle, ja monimutkaistuva energiaverkko edellyttää myös yhä tarkempaa tahdistusta.⁴¹

Rinnan langattomien verkkojen kehityksen kanssa esineiden internet tai teollinen internet (IoT) laajenee kaikenlaisiin laitteisiin; ”älylaitteet” tuottavat tilatietoja omasta toimintakunnostaan ja ympäristöstä, jota voidaan käyttää erilaisten prosessien tehokkuuden ja luotettavuuden parantamiseen, sekä kunnossapidon suunnitteluun ja vikaantumisen ennustamiseen yhdistäen niiden tietoja. Esineiden internet mahdollistaa yhä älykkäämpiä palveluja, ja samalla laitteiden tiedonsiirron ja muun toiminnan tahdistus on avainasemassa.

Verkko-operaattorit pitävät yhä enemmän aikaa hyödykkeenä (*Time-as-a-Service*, TaaS) ja vaativat palvelun tarjoajilta sitoumuksia ajan luotettavuudesta, eheydestä, todentamisesta ja jäljitettävyydestä riippumatta sen lähteestä. GNSS-sovellusten ja signaalin tarkan ajan hyödyntämiseen liittyvät markkinat olivat vuonna 2019 noin 150 mil-

⁴¹ European Space Agency, Navipedia, 16.9.2018. Lisäksi: Galileo Application Sheet – Energy Applications, ESA 2002.

jardia euroa globaalisti ja niiden on arvioitu kaksinkertaistuvan vuoteen 2029 mennessä. Suurin osa kasvusta tapahtunee kaupallisissa kuluttaja- ja liikennesovelluksissa. Suurin kasvumarkkina on televiestintä, jonka jälkeen tulevat energia- ja rahoitusalat.⁴² Tähän kysyntään on syntynyt useita palvelujärjestelmiä. TaaS-ratkaisut ovat kaupallisia ratkaisuja verkkojen kestävyuden, kestävyuden ja palvelusitoumusten parantamiseksi.

Pilvipalvelujen tekoälyn ja muun analytiikan voimakas kehitys on lisännyt palvelinkeskusten aikasykronointitarpeita. Suurten palveluntarjoajien palvelinkeskukset tai kone-salit voivat sisältää tuhansia yksittäisiä palvelimia ja koko toiminta käsittää kymmeniä konesaleja jotka toimivat yhdessä. Credit Suissen mukaan palvelinkeskusten sijoitus- ja yhteenliittämismarkkinoiden pitäisi saavuttaa 28 miljardia euroa vuonna 2021. GNSS:n perustuvia palveluja tarjoavien yritysten odotetaan hyötyvän tästä vilkkaasta markkinakehityksestä ainoana kohtuuhintaisena keinona täsmälliseen maailmanlaajuiseen yleisaikaan (UTC).

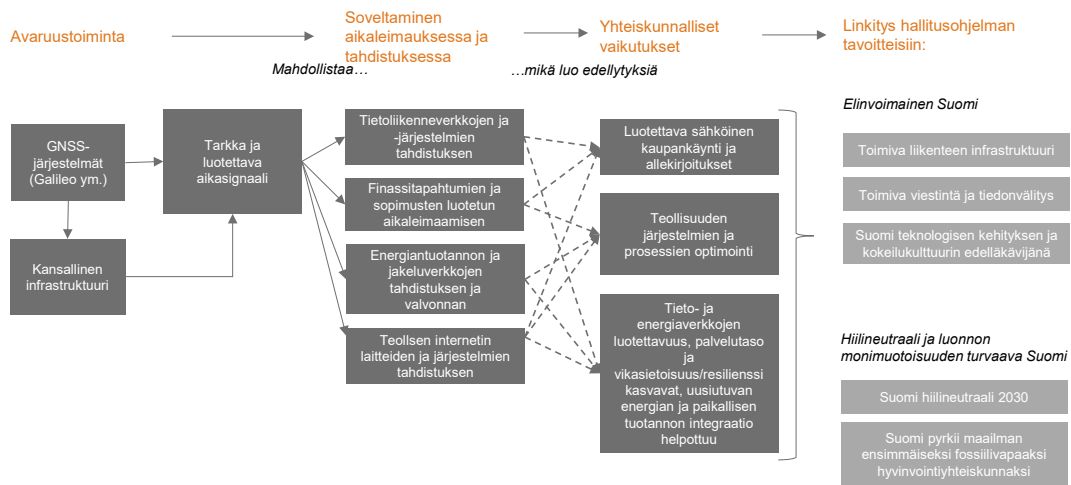
Sähköisen kaupankäynnin lisääntyessä kansainvälisillä arvopaperimarkkinoilla kaupankäynnin tarkka ajoitus, **jäljitettävyy**s ja **eri kaupankäyntijärjestelmien synkronoitavuus** ovat kriittisiä markkinoiden toimivuudelle ja kaupankäynnin luotettavuudelle sekä yleisemmin rahaliikenteen turvallisuudelle. Pörssit ja kauppapaikat voivat käyttää ajan määrittämiseen GNSS-palveluja, edellyttäen että ne pystyvät varmistamaan aikaleiman jäljitettävyyden kaikissa tilanteissa.⁴³

Yhteenveto

Alla olevaan taulukkoon on koottu GNSS-aikasignaalin keskeiset sovelluskohteet ja signaalin lisäarvo sovelluksissa. Aikasignaali on samanlainen esimerkki yleiskäytöstä teknologiasta kuin paikkatietokin, se liittyy suoraan tai välillisesti useimpien hallitusohjelman tavoitteiden toteuttamiseen. Konkreettisista sovelluksista tärkeimpiä hallitusohjelman suhteen ovat mahdollisesti vihreässä siirtymän yhteydessä hajautettujen energiaratkaisujen ja vihreä energian integrointi siirtojärjestelmään ja digitalisaation, älykkään kaupunki- ja liikenne yms. perusinfran ja verkkojen mahdollistajana. Elinkeinopoliitikassa edellisten lisäksi aikasignaali on vaikutusta sähköisen kaupankäynnin ja IoT:n mahdollistajana. Alla olevat kuvio ja taulukko tiivistävät aikasignaalin vaikutuspolkuja.

⁴² Ibid.

⁴³ Bausch A., Whibberley, P.: Reliable Time from GNSS Signals, Inside GNSS, 2017



Kuva 8. Aikasignaalin vaikutuspolku ja yhteys hallitusohjelman tavoitteisiin

Aikasignaali poikkeaa muista tapauskuvauksista siinä, että se konkretisoi erityisesti avaruustoiminnan luonnetta yleiskäyttöisenä teknologiana. Aikasignaali on yksi periaatteessa varsin yksinkertainen palvelu, jolla on useita alla tiiviisti kuvattuja erittäin tärkeitä muodostuneita sovelluksia.

Taulukko 5. Satelliittiajoituksen sovellusalueet

Sovellusalue	Ensisijaiset sovelluskohteet	GNSS:n lisäarvo	Laajemmat hyödyt
Tietoliikenne ja digitaalinen kommunikaatio	Reaaliaikainen data/videoliikenne 5G-verkoissa.	Edellytys kohtuuhintaisten ja monimuotoisten 5G-palvelujen kehittämiselle.	Mahdollistaa verkkojen vakauden ja häiriöttömyyden suuret vaatimukset ja sitä kautta 5G-palvelut.
Sähköinen kaupankäynti ja arvopaperimarkkinat	Standardin mukainen vaatimus kaupankäynnin ja kauppapaikkojen ajoituksesta, jäljitettävyydestä ja synkronoitavuudesta.	GNSS tarjonnut edulliset ja varmat ratkaisut aikaleimaukseen	Mahdollistanut sähköisen kaupankäynnin nopean ja laajan leviämisen

Sovellusalue	Ensisijaiset sovel- luskohdeet	GNSS:n lisäarvo	Laajemmat hyödyt
Energian jakelu ja sähköverkot	Verkkojen suuren tarkkuuden aikasynkronointi.	Mahdollistanut älykkäiden energiaverkkojen ja niiden palvelujen laajentamisen.	Mahdollistanut mm. uusiutuvan energian laajamittaisen hyödyntämisen verkoissa.
Teollisuuden järjestelmät ja IoT	IoT sovellusten edellyttämä ajoitustieto.	Tarjoaa globaalisti saatettavan paikannus ja ajoitustiedon.	Mahdollistanut uusien IoT järjestelmien, sovellusten ja palvelujen kehittämisen
Muut digitaaliset infrastruktuurit	Radioliikenteen, navigoinnin, salauksen edellyttämät referenssiajat.	GNSS tarjoaa paikannuksen ohella hyödynnettävän tarkan referenssiajan.	Mahdollistanut edullisempien ja turvallisempia digitaalisten sovellusten kehittämisen ja levittämisen.
Tutkimustoiminta	Edellä kuvattujen sekä uusien sovellusten (esim. 6G) teknologiakehitys sekä itse aikasynkronoinnin tutkimus.	Tarjoaa mahdollisuuden mm ajastus- ja paikannussignaalien samanaikaiseen käyttöön.	Mahdollistaa entistä korkeakapasiteettisempien verkkojen kehittämisen.

3.2.3 Kaukokartoitus maanviljelyssä

Tausta

Kaikkiaan satelliittien keräämää aineistoa sovelletaan monipuolisesti maanviljelyssä sekä maatalouteen liittyvissä tutkimus- ja viranomaistehtävissä. Esimerkiksi Suomen raportoidessa elintarviketuotannosta YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestö FAO:lle, Suomen raportointi perustuu Luonnonvarakeskuksen (Luke) tietoihin, joissa käytetään lähteenä Copernicus-ohjelman tuottamaa havaintoaineistoa.

Tämä tapaustutkimus on rajattu peltoviljelyyn, koska tavoitteena on kuvata suhteellisen uusia, kehittyviä esimerkkejä sekä koko avaruustoiminnan sovellusala. Kaukokartoitusta on käytetty yhdessä kasvuston kasvumallien kanssa jo pidempään puuston, metsien tilan ja kasvun arviointiin. Peltoviljelyä tukevat kaukokartoitustekniikat laajentavat ovat kaukokartoituksen sovelluskenttää avaruustoiminnan hyödyntämisessä.

Kaukokartoitusmenetelmien etu paikan päällä tehtäviin (*in situ*) mittauksiin on, että ne tuottavat kattavaa ja vertailtavaa aineistoa pitkiltäkin havaintojaksoilta kustannustehokkaasti. Satelliittiaineistojen hyödyntämisen maataloudessa mahdollistavat esimerkiksi Copernicus-järjestelmän Sentinel-satelliitit. Copernicus-ohjelman tuottamat maksuttomat aineistot mahdollistavat esimerkiksi peltojen säännöllisen seurannan. Satelliittikuvien avulla on mahdollista havainnoida hyvin laajoja alueita samanaikaisesti ja esimerkiksi verrata peltolohkoja keskenään. Esimerkiksi Sentinel-2 satelliitin maastoresoluutio, joka on parhaimmillaan 10 m, on moniin tarkoituksiin riittävä maataloudessa. Lisäksi satelliittikaukokartoitus on parantanut sääennusteiden laatua merkittävästi 1990-luvulta alkaen, mikä yleisesti tukee maataloutta.

Oleennaista avaruustoiminnan hyödyntämisessä maataloudessa on, että kaukokartoitusaineisto yhdistetään maastoinventoinneilla kerättyyn aineistoon. Esimerkiksi paikallinen mittaus pellolla yhdistetään satelliitin kautta tehtyyn kaukokartoitukseen ja saatu aineisto mallinnetaan. Maastossa tehtyjen otantainventointien havainnot voidaan täydentää jatkuvaksi karttapinnaksi kaukokartoituksen avulla.

Verrattain uusia kaukokartoituksen sovelluksia ovat täsmäviljely ja hiiliviljely⁴⁴. Kaukokartoitusmenetelmien ansiosta täsmäviljelyssä on mahdollista käyttää aiempaa kohdennetummin lannoitus- tai kasvinsuojeluaineita pellon käytön optimoimiseksi. Kaukokartoituksen yhteys hiiliviljelyyn on, että satelliittikuvia hyödynnetään tuotettaessa tietoa viljelymaiden hiilensidonnasta ja hiilitaseen vuotuisesta kehityksestä peltolohkon tai tilan tasolla. Menetelmät edesauttavat maatalouden kehittämistä kannattavampaan ja ilmastokestävämpään suuntaan.

Täsmäviljelyssä kaukokartoitusmenetelmiä käytetään maatalojen arjen työssä esimerkiksi lannoitussuunnitelman laadintaa varten. Täsmäviljelyssä voidaan välttää panostusten meneminen hukkaan. Esimerkiksi Suomessa johtavilla lannoiteyrityksillä ja maitoalan yrityksillä on markkinoilla tuotteita, joissa satelliittikuvien avulla voidaan seurata kasvustoa ja hallita lannoitusta⁴⁵. Maanviljelijät pitävät olennaisena hyötynä maanparannustoimenpiteiden ja kasvinsuojeluaineiden täsmällistä kohdistamista. Toi-

⁴⁴ *Täsmäviljely* tarkoittaa, että tuotannolliset panokset (siemenet, lannoitus, kasvinsuojeluaineet) ja kasvinhoidolliset toimenpiteet perustetaan paikkakohtaisin mittauksin vahvistettuun tarpeeseen. *Hiiliviljely* on yleisnimi viljelymenetelmille, joilla pyritään rajoittamaan kasvihuonekaasujen päästöjä ja sitouttamaan hiiltä viljeltyyn maaperään.

⁴⁵ Ks. esim. <https://www.yara.fi/lannoitus/nurmi/carbo-pilottitilalla-tehdaan-hiilitietoisia-valintoja-nurmiviljelyssa/>

menpiteet kohdistuvat oikeisiin kohtiin, mikä on kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä. Lisäksi etuna on, että kuvausaineistoa voidaan hyödyntää toimitettaessa vakuutusyhtiöille tietoa satovahingoista ja suunniteltaessa seuraavaa satokautta⁴⁶

Parhaillaan käynnissä olevissa tutkimushankkeissa kehitetään peltojen arviointia ja mittausta kaukokartoitusmenetelmien avulla, missä olennaista on tutkimuslaitosten välinen poikkitieteellinen yhteistyö. Esimerkiksi Luken ja Maanmittauslaitoksen yhteisessä vuosina 2020–2023 toteutettavassa PELTOPISTE-hankkeessa⁴⁷ kehitetään satelliitteihin perustuvia mittausmenetelmiä peltojen tuotantokykyyn vaikuttavien tekijöiden, kuten esimerkiksi pellon pinta-ala, pellon muoto, pellon maalaji, kuivatusolosuhteet, tiivistyminen ja topografia, määrittämiseksi. Hankkeen antamaa tietoa pellon tuotantokykyyn vaikuttavista tekijöistä voidaan hyödyntää peltojen parantamistoimenpiteiden suunnittelussa ja taloudellisesti kannattavissa sekä ympäristöllisesti kestävässä tilusjärjestelyissä.

Pelloilta kerättävää tutkimustietoa ja satelliittidataa yhdistetään yhä enemmän ilmasto- ja markkinoilla käytettäviin sovelluksiin. Peltojen biomassan arviointi-, kartoitus- ja mallinnusmenetelmää ja tietoa peltojen biomassasta hyödynnetään maatalouden hiilitaselaskennassa, julkisten ja yksityisen sektorin ilmastotyössä sekä elintarviketuotannon operatiivisessa toiminnassa⁴⁸. Hiiliviljely, joka tarkoittaa hiiltä maahan sitovia viljelymenetelmiä, on merkittävä keino ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Ilmatieteen laitoksen johtamassa monitieteellisessä MULTA-konsortiossa on kehitetty ensimmäisenä maailmassa 15 vuorokauden hiilensidontaennuste⁴⁹. Lisäksi parhaillaan Ilmatieteen laitos, Luonnonvarakeskus, Hämeen Ammattikorkeakoulu, Biocode Oy ja Valio Oy pyrkivät yhteistyössä luomaan globaalisti ainutlaatuisia ratkaisuja maatalouden ja elintarviketuotannon päästöjen vähentämiseksi ja hiilinielujen kasvattamiseksi.

Yhteenveto

Kaukokartoitusta on hyödynnetty jo pidempään metsätaloudessa, ja sen sovellusten tuominen maanviljelyyn on luonteva laajennus. Kaukokartoituksen hyödyntämisellä on useita etuja, jotka tekevät ne lähes välttämättömäksi täsmäviljelyn kontekstissa. Otantainventointien, eli maanpäällisen *in-situ* -näytteenoton ja -inventointien tarkkuus ja kattavuus ei riitä täsmäviljelyn tiedontarpeeseen. Kaukokartoitus tuottaa nopeammin

⁴⁶ Ks. esim. <https://www.proagri.fi/tietoa-proagriasta/referenssit>

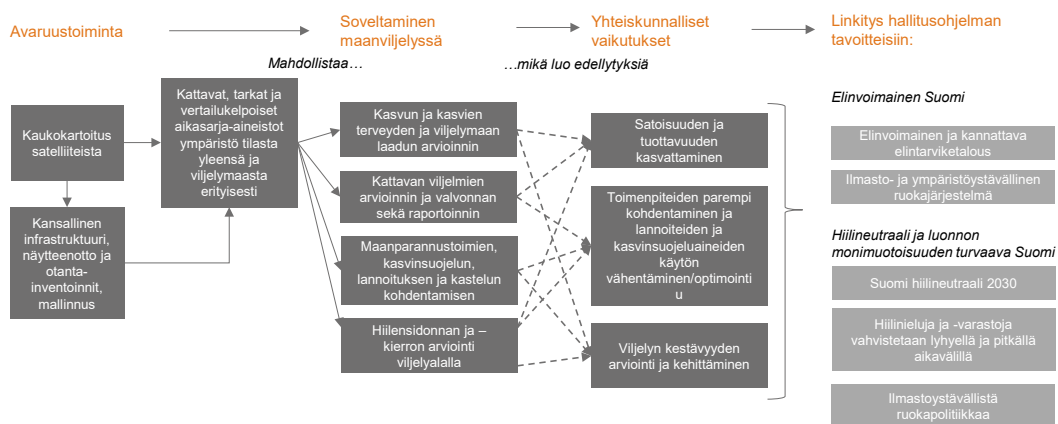
⁴⁷ <https://www.luke.fi/projektit/peltopiste/> ja <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/peltopiste-kaukokartoitusmenetelmat-peltojen-laadun-arviointiin-ja-pisteytykseen-kohti>

⁴⁸ <https://carbonaction.org/fi/biohila/>

⁴⁹ <https://carbonaction.org/fi/stn-multa/>

päivityvää, kattavampaa ja vertailukelpoista tietoa kuin muilla menetelmillä on mahdollista kerätä, ja sen perusteella voidaan suunnitella kattavammin toimenpiteitä. Samat hyödyt koskevat myös viranomaisvalvontaa ja raportointia viljelyaloista ja tuotannosta.

Kaukokartoitusmenetelmien hyödyntäminen myös tukee maatalouden kestävästä kehitystä taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti. Täsmäviljelyssä on mahdollista kohdentaa panokset hyvätuottoisille lohkoille sekä annostella lannoitteet ja kasvinsuojeluaineet täsmällisesti kerätyn kaukokartoitusaineiston pohjalta. Myös rahoituslaitokset ja vakuutusyhtiöt ovat kiinnostuneita siitä, että satovarmuutta ja ilmastoystävällisyyttä parannetaan hyödyntämällä satelliittitietoa. Kaukokartoitusmenetelmien hyödyntäminen maataloudessa liittyy erityisesti hallitusohjelman tavoitteisiin ”elinvoimainen Suomi” ja ”hiilineutraali Suomi”.



Kuva 9. Avaruustoiminnan vaikutuspolku maanviljelyssä ja yhteys hallitusohjelman tavoitteisiin

3.2.4 Avaruustoiminta pelastustoimessa

Tausta

Pelastustoimi on toimiala, johon kuuluu tulipalojen ja muiden onnettomuuksien ehkäisy, väestönsuojelu ja ihmisten, omaisuuden ja ympäristön suojaaminen ja pelastaminen. Sisäministeriö johtaa, ohjaa ja valvoo pelastustointia ja sen palvelujen saatavuutta ja tasoa sekä huolehtii pelastustoimen valtakunnallisista valmisteluista ja järjestelyistä.

Pelastustoimen tehtävistä kullakin aloittavista hyvinvointialueista vastaa alueen pelastuslaitos (PELA). Pelastuslaitos huolehtii alueellaan pelastustoimelle kuuluvasta ohjauksesta, neuvonnasta ja turvallisuusviestinnästä, jonka tavoitteena on tulipalojen ja muiden onnettomuuksien ehkäiseminen ja varautuminen onnettomuuksien torjuntaan. PELA vastaa pelastustoimen valvontatehtävistä, väestön varoittamisesta vaara- ja onnettomuustilanteesta sekä siihen tarvittavasta hälytysjärjestelmästä sekä pelastustoimintaan kuuluvista tehtävistä.

Sisäministeriön alaisuudessa toimii myös Hätäkeskuslaitos (HäkeL), jonka hätäkeskukset (HÄKE) vastaanottavat hätäilmoituksia ja hälyttävät edelleen tarpeelliset viranomaiset, kuten pelastustoimen, sosiaali- ja terveydenhuollon sekä poliisin ja meripelastuksen.

Meripelastustoiminnan järjestämisestä vastaa Rajavartiolaitos (RVL). RVL ylläpitää meripelastuksen hälytysnumeroa ja radiopäivystystä meri-VHF -taajuuksilla, joka kuuluu maailmanlaajuiseen meriliikenteen ja merenkulun hätäviestiviestijärjestelmään (*Global Maritime Distress and Safety System*, GMDSS) yhtenä osana. Lisäksi Länsi-Suomen merivartioston johtokeskus toimii etsintä- ja pelastussatelliittijärjestelmä (SARSAT-järjestelmän⁵⁰) Suomen yhteyspisteinä (SPOC, *Search And Rescue Point of Contact*).

Avaruustoiminta pelastuksessa

Yksinkertaistettuna kaavamaisesti pelastustoiminta alkaa hätäkeskukseen tulevasta hätäilmoituksesta, automaattisesta ilmoituksensiirtojärjestelmästä, tai ajoneuvon eCall⁵¹ -järjestelmän ilmoituksesta. Hätäilmoitus tehdään yleisimmin ottaen puheluna yleiseen hätänumeroon 112. Puhelun soittamisessa voidaan hyödyntää 112 Suomi -mobiilisovellusta, joka välittää soittajan paikkatiedon hätäkeskukseen. Android- ja IOS-laitteissa on lisäksi käytössä AML-tekniikkaan perustuva sijaintitiedon välitysnäköalaisuus, joka lähettää hätäkeskukseen paikkatiedon ilman mobiilisovellustakin.

⁵⁰ Koko nimeltään COSPAS-SARSAT (*Cosmicheskaya Sistema Poiska Avariynyh Sudov - Search And Rescue Satellite-Aided Tracking*) -järjestelmä on osa GMDSS- ja ilmailun vastaavaa hätäviestijärjestelmää, mutta se on myös itsenäinen jäsenmaksuilla ylläpidetty sopimuksellinen yhteistyöelin, jonka perustajajäseniä olivat Yhdysvaltojen avaruushallinto NASA, Neuvostoliiton meriministeriö, Ranskan avaruushallinto CNES, sekä Kanadan viestintäministeriö.

⁵¹ eCall on eurooppalainen standardi ajoneuvoihin asennettavalle automaattiselle hätäviestijärjestelmälle, joka on otettu käyttöön 2018 alkaen EU:n alueella myytävissä henkilöajoneuvoissa. Ks. esim: https://europa.eu/youreurope/citizens/travel/security-and-emergencies/emergency-assistance-vehicles-ecall/index_fi.htm

HÄKE:ssa tilanne arvioidaan ilmoittajan antamien tietojen perusteella. Hätäkeskus-päivystäjä käyttää hätäpuhelun käsittelemiseen ja hälyttämiseen ERICA-hätäkeskus-tietojärjestelmää⁵². Järjestelmällä tehdään hätäilmoitukseen liittyen viranomaisten määrittelemä riskinarvio, minkä perusteella hätäkeskustietojärjestelmä hälyttää viranomaisten antamien hälyttämishojjeiden mukaan lähimmät tarkoituksenmukaisimmat yksiköt tehtävälle. Yksiköiden hälyttämisessä hyödynnetään yksiköiden reaaliaikaista paikkatietoa järjestelmässä, joka perustuu satelliittipaikannukseen.

Vaihtoehtoisesti hätäpuhelu tai hälytys voi tulla puheluna, radiolla, SARSAT-järjestelmän kautta tai muuna hätäsanomana GMDSS-järjestelmän kautta Rajavartiolaitoksen meripelastuksen johtokeskuksiin⁵³. Erityyppisissä lähettimissä on sama periaate, lähettin rekisteröidään ostettaessa alukseen tai ihmiselle ja käytössä ne aktivoituvat joko automaattisesti esim. paineesta, kiihtyvyydestä tai käsiaktivoinnilla ja alkavat lähettää esiohjelmoitua standardimuotoista hätäsanomaa SARSAT-satelliittiin tai Galileo-järjestelmän satelliitin välityksellä.

Konkreettinen avaruustoiminta pelastustoimissa on kuluttajalle tai asiakkaalle näky-mätöntä teknologiaa. HÄKE:n tulevan hätäpuhelun kohdalla puhelimen käyttöjärjestelmän sijainninvälityspalvelu (AML) tai 112 Suomi -sovellusta käytettäessä sijainti välityy HÄKE:n.⁵⁴ GMDSS-järjestelmän kautta tulevassa ja erityisesti SARSAT-järjestelmää käyttävässä hälytyksessä hätäsanoma kulkee konkreettisesti satelliittiyhteydellä ja siihen liittyy myös kiinteästi satelliittipaikannuksen antama paikkatieto onnettomuuspaikasta.

Myös radiopuhelimella tehty hälytys merellä sisältää automaattisesti satelliittipaikannuksen antaman paikkatiedon, jos aluksella (veneellä) on radiopuhelin, joka tukee digitaalisia selektiivikutsuja (DSC-viestejä) ja samaan väylään kytketty paikannuslaite. Lisäarvo GMDSS järjestelmästä meripelastuksella on määrämittaiset hätäsanomat,

⁵² Insta DefSec, n/a Uusi hätäkeskustietojärjestelmä ERICA; Saarenpää & Virtanen, 2019. ERICA-hätäkeskustietojärjestelmä: Käyttöönnoton vaikutukset poliisin päivittäiseen kenttätoimintaan, POLAMK opinnäytetyö

⁵³ Käyttötarkoituksesta riippuen lähettämiä kutustaan eri nimillä nimillä: meriliikenteessä puhutaan paikantavasta hätäradiomajakasta, hätäpoijusta, tai EPIRB-pojusta (*Emergency Position Indicating Radio Beacon*, EPIRB), lentoliikenteessä ja ilmailussa hätälähettimestä (*Emergency Locator Transmitter*, ELT), ja retkeilyssä ynnä muussa käytössä henkilökohtaisesta hätälähettimestä tai majakasta (*Personal Locator Beacons*, PLBs).

⁵⁴ 112-Suomi-sovelluksen tyyppisten palveluiden edellytyksiä kehitetään EU:ssa laajemminkin, Euroopan komission E112 aloitteen osana maaliskuusta 2022 lähtien kaikissa mobiililaitteissa on oltava Galileo-valmius, joka mahdollistaa entistä paremman hätäpuhelun paikannustarkkuuden, ks. Esim. EUSPA 2019 Locating you in an emergency – what you need to know about E112, Saatavilla: Locating you in an emergency – what you need to know about E112

jotka helpottavat tilanteen arviointia ja sisältävät paikkatiedon, jotka kaikki helpottavat pelastuksen suunnittelua ja nopeuttavat osaltaan vastetta.

Hälyttämisen jälkeen avaruustoimintaa sovelletaan myös tehtävien aikana. Viranomaistoiminnassa tehtävien suorituksessa ja johtamisessa käytetään paikkatietoa/satelliittipaikannusta tilannekuvan muodostamiseen ja ylläpitoon eri yksiköiden sijainnista jne., joka vaikuttaa viranomaisen päätöksiin. Lisäksi yksiköt käyttävät paikannusta ja reitinnavigointia perille löytämiseen. Tähän liittyvä olennainen tieto, joka myös paljon perustuu avaruustoimintaan, on tieto säästä, kelistä, jää- ja lumipeitteestä, joilla on merkitystä tehtävien suunnittelun ja suorittamisen tehokkuudelle ja turvallisuudelle.

Viranomaisviestinnän viimeaikainen tekninen kehitysaskel on Virve (Viranomaisverkko) 2.0, joka lisää turvallisen verkon datansiirtokykyä ja mahdollistaa puheluiden lisäksi esim. reaaliaikaisen videokuvan ja IoT-sensoriaineiston välittämisen turvallisuusverkossa. Samaan aikaan käynnissä oleva EU:n GOVSATCOM-ohjelma tähtää turvallisten satelliittiviestintäpalveluiden tuottamiseen viranomaisille.

Lisäksi suuremmissa tehtävissä, kuten maastopaloissa, ympäristövahingoissa ja muissa vastaavissa laajoissa kenttätehtävissä kaukokartoitusta ja lennokkeja voidaan käyttää esim. maastopalojen laajuuden toteamisen, palopesäkkeiden paikannukseen ja etenemisen seurantaan. Yhdessä säätietojen kanssa kaukokartoitus antaa viranomaisille tärkeitä tietoja sammutus- ja pelastustoiminnan suunnitteluun. Vastaavalla tavalla esim. öljyvahingon tai muun kemikaalivuodon laajuutta ja leviämistä voidaan seurata kaukokartoituksella ja samalla tavalla käyttää tätä tietoa yksiköiden sijoittelusta ja toimien ajoituksesta jne.

Kokonaisuutena parempi tilannekuva merkitsee parempaa päätöksentekoa ja parempaa vasteaikaa, sekä parempaa turvallisuutta sekä pelastajille että asiakkaille tehtävän aikana, sekä ennen ja jälkeen. Pistemäisen tiedonvälityksen lisäksi pelastustöissä voidaan käyttää tehtävää suorittavien viranhaltijoiden sisäiseen ja kenttäjohdon kanssa kommunikointiin älylaitteella toimivia tilannetietosovelluksia⁵⁵, joiden avulla voidaan yhtä aikaa näyttää karttapohjaa, siihen kiinnitettyjä ja yleisiä tilannetietoja, viestejä ja paikkatietoa omasta ja muiden yksiköiden sijainnista.

Lähitulevaisuudessa kehitys suuntautuukin haastattelujen mukaan ajankohtaisen tilannetiedon kehittämiseen, yhdistelemällä paikkatietoa, kaukokartoitustietoa, lennokkien tuottamaa kuvaa ja sensoritietoa ja näiden tuottaman aineiston välittämistä kentälle tilannetietona satelliitti- ja muita tietoverkkoja hyödyntäen. Lisäksi alalla ollaan

⁵⁵ Suositettu tilannetietosovellus on esimerkiksi Android Team Awareness Kit (ATAK), jota käyttävät eri viranomaistahot ympäri maailmaa

kiinnostuttu erilaisista lisätyn todellisuuden ratkaisuksista, jotka mahdollistaisivat tilannekuvan ohella työn ohjeistamisen ja pelastajien neuvonnan.

Avaruustoimintaa sivuaa myös satelliittipaikannusta ja -tiedonsiirtoa hyödyntävät robotiikan, lennokkien ja muiden kauko-ohjattavien ratkaisujen kehittäminen pelastustoi-
messä. Robottien ja kauko-ohjattavien alusten etuna on mahdollisuus käyttää niitä olosuhteissa, joissa ihmisen työskentely ei ole esim. kuumuuden, kemikaalialtistuksen, säteilyn tai biologisen vaaran vuoksi mahdollista, niillä voidaan kattaa nopeasti laajoja alueita ja tuottaa jatkuvaa valvontaa tarvittaessa.

Pelastustoimen kenttään kuuluu konkreettisten hälytystehtävien lisäksi varautuminen, väestönsuojelu, valmistautuminen ja myös tietyt valvontatehtävät. Näissä ”data on varautumisen väline”. Satelliittien lisääntyminen, niiden suorituskyvyn kasvu ja niiden tuottaman sensoriaineiston monipuolistuminen antaa entistä parempia mahdollisuuksia hyödyntää satelliitteja ja kaukokartoitusta myös pelastustoi-
messä. Konkreettisia kehittyviä mahdollisuuksia ovat kasvavat mahdollisuudet onnettomuuksien ja tuhojen havaitsemiseen, esim. radioaktiivisten aineiden leviämiseen ja tuhoalueiden nykyistä tarkempaan, kattavampaan ja reaaliaikaisempaan arviointiin. Esimerkiksi kattava luonnonvarojen inventointi yhdessä ajantasaisen säätiedon kanssa myös mahdollistaa metsäpalojen ja myrskytuhojen ja niistä seuraavan pelastus- ja raivaustarpeen ennakoimista.

Kaukokartoituksen yhdistyessä esim. liikenteen telematiikkaan ja teolliseen tai muihin esineiden internetiin, se mahdollistaa myös aiempaa tarkempien riskiarvioiden tekemisen useammista kohteista. Esim. liikennevahinkojen ennakoimista helpottuu, kun yhdistellään anturitietoa, liikennejärjestelmän telematiikan tuottamaa tietoa kaukokartoitukseen ja säätietoon. Samojen asioiden, jotka palvelevat operatiivista pelastusta parempana tilannetietona, nähdään tulevaisuudessa mahdollistavan paremman varautumisen, varoittamisen ja ennaltaehkäisevän toiminnan sekä valvonnan.

Yhteenveto

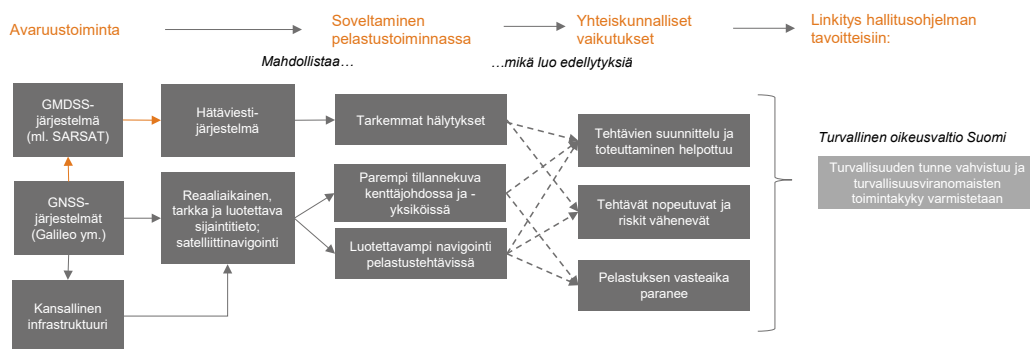
Jos ajatellaan kontrafaktuaalia, jossa avaruustoimintaa ei sovellettaisi tai olisi, palataisiin erityisesti meripelastuksessa 30–40 vuotta ajassa taaksepäin. Pelastustoimintaa on harjoitettu jo kauan ennen satelliittinavigointia ja tilannetietojärjestelmiä⁵⁶, mutta ennen laajamittaista satelliittinavigoinnin käyttöä ja siihen yhdistettyä sähköistä kartastoa ja reititystä, navigointi tehtävään oli vaativampaa ja hitaampaa, jos se vielä yhdistyi siihen että avunpyyntö tai ilmoitus tuli asiakkaalta, joka ei itsekään osannut

⁵⁶ Suomen vanhimmat (vapaaehtoiset) palokunnat on perustettu 1800-luvun ensimmäisellä puoliskolla ja meripelastusseura 1800-luvun lopussa.

määritellä paikkaa tarkasti. Satelliittinavigointi ja muu avaruustoiminta nopeuttaa pelastuksen suunnittelua ja päätöksentekoa sekä kenttätoimintaa, ja mahdollistaa keskittymisen olennaisiin pelastustehtäviin vähentämällä stressiä paikalle löytämisestä. Häiriöiden vaikutus avaruustoiminnalle kuten paikannukselle ja SARSAT-järjestelmälle olisi kenttäjohdon ja yksiköiden tilannekuvan heikkeneminen, pelastustehtävien suunnittelun vaikeutuminen, vasteajan kasvu ja mahdolliset vaaratilanteet pelastajille erityisesti maastossa ja vesillä.

Sama koskee avaruustoimintaan perustuvaa tilannetietoa, joka sisältää säätiedon ja -ennusteet, paikkatiedon yms. tiedon, joka on olennaista pelastustoimen tehtävien onnistumisella ja henkilökunnan turvallisuudelle. Satelliittien käyttö monipuolisesti varautumisessa, valvonnassa ja pelastuksessa on myös kehittyvä ala, ja avaruustoiminnasta löytyy vielä käyttämättömiä mahdollisuuksia edelle kuvatuissa ja muissa soveluksissa.

Hallitusohjelman suhteen avaruustoiminta pelastustoimessa liittyy ennen muuta tavoitteeseen ”Turvallinen oikeusvaltio Suomi”.



Kuva 10. Avaruustoiminnan vaikutuspolku pelastustoiminnassa ja yhteys hallitusohjelman tavoitteisiin

3.2.5 Ilmastonmuutoksen seuranta ja ihmisen toiminnan vaikutusten arviointi avaruustoiminnan avulla

Tausta

Jo yli kolmen vuosikymmenen ajan maapallon ja ilmakehän muutoksista on kerätty tietoa satelliittien ja muun avaruuteen, maalle, veteen ja ilmaan sijoitetun teknologian avulla. Kertyvä data ja esimerkiksi satelliittikuvat tuottavat aineistoa ympäristön tilan ja ilmastonmuutoksen seurannan tueksi. Seurantatietoa kerätään liittyen muun muassa ilmaston lämpenemiseen, meriveden lämpötilan nousuun, jäätiköiden sulamiseen, pohjoisen pallonpuoliskon lumipeitteen muutoksiin, merenpinnan nousuun, arktisten merialueiden jään paksuuteen, sään ääri-ilmiöihin ja merien tilaan.

Kansainvälinen yhteistyö ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tapahtuu erityisesti YK:n oikeudellisesti sitovien ilmastositomusten toimeenpanon kautta. Kansainvälistä ilmastopolitiikkaa ohjaa tällä hetkellä Pariisin ilmastositomus, joka solmittiin YK:n ilmastositomuksen 21. osapuolikokouksessa Pariisissa vuonna 2015. Sopimuksen sitoumukset koskevat vuoden 2020 jälkeistä aikaa ja se on voimassa toistaiseksi. Myös Suomi on hyväksynyt ilmastositomuksen ja sitoutunut sen edistämiseen muun muassa lainsäädännön kautta.

Suomen ilmastopolitiikan keskeinen pilari on kansallinen Ilmastolaki (609/2015)⁵⁷, joka nostaa esiin yhtenä huomioon otettavana asiana ilmastopolitiikan suunnitelmien laadinnassa muun muassa teknologian tason ja kehityksen liittyen kasvihuonekaasujen vähentämiseen ja ilmastonmuutoksen hillintään ja siihen sopeutumiseen.⁵⁸ Marinin hallitus on asettanut tavoitteeksi, että Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Ilmastolakia ollaan parhaillaan uudistamassa siten, että hallituksen tavoite päästöjen ja nielujen tasapainosta toteutuu määräaikaan mennessä. Myös ilmasto- ja energiastrategia ja keskipitkän aikavälin suunnitelma päivittyvät meneillään olevan vuoden 2021 aikana.⁵⁹ Ilmastolain mukaisesti Suomessa toimii tieteellinen ja riippumaton Ilmastopaneeli. Paneeli tukee ilmastopolitiikan suunnittelua

⁵⁷ Kirjoitettaessa on annettu Hallituksen esitys eduskunnalle ilmastolaiksi HE 27/2022 vp

⁵⁸ Finlex, Ilmastolaki (609/2015), <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609#Pidp446082880>

⁵⁹ Valtioneuvosto, Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta – Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma, 2019, <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma>; YM, Suomen kansallinen ilmastopolitiikka, <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>

ja sitä koskevaa päätöksentekoa kooten yhteen 15 ilmastopolitiikan kannalta keskeisten tieteenalojen (kansallista) huippututkijaa.⁶⁰

Myös EU-tasolla tehtävä ilmastopolitiikka pohjaa YK:n ilmastopimukseen, sitä täydentävään Kioton pöytäkirjaan ja Pariisin ilmastopimukseen. Vuonna 2019 käynnistyneen Euroopan vihreän kehityksen ohjelman (*European Green Deal*) kautta EU on nostanut vihreät tavoitteet ja toimenpiteet EU:n korkeimmiksi toimintaa ohjaaviksi prioriteeteiksi. Tuoreen, kesäkuussa 2021 Euroopan parlamentin ja neuvoston hyväksymän EU:n ilmastolain tavoitteena on ilmastoneutraali EU vuoteen 2050 mennessä. Lain puitteissa tullaan muun muassa perustamaan ilmastomuutosta käsittelevä riippumaton neuvoo-antava eurooppalainen tiedekomitea.⁶¹

Avaruustoiminta ilmastomuutoksen tutkimuksessa ja seurannassa

Kaukokartoitus on ennen muuta tärkein ilmastomuutokseen ja ihmisen toiminnan vaikutuksen arviointiin liittyvä avaruustoiminnan sovellus. EU ja eurooppalaiset avaruusalan toimijat ovat olleet keskeisiä avaruustoiminnan soveltajia ilmastotutkimukseen. Euroopan komission ja ESA:n yhteinen sitoutuminen ilmastotiedon keräämiseen (Bavenon Manifesti) johti nykyistä Copernicus-ohjelmaa edeltäneiden GMES-ohjelmien (*Global Monitoring for Environmental Security*, myöhemmin *Global Monitoring for Environment and Security*) valmisteluihin.

Copernicus-ohjelma ja sen ilmastomuutospalvelu (C3S) on tärkein eurooppalainen aloite. Copernicus-ohjelma tuottaa EU:n ja jäsenmaiden lisäksi tietoa muun muassa Maailman ilmatieteen järjestö WMO, YK:n ympäristöohjelman sekä kasvatusta, tiedejä ja kulttuurijärjestön, Kansainvälisen tiedeneuvoston (ISC) sekä EU:n tukeman Maapallon ilmastohavainnointijärjestelmän (*The Global Climate Observing System, GCOS*) käyttöön. Järjestelmän tehtävänä on koordinoida eripuolilla tuotettua tieteellistä tietoa ja seurantadataa ilmastomuutoksesta ja tarjota kokonaiskuva ilmastosta. Copernicus-ohjelman lisäksi tietoa järjestelmään tuottavat ESA:n Ilmastomuutosaloite ja EUMETSAT:n ilmaston seurannan toiminnot.

⁶⁰ Suomen ilmastopaneeli, <https://www.ilmastopaneeli.fi/>

⁶¹ EU:n neuvosto (2021). Neuvosto hyväksyi eurooppalaisen ilmastolain. Lehdistötiedote 28. kesäkuuta 2021, <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2021/06/28/council-adopts-european-climate-law/>

Kaukokartoitukseen liittyvä tutkimus tuo yhteen monia tutkimusalueita ja tieteenaloja. Kaukokartoitus tuottaa jatkuvasti suuren määrän raakaa sensoriaineistoa, mikä edellyttää, että tietoa on pystyttävä asianmukaisesti ja reaaliaikaisesti vastaanottamaan, kategorisoimaan ja analysoimaan.⁶²

Avaruudesta käsin tapahtuva havainnointi on tuottanut hyödyllistä ja kattavaa tietoa ilmastonmuutostutkimukselle viimeisten vuosikymmenien ajan. Kaukokartoituksen voi-kin katsoa edistäneen huomattavasti ilmastonmuutostutkimuksen kehitystä.⁶³ Kansainvälisten tutkijaryhmien Future Earth ja The Earth Leaguen vuoden 2019 raportti osoitti ilmaston kannalta keskeisten muuttujien etenemisvauhdin olevan kiihtyvää. Monia näistä muuttujista seurataan juuri avaruudesta käsin. Esimerkiksi ESA:n Ilmastonmuutosaloite -hankekokonaisuudessa (*the ESA Climate Change Initiative*)⁶⁴ on tunnistettu useita ilmastoon liittyviä keskeisiä globaaleja muuttujia, joiden tilaa seurataan. Tulevien ilmastovaikutusten ennakoimiseksi on tarpeellista seurata ja tunnistaa esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen luonnollisia ja ihmisen toiminnan aikaansaamia lähteitä. Kaukokartoituksen tutkimus on tuottanut menetelmiä, joiden tuloksena ihmislähtöisen hiilidioksidin kartoittaminen avaruudesta käsin on nyt mahdollista.⁶⁵

Suomessa tehdään sekä alaan liittyvää tutkimusta että tutkimustiedon hyödyntämistä. Suomen Akatemia rahoittaa ilmastonmuutoksen tutkimukseen liittyvää tutkimusta, jossa hyödynnetään kaukokartoitus- ja satelliittidataa. Esimerkiksi CRYO-TREC-hankkeessa (2017–2021) on tutkittu globaalien kausilumipeitteen muutoksia satelliittihavainnoissa ja ilmastomalleissa, SNOCAP-hankkeessa (2021–2025) tutkitaan Arktisen alueen sadannan arvioiden tarkentamista epäsuorilla satelliittipohjaisilla havainnoilla, ja LAS3R-hankkeessa (2021–2024) tutkitaan Antarktisen lumi- ja jääpeitteen pinnan karkeutta ja sen vaikutusta satelliittimittauksiin, sekä RESICLIM (2021–2025), jossa hyödynnetään kaukokartoitusaineistoja Arktisten maaekosysteemien muutosten tarkasteluun.⁶⁶

⁶² Guo, H., Zhang, L. & Zhu, L. (2015). Earth observation big data for climate change research. *Advances in Climate Change Research* 6 (2015) 108-117, https://www.researchgate.net/publication/283965771_Earth_observation_big_data_for_climate_change_research

⁶³ Ibid.

⁶⁴ The ESA Climate Change Initiative, <https://climate.esa.int/en/>

⁶⁵ Ilmasto-opas (2016) Hiilidioksidipäästöjä vahditaan suoraan avaruudesta, <https://ilmasto-opas.fi/fi/ajankohtaista/uutinen/-/artikkeli/d4de1a24-7eb9-46ae-bde6-06e64b94a89f/hiilidioksidipaastoja-vahditaan-suoraan-avaruudesta.html>

⁶⁶ Ilmatieteen Laitos, Satelliitti ja tutkasovellukset, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/satelliitti-ja-tutkasovellukset>

Copernicus-ohjelman tuottamaa tietoa hyödyntää erityisesti Ilmatieteen laitos ja SYKE, joka hyödyntää niitä muun muassa levätilanteen seurannassa⁶⁷. Sään ja ilmastomuutoksen vaikutustutkimuksen lisäksi Ilmatieteen laitos tutkii muun muassa meteorologisia satelliitti- ja tutkasovelluksia osallistuen myös EUMETSAT-yhteistyöhön. Ilmatieteen laitoksen Planeettatutkimus ja avaruusteknologia -ryhmällä ja sen edeltäjillä on yli 30 vuoden kokemus avaruusmittalaitteiden suunnittelusta, rakentamisesta ja testaamisesta. Laitos myös toteuttaa kaukokartoitustutkimusta, joka hyödyntää satelliittihavainnoja hiilen- ja vedenkierron seurantaan sekä tuottaa uutta tutkimustietoa ilmakehästä ja maapallon kylmistä alueista.

Sodankylässä toimii Ilmatieteen laitoksen Arktinen avaruuskeskus (FMI-ARC), ja sen tehtävänä on tuottaa tietoa koko pohjoisen pallonpuoliskon lumipeitteestä, maaperän routaantumisesta ja revontulista satelliitti- ja avaruusteknologiaa hyödyntäen. Arktisessa avaruuskeskuksessa toimii myös Kansallinen satelliittitietokeskus (*National Space Data Center, NSDC*), jonka yhteydessä on Copernicus-ohjelman yhteispalvelukeskus (*Sentinel Collaborative Ground Station*) Sentinel-1 ohjelmasta lukien. Satelliittihavainnoista kertyviä pitkiä aikasarjoja voidaan hyödyntää myös ilmastomuutoksen tutkimuksessa.⁶⁸

Ympäristön ja ilmaston muutosten seurannassa yhdistyvät paitsi avaruudesta käsin niin myös maalta, merestä ja ilmasta kerätty seurantatieto. Satelliitti- ja kaukokartoitusteknologiaalla pystytään keräämään laaja-alaista havainnointitietoa, johon perinteisillä maasta käsin tapahtuvilla tiedonkeräysmenetelmillä ei pystytä.⁶⁹ Satelliittitieto on luotettavaa, ja avaruudesta käsin keräten tietoa on mahdollista saada säännöllisesti ja mittaustulokset ovat tarkkoja. Tämä koskee tiedon keruuta myös vaikeasti tavoitettavilta seuduilta, kuten napa-alueilta. Satelliittien eduksi voidaan laskea myös niiden valmius havainnoida kerralla laajaa aluetta. Lisäksi, satelliittien keräämä tieto on globaalisti yhtenevää, datan saanti nopeaa ja tiedonkeräys suunniteltu toistettavaksi. Koska kaukokartoitus ei vaadi fyysisistä pääsyä alueille, se ei myöskään aiheuta konkreettista uhkaa kansalliselle suvereniteetille.⁷⁰

⁶⁷ SYKE, Selkämeren ulapalla laajalti sinilevää, sisävesillä lämmin sää edistänyt sinilevien kasvua; ks. myös Baltic Sat Apps, n/a. Finnish EO market, Saatavilla: <https://balticsatapps.eu/finnish-eo-market/>

⁶⁸ Ilmatieteen Laitos, Ilmasto-opas, Suomen arktista osaamista tarvitaan jatkossa yhä pohjoisempana, https://ilmasto-opas.fi/fi/ajankohtaista/uutinen/-/artikkeli/8151389d-1e46-48ff-8ee2-9fa065ed68c0/suomen-arktista-osaamista-tarvitaan-jatkossa-yha-pohjoisempana.html#h_Sodankyl_n_Arktinen_avaruuskeskus_tuottaa_ymp_riist_tietoa_arktisilta_alueilta

⁶⁹ Guo et al. Op. cit.

⁷⁰ ESA, Role of EO in understanding climate change, <https://climate.esa.int/en/evidence/role-ee-understanding-climate-change/>; Haastattelu

Sään ääri-ilmiöt ja muutokset ilmastossa vaikuttavat moniin yhteiskunnan toimintoihin aiheuttaen riskejä, joihin yhteiskunnan eri toimijoiden pitää varautua. Sääennustetoiminnassa satelliittikuvat ovat keskeisiä tiedonlähteitä ja niitä käytetään sekä visuaalisesti että yhdistämällä niistä saatavaa tietoa säämalleihin. Satelliitit välittävät tietoa ilmakehän ominaisuuksista, pilvipeitteestä, vesihöyrystä, aerosoleista kuten tulivuorituhkasta, hivenkaasuista sekä tuulen nopeudesta ja suunnasta. Satelliittikuvista saadaan lisäksi tietoa liittyen maa- ja merialueisiin, kuten pintalämpötila, pinnan heijastavuus (albedo), lumipeite, jäätiköt, merijää, aallonkorkeus, veden saastuneisuus (ml. öljyläikät), maaperän kosteus, biomassa, lehtialaindeksi ja tulipalot. Satelliittitietoa käytetään myös viranomaistyössä ilmastonmuutoksen aiheuttamien lyhyen aikavälin pelastus- ja varautumissuunnitelmiin. Esimerkiksi Ympäristöhallinnon yhteisen Tulvakeskus-verkkopalvelun kautta viranomaiset ja tulva-alueiden asukkaan ja yritykset saavat ennustetietoa ja tilannekuvaa tulvista.⁷¹

Alue- ja kaupunkitasolla satelliittitietoa voidaan soveltaa suunnittelun tukena. Datan perusteella voidaan varautuen huomioida myös mahdolliset uhkakuvat, kuten tulvat ja vähentää tulevaisuudessa terveyden ja hyvinvoinnin kannalta ongelmallisten lämpösaarekkeiden muodostumista.⁷²

Myös liike-elämän eri toimijat hyödyntävät satelliittitietoa oman toimintansa tukena. Sään ääri-ilmiöiden yleistessä satelliittitiedosta on hyötyä esimerkiksi luonnonvarasektorilla satoseurantaan ja tuulituhojen todentamiseen. Myös sektorin vastuullisessa sijoittamisessa voidaan hyödyntää satelliittitietoa, joka kertoo luotettavaa tilannekuvaa muun muassa mahdollisesta metsäkadosta.⁷³

Yhteenveto

Ilmastonmuutoksen kannalta keskeisiä toimia ovat muutoksen seuranta ja ennakointi, sen hillitseminen ja enenevässä määrin myös sopeutumistoimet meneillään olevaan ja tulevaan muutokseen. Avaruustoiminnalla on keskeinen merkitys seurantatiedon saamiseksi, jota tutkijat, asiantuntijat, päättäjät ja viranomaistoimijat tarvitsevat ilmastomallien, ennakkoinnin, toimenpiteiden ja sopeutumistoimien suunnittelua varten.

Pitkittäisaineiston kerääminen on seurannan kannalta erittäin tärkeää. ESA:n ilmastomuutoksen seurannan avaruustoiminta esimerkiksi on suunniteltu siten, että tiedon

⁷¹ Tulvakeskus, <https://www.vesi.fi/tulvakeskus/>

⁷² Haastattelu

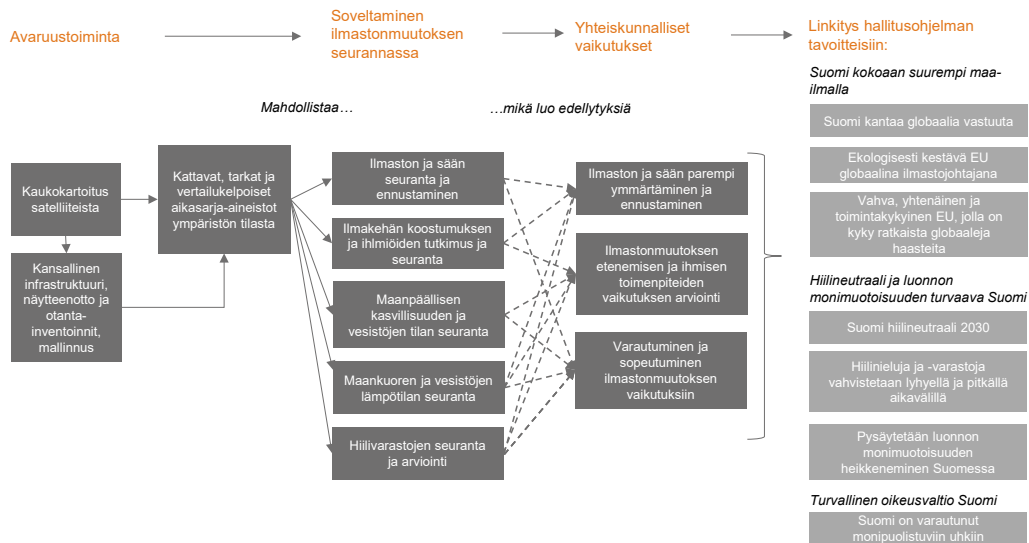
⁷³ Haastattelu

keräämisessä luodaan jatkumo jo arkistoidun datan kanssa.⁷⁴ Tällä tavoin ilmaston kannalta keskeisistä muuttujista saadaan pitkänaikavälin seuranta-aineistoa tutkijoiden hyödynnettäväksi.

Kaukokartoitukseen ja ylipäättään satelliittihavaintoihin perustuva havaintoaineisto ja näihin liittyvä menetelmäkehitys ovat laajasti sää- ja ilmastotutkimuksen taustalla. Suurelta osin data/aineisto, sekä tutkimustulokset ovat myös saatavilla avoimissa lähteissä, joko suoraan tai erilaisiin politiikkaprosesseihin tuotettuihin selvityksiin ja muihin asiakirjoihin (tunnetuimpana kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n raporttisarja) toimitettuna. Keskeinen haaste erityisesti historiallisesti on havaintojen ja tulosten hyödyntämisen kytkeminen poliittiseen ja yhteiskunnallisen päätöksentekoon ja toimintaan. Kaukokartoituksen ja erityisesti siinä syntyvän aineistomassan ”big datan” hyödyntämisen lisäksi myös sen tiedon sekä aineiston käytettävyydessä ja palvelullistamisessa olisi vielä kehitettävää, jotta tieto paremmin palvelisi eri viranomaisia ja myös päättäjiä yhteiskunnan varautumis- ja sopeutumis suunnitelmia laadittaessa.

Vastaavasti häiriöt sää- ja ilmastohavaintoja tuottavassa avaruustoiminnassa voivat aiheuttaa erisuuruisia vahinkoja epäsuorasti riippuen häiriön laajuudesta ja kestosta. Lyhyelläkin aikavälillä säähavaintojärjestelmän häiriintyminen voi aiheuttaa vaikeuksia äärimmäisiin sääilmiöihin (kovat myrskyt, äkilliset kovat rankkasateet, tulvat jne.) varautumiseen ja niiden seurauksien korjaamiseen sekä omaisuus- ja henkilövahinkojen välttämiseen tai minimointiin, sekä näihin liittyvän viranomaistoiminnan johtamiseen. Arkisemmin ajankohtainen ja tarkka säätieto on tärkeää esim. liikenteen, erityisesti merenkulun ja lentotoiminnan turvallisuudelle. Pidempiaikaisten häiriöiden vaikutuksia on vaikea hahmottaa, siksi että esim. ympäristön tilan ja ilmastomuutoksen seurannan estyminen ja heikentyminen aiheuttaa mahdollisia vahinkoja epäsuorasti ja vasta pidemmän ajan kuluessa.

⁷⁴ ESA, Role of EO in understanding climate change, <https://climate.esa.int/en/evidence/role-ee-understanding-climate-change/>



Kuva 11. Avaruustoiminnan vaikutuspolku ilmastonmuutoksen seurannassa ja yhteys hallitusohjelman tavoitteisiin

3.2.6 Avaruustoiminta kansallisessa turvallisuudessa

Tausta

Maanpuolustuksen tai kansallisen turvallisuuden yhteydessä ensimmäisenä avaruustoiminnan sovelluksena herkästi mielletään esim. paikannuksen ja reittinavigoinnin käyttö operatiivisessa toiminnassa, tulenjohto ja maalien osoittaminen, joukkojen ja osastojen välinen satelliittikommunikaatio ja muut operatiivisen toiminnan käytännön aspektit.

Sotilaallinen maanpuolustus on kuitenkin vain yksi osa puolustusta, ja se nojaa laajempaan yhteiskunnan vakauteen. Siviiliväestön turvallisuus ja elinehtojen turvaaminen ovat yhtäläillä tärkeitä päämääriä. Lisäksi puolustusvoimien suorituskyvyt ja sodankäyntikyky pidemmässä konfliktissa ovat riippuvaisia avaruustoiminnasta. Ilman toimivaa logistiikkaa ei ole myöskään sotilaallisia suorituskykyjä ja sodankäynti erityisesti ensimmäisten viikkojen ja kuukausien jälkeen vaatii yhteiskunnan kriittisten toimintojen turvaamisen, jotta sotatalous saadaan käynnistettyä ja siviiliväestön sekä joukkojen huolto ja muu logistiikka pystytään turvaamaan. Tätä kerroksellista ja systeemistä ajattelua kutsutaan kokonaisturvallisuuden ajatteluksi, joka nojaa lisäksi vahvasti viranomaisten, elinkeinoelämän, järjestöjen ja kansalaisten yhteistyöhön.

Suomen kansallinen turvallisuus sotilaallisen tai muun kriisin yhteydessä nojaa kokonaisturvallisuuden malliin. Turvallisuuskomitean määrittelemänä kokonaisturvallisuus on ”tila, jossa yhteiskunnan elintärkeisiin toimintoihin kohdistuviin uhkiin ja riskeihin on varauduttu”⁷⁵ (TSK 50) Kokonaisturvallisuuden selkärankana Yhteiskunnan turvallisuusstrategian⁷⁶ mukaan elintärkeitä toimintoja ovat: 1) Johtaminen – laillisen valtionjohdon toimintakyvyn ja kriisitilanteen hallinnan varmistaminen, 2) Kansainvälinen ja EU-toiminta – kansainvälinen yhteistyö erit. kriisien ennaltaehkäisemiseksi, 3) Puolustuskyky – puolustuskyvyn/PV:n suorituskykyjen ylläpito ja kehittäminen turvallisuusuhkien mukaan, 4) Sisäinen turvallisuus – laillisen järjestyksen ja yleisen turvallisuuden ylläpito, 5) Talous, infrastruktuuri ja huoltovarmuus – turvallisuutta ja puolustuskykyä ylläpitävien resurssien turvaaminen, 6) Väestön toimintakyky ja palvelut – toimintakykyä ylläpitävät peruspalvelut väestölle, 7) Henkinen kriisinkestävyys – väestön henkisen toimintakyvyn ja resilienssin ylläpito.

Kokonaisturvallisuus on jopa ensisijaisesti yhteistoimintamalli, jonka piirissä toimijat (viranomaiset, yritykset, yhdistykset ja kansalaisjärjestöt jne.) jakavat ja analysoivat turvallisuutta koskevaa tietoa sekä suunnittelevat, harjoittelevat ja toimivat yhdessä.⁷⁷

Kokonaisturvallisuuden kannalta samat avaruustoiminnan palvelut ovat olennaisia normaalioloissa kuin kriisissäkin. Muissa tapauksissa on jo esitetty erilaisia sovelluksia, ja sitä millainen merkitys sijainti- ja paikkatiedolla, kaukokartoituksella ja satelliittiviestinnällä on infrastruktuurin ja yhteiskunnan toiminnan kannalta, ja tämä kuvaus koostuu suurelta osin samoista rakennusosista kuin edelliset.

Avaruustoiminta kokonaisturvallisuudessa

Kriisioloissa olennaista on valtionjohdon, viranomaisten, yritysten ja kansalaisten kyky toimia kriisin ratkaisemiseksi. Tilannetieto ja viestintä ovat ensiarvoisen tärkeitä. Esimerkiksi puolustuselonteossa todetaankin, että tiedon käsittelyn ja ohjauksen teknisten edellytysten parantamisella on tärkeä rooli kyvyssä käsitellä kriisitilanteita. Puolustuselonteossa todetaan, että ”avaruuspuolustuksella suojataan maanpuolustuksen toimintoja ja muuta yhteiskuntaa avaruudesta kohdistuvilta uhkilta sekä turvataan yhteiskunnan kannalta kriittisten avaruusjärjestelmien ja -palveluiden toiminta kaikissa

⁷⁵ Turvallisuuskomitea/Sanastokeskus TSK 2017 Kokonaisturvallisuuden sanasto, TSK 50

⁷⁶ Turvallisuuskomitea/VN 2017 Yhteiskunnan turvallisuusstrategia, Valtioneuvoston periaatepäätös PLM/2017/58

⁷⁷ YTS, Valtioneuvoston puolustuselonteko, VN:n julkaisuja 2021:78

olosuhteissa. Puolustusvoimien ja muiden viranomaisten toiminta on yhä enemmän riippuvaista avaruudellisista järjestelmistä.”⁷⁸

Lisäksi todetaan, että ”kansallisen turvallisuuden ja maanpuolustuksen kannalta on välttämätöntä, että tietovarannot, tietoliikennetarkaisut ja tietojärjestelmät kyetään suojaamaan väärinkäytöltä.” Avaruustoiminnan tarjoaa omalta osaltaan ratkaisuja tiedonvälitykseen ja tilannekuvan luomiseen. Edellä on käsitelty jo laajasti kaukokartoituksen palveluja ja niiden hyötyjä ympäristövalvonnassa ja pelastuksessa, ja näiden osana mm. luonnonkatastrofeihin varautumisessa ja niiden ennustamisessa. Mahdollisuus saada ajantasaista tietoa ympäristössä tapahtuvista muutoksista ja liikkeistä on olennaista tilannekuvan luomisen kannalta.

Samoin tiedonsiirto ja viestintä ovat olennaisessa roolissa, ja avaruustoiminta tarjoaa siihen jo nyt ratkaisuja. Maanpäälliset verkot eivät ole yhtä alttiita esim. radiotaajuisille häiriöille tai sään vaikutuksille, mutta kiinteät kaapeliyhteydet ovat haavoittuvia luonnon- tai muissa onnettomuuksissa tai sabotaasin suhteen. Tulevaisuudessa satelliittitiedonsiirron kehittyessä niitä voidaan myös käyttää maanpäällisten verkkojen varmistamiseen. Lisäksi Suomen erityisenä haasteena ovat pohjoiset harvaan asutut alueet, joissa maanpäällisillä langattomilla verkoilla on katveita, jotka aiheuttavat jo normaalioloissa viranomaisillekin haasteita. EU:n avaruusohjelmaan kuuluva viranomaisten turvallinen satelliittiviestintäpalvelu, GOVSATCOM, voi tulevaisuudessa olla varmentava ja täydentävä osa viranomaisten maanpäällisiä viestintätarkaisuja kuten Virve 2.0 -palvelua.

Kuten yllä keskusteltiin, sijainti- ja paikkatiedolla on keskeinen merkitys viranomaisten operatiivisessa toiminnassa, sekä turvallisuuden, tehokkuuden että tehtävien onnistumisen kannalta. Samoin paikkatieto näyttelee keskeistä roolia liikennejärjestelmässä ja logistiikan toiminnassa, mikä korostuu poikkeusoloissa. Kun logistiikan merkitys ja riskit toimitusten onnistumisessa kasvavat, kuljetusten reaaliaikainen seuranta ja tilanetieto ovat ensiarvoisen tärkeitä mm. riskien hallinnan, varautumisen ja tehokkaan suojuetoiminnan mahdollistamiseksi.

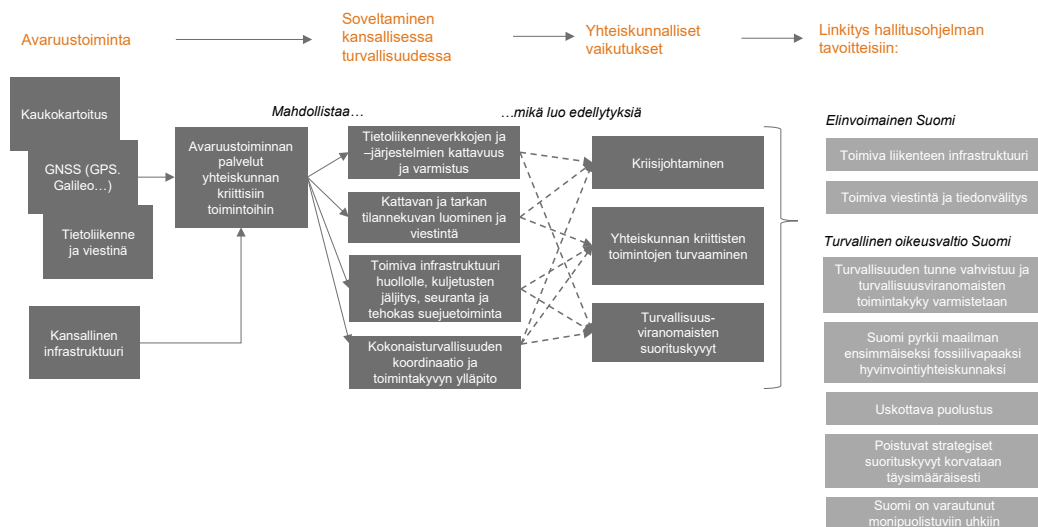
Vaikka poikkeusoloista keskusteltaessa huomio kiinnittyy ensisijaisesti viranomaisten toimintaan, kokonaisturvallisuuden mallin mukaisesti yritysten toiminta sekä väestön toimintakyky ja kriisinsieto ovat olennaisessa asemassa kriisien ratkaisussa ja niiden jälkeisessä elämässä. Avaruustoiminnan lisäarvo toimintakykyyn ja kriisinsietoon on samankaltainen yritystoiminnan ja väestön kannalta kuin viranomaistoiminnassa. Tiedonvälitys ja tilannekuva näyttelevät keskeistä roolia kriisin käsittelyssä ja toiminnan

⁷⁸ Valtioneuvoston puolustuselonteko, VN:n julkaisu 2021:78

koordinoinnissa. Samoin kuljetusten ja logistiikan toimintavarmuuden merkitys kasvaa.

Yhteenveto

Kokonaisturvallisuuden näkökulma yhdistää muissa tapauksissa tunnistettuja avaruustoiminnan hyötyjä ja alleviivaa avaruustoiminnan merkitystä yhteiskunnan kriittisille toiminnolle poikkeusoloissa. Avaruustoiminnan roolit ja käyttötarkoitukset ovat samanlaisia poikkeusoloissa kuin normaalioloissakin, mutta niiden merkitys yhteiskunnan kriittisille toiminnolle kasvaa.



Kuva 12. Avaruustoiminnan vaikutuspolku kansallisessa turvallisuudessa ja yhteys hallitusohjelman tavoitteisiin

3.3 Yhteenveto avaruustoiminnasta hallinnossa ja sen lisäarvosta

Yleiskuva avaruustoiminnan hyödyistä ja yhteydestä hallitusohjelman toteutukseen

Selvitystehtävän mukaisesti hankkeessa on hahmotettu avaruustoiminnan tuottama lisäarvo eri hallitusohjelman tavoitteisiin. Sovellukset ovat siinä määrin laajat, että niitä on hankala tiivistä yhteen luettavaan kuvioon, sen sijaan Taulukossa 6 on käytetty tiiviisti

läpi hallitusohjelman tavoitteet ja miten avaruustoiminta liittyy niihin. Hankkeessa kerättyjen aineistojen analyysin perusteella on selvää, että avaruustoiminta liittyy olennaisesti hallitusohjelman toteuttamiseen suoraan ja epäsuorasti.

Avaruustoiminta ja sen tuottamat palvelut (kuten paikkatieto ja tietoliikenne) ja aineistot (kuten satelliittikuvat, sensoriaineistot) ovat yleiskäyttöistä tai geneeristä teknologiaa, jota voidaan soveltaa eri kohteisiin ja joka mahdollistaa laajan joukon erilaisia käyttötapoja, uusia palveluita ja sovelluksia, sekä tarjoaa tietoa ja keinoja olemassa olevien järjestelmien ja työtapojen kehittämiseen ja tehostamiseen.

Avaruustoiminta on jopa kriittistä yhteiskunnan normaalille toiminnalle ja vakavat avaruustoiminnan häiriöt erityisesti pitkäkestoisena voivat esim. lamauttaa tai ruuhkauttaa pahasti liikennejärjestelmän, matkustamisen, rahdin kulun, normaalin liiketoiminnan ja sitä kautta koko yhteiskunnan normaalin toiminnan. Avaruustoiminnan tuottamat palvelut ja sovellukset korostuvat myös poikkeustilanteissa, kuten pelastustoimessa ja kokonaisturvallisuudessa.

Avaruustoiminnan sovelluksien välistä tärkeyttä arvioitaessa, hallinnon arvioiduilla suorilla henkilötyövuosilla mitattuna kaukokartoitus on suurin avaruustoiminnan ja soveltamisen ala Suomessa ja sitä käytetään hyödyksi laajasti viranomaistoiminnassa ja sen sovellukset liittyvät myös keskeisesti hallitusohjelman tavoitteiden toteuttamiseen. Kaukokartoituksesta voidaan muodostaa suora linkki hallitusohjelman ympäristö ja kestävyystavoitteisiin. Yhteiskunnan kriittisten toimintojen kannalta kuitenkin GNSS-järjestelmien palvelut kuten paikannus ja aika ovat yhtälailla tärkeitä liikennejärjestelmän toiminnalle ja sitä kautta myös kestävyystavoitteille, sekä myös liike-elämälle.

Vaikka avaruustoiminnan hyödyntämiskohteet ovat hyvinkin erilaisia, havainnot erityisesti hyödyistä ovat varsin samankaltaisia, ja hyvin tyypillisiä yleiskäyttöiselle teknologialle: avaruustoiminta mahdollistaa muiden toimintojen tehostamisen, tarkentamisen, ja paremman tuottavuuden. Toisin päin, avaruustoimintaa hyödyntämällä voidaan esim. samalla tai pienemmällä henkilötyöpanoksella kerätä ja analysoida enemmän, kattavampaa, vertailukelpoisempaa ja toistuvaa aineistoa, jolloin saadaan kattavampia ja tarkempia havaintoja, tai voidaan muodostaa tarkempi tilannekuva nopeammin, navigoida turvallisemmin ja ylipäätään voidaan tehdä parempia päätöksiä. Avaruustoiminnasta tekee kriittisen ja käytännössä korvaamattoman juuri se, että sitä hyödynnetään ja siihen tukeudutaan suuressa osassa yhteiskunnalle kriittisiä toimintoja, ja näiden toimintojen toteuttaminen ei onnistuisi totutulla palvelutasolla ja kustannuksin muilla teknologioilla.

Taulukko 6. Hallitusohjelman osa-alueet/tavoitteet ja avaruustoiminnot, jotka niitä edistävät

Hallitusohjelman osa-alueet/tavoitteet	Miten avaruustoiminta kohdistuu tähän tavoitteeseen; miten avaruustoiminta edistää tavoitteen saavuttamista ja millä hallinnonaloilla?	Avaruustoiminnan vaikutuspolku ja lisäarvo
Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi	<p>SYKE, Luke, IL ja VTT, Maanmittauslaitos, yliopistot, sekä luonnonvara- ja satoarviointia tarjoavat yritykset, seuraavat luonnonvaroja ja ympäristön tilaa hyödyntäen satelliittien tuottamia aineistoja, sekä tuottavat tietoa politiikan ja luonnonvarojen käytön tueksi.</p> <p>Paikkatiedon hyödyntäminen liikennejärjestelmän kehittämisessä ja ohjauksessa auttaa säästämään polttoainetta ja minimoimaan päästöjä.</p>	<p>Ympäristön tilan seurannan reaaliaikaisuus ja tarkkuus antavat parempaa tietoa politiikkatoimien suunnitteluun ja päätöksentekoon, politiikkatoimien vaikutusarviointiin ja viranomaisvalvonnan tueksi.</p> <p>Satelliittipaikannus on olennainen osa infrastruktuuria, julkinen liikenne ja erityisesti lento- ja meriliikenne ovat lähes täysin riippuvaisia satelliittipaikannuksesta. Paikkatiedolla on keskeinen osa tehokkaampien ja vähäpäästöisten liikennetkaisuuden ja -järjestelmien kehittämisessä ja toteutuksessa.</p>
Suomi kokoaan suurempi maailmalla	<p>Avaruustoiminta itsessään, kuten osallistuminen ja vaikuttaminen osana kansainvälisiä EU:n, ESA:n ja muita kv. avaruusohjelmia on tiede- ja teknologiadiplomatian alusta, ja sitä hyödyntävä tutkimus ja viranomaistoiminta, kuten ympäristön tilan seuranta ja luonnonvarojen arviointi antavat tietoa kv. politiikkaan sekä diplomatian tueksi. Toimijoita ovat valtioneuvosto, avaruustoimintaan osalliset tutkimusorganisaatiot, viranomaiset, ja liike-elämä.</p>	<p>Avaruustoiminta ja sitä hyödyntävä tutkimus tuottavat parempaa, kattavampaa, ajantasaista, jne. tietopohjaa kansainväliseen vaikuttamiseen. politiikkatoimien ja diplomatian sisältöjen suunnitteluun ja seurantaan.</p> <p>Eryteisesti tiede- ja teknologiapolitiikan saralla kv. yhteistyö avaruustoiminnan ohjelmissa mahdollistaa Suomen kokoaan suuremman vaikutuksen.</p>
Turvallinen oikeusvaltio Suomi	<p>Avaruustoiminta (erit. paikannus, viestiyhteydet) ovat osa yhteiskunnan kriittisten toimintojen ja kriisiajan suorituskykyjen kannalta välttämätöntä infrastruktuuria sekä viranomaisten suorituskykyjä.</p>	<p>Avaruustoiminta (erit. paikannus, viestiyhteydet) ovat osa yhteiskunnan kriittisten toimintojen ja kriisiajan suorituskykyjen kannalta välttämätöntä infrastruktuuria myös EU-tasolla. Suomalaisena erityiskysymyksenä on harvaan asuttujen alueiden viranomaistoiminta.</p>

**Hallitusohjelman osa-
alueet/tavoitteet**

**Miten avaruustoiminta kohdistuu tähän tavoitteeseen;
miten avaruustoiminta edistää tavoitteen saavutta-
mista ja millä hallinnonaloilla?**

Avaruustoiminnan vaikutuspolku ja lisäarvo

Elinvoimainen Suomi

Avaruustoiminta on kriittinen osa liikenteen ja viestinnän infrastruktuuria.

Avaruustoiminta tarjoaa suoraan tehokkuutta ja tuottavuutta nostavia ratkaisuja teollisuuteen, liikenteeseen ja logistiikkaan, sekä maa- ja metsäteollisuuteen.

Avaruustoiminta ja avaruusohjelmat toimivat alustana tutkimus- kehittämis- ja innovaatiotoiminnalle, jossa kehitetään uusia teknologioita, tuotteita ja palveluita, joita voidaan soveltaa avaruustoiminnan ulkopuolella.

Avaruustoiminta ja ohjelmat toimivat suoraan ja epäsuorasti alustana (kannusteena, suuntaajana, jne.) tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnalle. Tuloksena on paitsi avaruustoimintaa, epäsuorasti teknologiaa, tuotteita ja palveluita, jotka hyödyttävät muita aloja.

Hyödyntämisen esteet, haasteet ja hidasteet

Käytännön toiminnan tasolla keskeisiä hidasteita ovat toiminnan rahoitus ja resursointi eri tasoilla. Hallinnon piirissä tehdyissä haastatteluissa suurimpien osaamisen keskittymien ulkopuolella nostettiin esiin avaruustoiminnan hajanaisuus, kriittisen massan ja osaamisen puuttuminen. Hallinnonalojen haastatteluista nousi esiin toisiinsa kietoutuva vyyhti haasteita, jotka liittyvät avaruustoiminnan hallinnointiin ja koordinointiin. Haastateltavat tunnistavat, että nykyisen ANK:n järjestäytyminen ja samaan aikaan käyttöön otettu uusi strategia ja hallinnon koordinoinnin keskittäminen ovat olleet selkeitä parannuksia.

Haastateltavat nostivat esiin, että siitä huolimatta avaruustoiminnan hallinnointiin varatut resurssit ovat tehtäviin nähden liian pienet sekä monilla hallinnonaloilla, että valtioneuvoston tasolla yhteensä. Haastatteluiden perusteella vaikuttaa, että avaruustoiminnan hallinnointi ja siihen liittyvät prosessit kuten esim. delegaattityö henkilöityvät vahvasti ja asioiden eteneminen on paljon yksittäisten viranhaltijoiden innostuksesta ja sitoutumisesta kiinni. Paikoitellen avaruustoiminta ja siihen liittyvä hallinto on yksittäisten ihmisten varassa, jotka osallistuvat avaruustoimintaan tai -hallintoon oman viran tai toimen ohella. Aineistoa kerätessä vaikutelma sai vahvistusta, että valtioneuvoston tasolla avaruustoiminnan kokonaisuus ja sitä koordinoivat prosessit hahmottuvat hallinnon sisällä huonosti.

Avaruushallintoon ja edustukseen liittyvänä periaatteellinen ja rakenteellinen riskinä nostettiin esiin useammassa haastattelussa, että käytännön delegaattityössä ESA:ssa ja EU:n ohjelmissa osissa komiteoita edunsaajaorganisaatioiden edustajat edustavat samalla koko Suomen avaruushallintoa. Osana ratkaisua eri hallinnonaloilta toivottiin avaruustoiminnan koordinointiin yleisesti ja erityisesti avaruushallinnon solmukohtaan TEM:n selkeästi enemmän resursseja, jotta delegaattitoiminnan tiedonkulkua ja järjestelmällisyyttä pystyttäisiin kehittämään.

Edellä kuvatut haasteet heijastuvat myös suhteessa kansainvälisiin ohjelmiin. Haastatteluissa nähtiin, että koska avaruushallinnolla yleisesti tai delegaateilla henkilökohtaisesti ei ole aikaa ja resursseja, eikä prosesseja joihin nojata, on hankala valmistella yksityiskohtaisia kansallisia kantoja valmisteltaviin kysymyksiin, ja näin myös kansainvälinen yhteistyö ja osallistuminen ohjelmiin on suhteellisen pistemäistä ja paljon kiinni jälleen yksittäisten viranhaltijoiden verkostoista, resursseista ja sitoutumisesta. Yhteensä tämän nähtiin aiheuttavan mahdollisesti menetettyjä tai hyödyntämättömiä mahdollisuuksia.

Samoin ja mahdollisesti osaksi samasta syystä avaruustoiminnan ohjaus koettiin puutteelliseksi; haastateltavat esittivät, että esim. kansallinen avaruusstrategia asettaa hyviä tavoitteita, mutta heidän näkökulmastaan ei ole näkyvissä millä konkreettisilla toimilla, milloin ja millä resursseilla aiotaan päästä tavoitetilaan.

Avaruustoiminnan ja -hallinnon rahoitus ja resursointi huolettivat myös suuremmissa ryhmissä/keskitymissä, koska monissa sovelluksissa on olennaista, että satelliittien tuottaman aineiston, jota saadaan jopa ilmaiseksi, täysipainoinen hyödyntäminen edellyttää satelliittihavaintojen yhdistämistä maanpäällisen näytteenottoverkoston tuottamaan aineistoon. Näin avaruustoiminnan infran, eli tiedon/aineiston keräämisen, varastoinnin, analysoinnin jne. puiteiden rahoitus on olennaista avaruustoiminnan tuloksellisuudelle. Erityiskysymys, joka liittyy lakisäätöihin valvontatehtäviin, on satelliittisovelluksilla tuotetun tiedon ja menetelmien vakiintumattomuus ja perinteisiin mittausmenetelmiin nojautuva lainsäädäntö. Uusien mittausmenetelmien standardointi, verifiointi ja validointi sekä jalkautus vaatii resursoinnin ohella käytäntöjen ja lainsäädännön tarkistamista.

Taustadokumenttien katsauksessa tuli esille, että avaruushallinnon keskittäminen ja jopa avaruusviraston perustaminen on nostettu esille säännöllisesti. Asiaa käsiteltiin hankkeen haastatteluissakin ja pääosin avaruushallinnon koordinoimien kerääminen TEM:n nähtiin parannuksena, mutta ajatus omasta hallintovirastosta ei saanut ainkaan kaikilta haastateltavilta varauksetonta kannatusta. Syyt vastustaa avaruushallinnon keskittämistä ja/tai (ääritapauksessa) kansallisen avaruusviraston perustamista menevät karkeasti kahteen luokkaan. Ensimmäinen on, että joidenkin näkemysten mukaan etabloituneet avaruustoimijat ovat ”tehneet olonsa mukavaksi”, ja ovat jo mukana delegaattitoiminnassa, hyvin verkostoituneet ja hallintoprosessit toimivat heidän näkökulmastaan hyvin ja ketterästi. Näin näiden toimijoiden näkökulmasta ei ole selvää, miten tilanne paranee hallinnon keskittämisellä mahdollisesti johonkin muualle. Toisena liittyvänä huolena ilmeisesti on, että keskitetyn hallinnon tai viraston perustaminen paitsi vie edustusta toimijoilta, sen epäillään syövän ennestään rajallisia rahallisia panoksia.

Avaruustoiminnan kehittämisen kannalta avaruushallinnon organisointi ja hallinnollinen muoto ovat toissijaisia sen rinnalla, että tuloksellisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi avaruusstrategian piirissä tapahtuvaan julkis-yksityiseen (PPP) yhteistyöhön olisi syytä valita rajattu määrä konkreettisia kehittämisen kärkiä, joilla on selkeät toimenpideohjelmansa, joihin sitoudutaan pitkäjänteisesti, ja näiden toteuttamiseen varatut kansalliset resurssit (henkilöt, osaaminen ja budjetti). Lisäksi olisi eduksi, jos kansallisilla toimenpiteillä olisi selkeä yhteys EUSPA:n ja ESA:n ohjelmiin ja sitä kautta silta ja entistä parempi vipuvaikutus EU-rahoitukseen, ml. Horizon Europe,

EDF ja Cassini. Lisäksi jos halutaan tukea ja mahdollistaa kaupallista avaruustoimintaa, keskitetty avaruushallinto ja jonkin tasoinen ”yhden luukun periaate” helpottaisi uusia toimijoita pääsemään alalle.

Keskustelu avaruustoiminnan strategisuudesta ja kehittämisestä kytkeytyy myös käynnissä olevaan kansalliseen TKI-politiikan keskusteluun ja niiden näkyvimpänä tuotoksena vuoden 2021 lopussa julkaistuihin parlamentaarisen TKI-työryhmän loppuraporttiin sekä päivitettyyn kansalliseen TKI-tiekarttaan.⁷⁹ Kansallinen TKI-politiikka tähtää yleistavoitteena tutkimuksen ja kehittämisen investointien kasvattamiseen, jonka tarkoituksena on kestävään kasvuun ja hyvinvoinnin turvaamiseen. Avaruustoiminnan heikkous tässä yhteydessä vaikuttaa olevan, että se yhteiskunnallisesta merkittävyydestä ja sovellusten laajuudesta huolimatta näyttäytyy keskustelussa etäisenä erikoisalana.

⁷⁹ Parlamentaarisen TKI-työryhmän loppuraportti, Valtioneuvoston julkaisuja 2021:95; VN, Kansallinen tutkimuksen, kehittämisen ja innovaatioiden päivitetty tiekartta,

4 Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet

Tässä luvussa käsitellään Suomen asemoitumista avaruustoiminnassa ja ennakoidaan mitä mahdollisuuksia avaruustoiminnan sovelluksiin liittyy lähitulevaisuudessa, sekä analysoidaan avaruustoimintaan liittyviä riskejä. Luku vastaa osaltaan selvityksyyksiin 3–5.

Taulukko 7 (alla) kuvaa kansainvälisen avaruustoiminnan kärkiä, toiminnan tasoa ja volyymia sekä kotimaisen toiminnan mahdollisuuksia tuottaa lisäarvoa. Tiivistelmä perustuu kirjoittajien kokemukseen avaruustoiminnasta, haastatteluihin ja tutkimuskirjallisuuteen. Tarkemmat kuvaukset kustakin osa-alueesta ja niiden tulevaisuuden mahdollisuuksista esitetään tiivistelmän jälkeen.

Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus ja etenkin sen mahdollistamat palvelut ovat mukana jokapäiväisessä toiminnassa. Nykyisiä kehityksen ja tutkimuksen ajureita ovat usean järjestelmän integroiminen yhteen, jotta saadaan toimivat paikannusratkaisut niin sisä- kuin ulkotiloihin sekä paikannuksen kolmiulotteisen tarkkuuden ja tietoturvan parantaminen.

Suomessa paikannusteknologian ja käytön tärkein kehittäjä on Paikkatietokeskus FGI. Myös esimerkiksi Vaasan ja Helsingin yliopistot ovat aktiivisia. Tänä päivänä kansainvälisesti merkittävää työtä tehdään luotettavien ja häiriösietoisten menetelmien kehittämisessä ja tällä osa-alueella myös Huld Oy ja VTT toimivat. Häiriösietoiset ja luotettavat paikannuspalvelut sekä häiriöiden tunnistaminen ovat aiheita, joissa Suomi kansainvälisesti voi tuottaa lisäarvoa.

Kaukokartoitus

Maapallon kaukokartoitus avaruudesta on ainoa ihmiskunnan käytössä oleva työkalu, joka tarjoaa kattavaa, lähes reaaliaikaista tietoa koko planeetan tilasta. 2010-luvulta alkaen eurooppalainen Copernicus-ohjelma on mullistanut kaukokartoituksen tuotetun aineiston määrällä ja avoimella käyttöoikeudella. Suuret aineistomäärät ovat siirtäneet datan varastoinnin ja jatkojalostuksen pilvipalveluihin. Esimerkiksi Euroopassa on EU:n tuella perustettu *Data and Information Access Services* (DIAS) -järjestelmiä. Copernicus-ohjelman jatkuvuus on turvattu vuosikymmeniksi eteenpäin samoin kuin tehostuvien EUMETSAT:n sääsatelliittiohjelmien. Copernicus-ohjelmaa täydentävät

kaupalliset korkean erotuskyvyn satelliitit ja tiheän kuvaustoistuvuuden optiset satelliitit kuten amerikkalainen Planet tai tutkasatelliitit kuten suomalainen ICEYE Oy.

Sekä kansainvälisesti että Suomessa tärkeimmät sovellusalat ovat luonnonvarojen hyödyntäminen sekä meteorologia ja ilmastonmuutos. Luonnonvarojen alueella Suomessa korostuu metsien kaukokartoitus, jolla on yhtymäkohdat myös ilmastonmuutokseen. Keskeiset tutkimusyksiköt ovat VTT, Luke, Paikkatietokeskus, SYKE sekä Itä-Suomen ja Helsingin yliopistot. Tutkimuksen voidaan katsoa olevan kansainvälistä kärkeä. Toinen kärkiosaaminen Suomessa on jääpeitteen ja lumen seuranta, jota tekevät Ilmatieteen laitos ja SYKE. Myös ilmakehän kaukokartoitustutkimuksen ja veden laadun arvioinnin alueella on kansainvälisen tason osaamista. Kansainvälisesti tärkeä maatalous ei ole toistaiseksi ollut Suomessa keskeinen tutkimuskohde mutta sen voi odottaa nousevan muun muassa Kuva Space Oy:n ja VTT Oy:n hyperspektrisatelliittimission vanavedessä.

Tietoliikenne

Tietoliikenteessä on käynnissä kaksi kansainvälistä murrosta: verkkojen integroituminen yhteen ja suuret, jopa tuhansien satelliittien ”megakonstellaatiot”, kuten SpaceX-yrityksen Starlink. Tavoitteena on mahdollistaa korkealaatuiset laajakaistapalvelut kaikissa maapallon kolkissa ja reaaliaikaisen paikkaan sidotun tiedon välittäminen myös satelliittijärjestelmän sisällä. Satelliittitietoliikenteen osuus kasvaa ja kohti 6G-verkkoja mentäessä myös kestävän kehityksen periaatteet ovat vahvana ajurina tutkimuksessa. Yhdysvaltalaiset toimijat ovat olleet tienraivaajana, ja Euroopassa on herännyt myös EU komission aloite avaruusperustaisesta turvallisesta viestintäjärjestelmästä (*EU space-based secure communication system*)⁸⁰.

Kansalliselta kannalta tietoliikennetutkimuksen avulla kehitetään lähitulevaisuudessa ratkaisuja etäisille alueille ja varayhteyksiksi varmentamaan muita toimintoja. Suomessa integroitujen verkkojen ja isojen satelliittikonstellaatioiden tutkimus on keskittynyt muutamaan toimijaan, näkyvimpänä ovat VTT Oy, Magister Solutions Oy, Bittium Oy ja Tampereen sekä Oulun yliopistot. Lisäksi mukana on useita laite- ja komponenttikehittäjiä kuten RUAG Space Finland Oy ja DA-Group Oy sekä taajuushallinnan puolelta Fairspectrum Oy. Myös Aalto-yliopisto on vahva laitekehityksessä. Tietoliikenneosaaminen etenkin mobiiliverkkopuolella ja viranomaiskommunikaatiossa on vankkaa suomalaisessa ekosysteemissä.

⁸⁰ EC, 2022. EU initiates a satellite-based connectivity system and boosts action on management of space traffic for a more digital and resilient Europe, Saatavilla: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_921

Taulukko 7. Kansainvälisen teollisuuden piirissä tapahtuvan avaruustoiminnan nykyiset ja lähitulevaisuuden kärjet tietoliikenteessä, paikannuksessa ja kauko-kartoituksessa sekä suomalaisen toiminnan kilpailukyky ja potentiaalinen tuotettu lisäarvo keskeisine toimijoineen

Kv. avaruustoiminnan kärjet	Mikä lisäarvo Suomelle/suomalaisille toimijoille	Suomalaisten toimijoiden kilpailukyky, TKI-toiminnan taso ja volyymi; kyky ottaa vastaan ja hyödyntää	Mitä lisäarvoa suom. toimijat voivat tuottaa päästäkseen kv. verkostoihin	Keskeiset suom. toimijat teemassa
ESA:n 5G-ohjelma ja tulevat tietoliikennetkaisu sisältäen konstellaation.	Kansainvälinen verkottuminen tärkeimpien toimijoiden kanssa, 5G- ja 6G-tekniikan kehitys ja käyttö eri sovellusalueilla avaruustoiminnassa. Nopeasti kasvavat liiketoimintamahdollisuudet.	Tällä hetkellä kilpailukykyistä mm. maasegmentissä (3GPP-osaaminen), elektroniikassa ja kriittisen kommunikaation sovelluksissa. TKI-toiminnan taso korkea, volyymi voisi olla suurempaa.	Vahva tausta mobiiliverkoissa, 5G-tekniikan siirto avaruustoimintaan. Testaaminen ja pilotointi. Simulointijärjestelmät. Dynaamisen taajuushallinnan osaaminen.	RUAG Space Finland Oy, DA-Group Oy, Magister Solutions Oy, Bittium Oy, Fair-spectrum Oy, VTT, Kuva Space Oy
EU-ohjelmat 5G- ja 6G-tutkimuksessa sekä 3GPP-standardointi	Eurooppalainen yhteistyö, teknologiakehitys niin avaruus- kuin maanpäällisiin verkkoihin. Kasvava liiketoiminta.	Kilpailukykyistä mobiiliverkko-tekniologioissa ja elektroniikassa. TKI-toiminnan taso korkea, volyymi kansainvälisesti kohtalainen	5G- ja 6G-osaamisen lisäksi kestävä kehityksen periaatteet, kriittisen kommunikaation tarpeet ja osaaminen. Testaaminen ja pilotointi.	Nokia Oyj, Airbus Defence and Space Oy, Ericsson AB, VTT, Bittium Oy, Keysight Oy, Exfo Oy, Magister Solutions Oy, Faispectrum Oy, yliopistot: Oulu, Tampere, Aalto
Galileo-paikannus sisältäen PRS-kehityksen, GNSS-tekniikat	Kansallisen kyvykkyyden kasvattaminen ja resilienssi. Yhteiskunnan kriittisten järjestelmien vahvistaminen.	Kilpailukykyistä elektroniikan sekä paikannusmenetelmien kehittämisessä. Avaruussään vaikutus palveluihin. Volyymi kohtalainen.	Luotettavat navigointipalvelut, jotka ovat häiriösietoisia. GNSS-häirinnän tunnistaminen ja sieto.	Paikkatietokeskus FGI, Ilmatieteen laitos, Traficom, Vaasan yliopisto, Helsingin yliopisto, VTT, Huld Oy

Kv. avaruustoiminnan kärjet	Mikä lisäarvo Suomelle/suomalaisille toimijoille	Suomalaisten toimijoiden kilpailukyky, TKI-toiminnan taso ja volyymi; kyky ottaa vastaan ja hyödyntää	Mitä lisäarvoa suom. toimijat voivat tuottaa päästäkseen kv. verkostoihin	Keskeiset suom. toimijat teemassa
Copernicus-ohjelma, Euroopan vihreän kehityksen ohjelma sekä Destination Earth (DestinE)	Ilmainen ja korkeatasoinen satelliittiaineosto, sovelluskehitys. Eurooppalainen yhteistyö, liiketoiminta mahdollisuudet, tietoa päätöksentekoon	Satelliittidata-analyseissä kilpailukyky osa-alueilla kansainvälistä tasoa, kuten hiilen kierto- metsä-, lumi-, jääsoveluksissa, avaruussäässä sekä sisävesien laadun kartoituksessa.	Suomalaiset ovat jo keskeisiä toimijoita valittujen alueiden kv. verkostoissa. Työkaluina julkaisutoiminta, kv. tilaisuudet, yritysten palvelut.	VTT, Ilmatieteen laitos, SYKE, Luke, AFRY AB (Simosol Oy), Terramonitor Oy, Arbonaut Oy, Bitcomp Oy, Yliopistot: Aalto ja Helsinki
Alustatalous, massiivisten aineistomäärien älykäs tulkinta. Thematic Exploitation Platforms, DIAS, Wekeo, Google Earth Engine.	Aiempaa parempi tietojen yhdistely- ja analysointimahdollisuus mahdollistaa paremmat päätökset. Yritysten ja julkisen tahon yhteistyö helpottuu ja kv. markkinointi ja liiketoimintamahdollisuus paranevat.	Volyymit ja investoinnit toistaiseksi pienehköjä verrattuna kv. tasoon. Kyky hyödyntää kohtuullisen hyvällä tasolla.	Alustatalouden palveluita (esim. Forestry TEP) ja keinoälyalgoritmeja. Julkaisutoiminta, osallistuminen kv. tilaisuuksiin ja hankkeisiin.	VTT, Yliopistot: Helsinki ja Aalto, suuret ohjelmistotalot kuten Tieto Oyj ja CGI Suomi Oy.
Piensatelliitit, nanosatelliitit, hyperspektrisensorit, start up -jalostuspalvelut, "New Space"	Liiketoiminta mahdollisuudet, teknologiakehitys. Rajatuilla sovellusaloilla kasvanut tiedonsaanti (turvallisuusala)	Pientutkasatelliitit. Kilpailukykyistä elektroniikka- ja sensorikehityksessä.	Kokonaiset satelliittimissiot valituilla alueilla, kv. palveluliiketoiminta alustataloudessa, satelliittimissioiden komponentit	ICEYE Oy, DA Design Oy, Kuva Space Oy, Harp Technologies Oy, Huld, RUAG Space Finland Oy, VTT, Aalto yliopisto, Collective Crunch Oy, Terramonitor Oy

4.1 Satelliittipaikannus

4.1.1 Käynnissä olevat murrokset

Satelliittipaikannuksen toimiala kehittyi nopealla tahdilla ja uusia sovelluksia ilmaantuu jatkuvasti. Paikannustiedon käsittelyyn tarvittavien laitteiden ja teknologioiden yleistyessä myös datan määrä kasvaa. Tämä luo mahdollisuuksia rakentaa uusia arvoa lisääviä palveluita sekä käyttökohteita. Satelliittipaikannusteknologian kehitystä ajavat useat uudet innovatiiviset sovelluskohteet⁸¹ Nähtävissä olevat kansainvälisesti seuraavat murrokset ovat erityisesti

1. useiden paikannusmenetelmien yhtäaikainen käyttö ja integrointi yhteen ja
2. 3D-paikannuksen vaatimukset ja tietoturva.

Eri järjestelmien yhteiskäyttö ja avustepalvelut ja toissijaiset signaalit lisäävät paikannuksen luotettavuutta ja tarkkuutta. Paikannuksessa käytetään hyväksi signaalin suunta-, aika- sekä nopeustietoja ja mitä useampia menetelmiä on käytössä, sitä raskaampaa laskentaa tarvitaan. Tämä osittain rajoittaa nopeutta, jolla paikkatieto voidaan määrittää ja tuo omat haasteensa esimerkiksi liikenteen sovelluksiin. Satelliittipaikannusteknologian alalla termi "Accuracy 4.0" kuvaa uutta trendiä, jonka kehitystä nopeuttaa teollisuuden digitalisaatio (teollinen vallankumous 4.0/*Industrie 4.0*). Kehityksen ja tutkimuksen kannalta suurimpia kannustimia ovat erilaiset vastaanottimet, joihin on lisätty esimerkiksi 4G/5G-teknologiaa sekä muita sensoreita ja joiden tuottamaa aineistoa käsitellään edistyneillä algoritmeilla (sensorifuusio, tekoäly, syväoppiminen). Huipputarkan paikannustekniikan sulauttaminen yhteen muiden alojen teknologisten ratkaisujen kanssa on tärkeä osa tulevaisuuden tehokkuuden ja tuottavuuden nousua.

Perinteisissä paikannussovelluksissa olennaisena optimointikriteerinä on ollut kaksiulotteinen paikannus maan pinnalla. Tämä on ohjannut osaltaan myös 5G-paikannusta ja erilaisten satelliittipohjaisten menetelmien kehitystä. Tulevien 6G-verkkojen myötä⁸² odotetaan paikannuksen tarkkuuden nousua 10 cm tasolta aina 1 cm tark-

⁸¹ The European GNSS Agency (GSA). 2020, "GNSS user technology report. Issue 3, 2020". 105 s. doi.org/10.2878/565013

⁸² Dang ym. 2020, "What should 6G be?," Nature Electronics, vol. 3, no. 1, s. 20–29. doi.org/10.1038/s41928-019-0355-6

kuuteen kolmiulotteisesti eli myös pystysuunnassa. Tämä tarkkuuden lisäys vaatii moniulotteista verkkoarkkitehtuuria, jossa voidaan hyödyntää niin maanpäällisiä kuin ilmassa olevia ja satelliittijärjestelmiä tehokkaasti.

Perinteiset paikannus- ja navigointijärjestelmät ovat olleet kohtalaisen haavoittuvia häiriölle ja väärennetyille signaaleille. Samalla kun erilaisia menetelmiä integroidaan yhteen, luodaan myös lisää rajapintoja ja mahdollisuuksia hyökkäyksille. Tämän takia panostetaan parhaillaan voimakkaasti luotettavien, robustien paikannusmenetelmien kehitykseen, erityisesti Euroopassa esimerkkinä useasti mainittu Galileo PRS.

4.1.2 Keskeiset tutkimusalat

Satelliittipaikannuksen ja -navigoinnin sosioekonomiset vaikutukset voidaan teemoittaa pääpiirteittäin seitsemään keskeiseen sovellussektoriin (Taulukko 2)⁸³. Arvioimme myös kansainvälisen sekä kansallisen aktiivisuuden kyseisillä sovellussektoreilla. Aktiivisuuden arvioiminen perustuu tässä raportissa tekijäryhmän asiantuntija-arvioon. Vastaavanlainen selvitys on tehty hiljattain metsäsektorilla Tapion ja Oxfordin yliopiston toimesta⁸⁴.

Luonnonvarojen hyödyntämisessä tarvitaan huipputarkkaa paikannusta ja ratkaisuisia keskitytään yleisesti yhdistämään GNSS- ja kiihtyvyyssantureihin (ns. IMU-sensorit) perustuvaa inertianavigointia. Tätä ratkaisua on jo käytetty muun muassa maanviljelyssä sekä maanmittauksessa (vrt. tapauskuvaus edellä).

Kansainvälisessä tutkimuksessa paikannuksen luotettavuutta eri ympäristöissä kehitetään myös erilaisin hybridipaikannusmenetelmin käyttämällä sekä satelliittipaikannusjärjestelmiä että maanpäällisiä avustejärjestelmiä. Tavoitteena on saada aikaan muun muassa lisää tarkkuutta ja parantaa häiriösietoisuutta sekä kehittää niin sisäkuin ulkotiloissa toimivia ratkaisuja, jotka olisivat vahvempia häirintää vastaan. Sisätilapaikannus on yksi tärkeimmistä kehityskohteista hybridipaikannukselle. Hybridimalilla saadaan aikaan kaupunkiolosuhteissa toimiva paikannus, jossa voidaan hyödyntää kolmiulotteista mallinnusta

⁸³ PwC (PricewaterhouseCoopers), 2016. "Socio-economic impacts from Space activities in the EU in 2015 and beyond". 309 s. doi.org/10.2873/88313

⁸⁴ Webinar: The International Status of Finnish Forest Research, tapio.fi/tapahtumat/webinar-the-international-status-of-finnish-forest-research/

Taulukko 8. Satelliittipaikannuksen ja -navigaation sovellussektorit sekä keskeiset tutkimusalat. Kansainvälinen sekä Suomen aktiivisuus on merkitty ristin määrällä seuraavasti: ei lainkaan –, heikko x, kohtalainen xx, merkittävä xxx.

Teemat ja sovellussektorit	Esimerkkejä keskeisistä tutkimusaiheista	Kansainvälinen aktiivisuus	Suomen aktiivisuus	Perustelut
Luonnonvarojen hyödyntäminen	Huipputarkan paikannustarkkuuden ratkaisut, esim. kaivokset, täsmäviljely	xx	x	Kaivoksissa ulkotiloissa toimiva, tunneleissa muut ratkaisut esim. Sandvik. Täsmäviljelyssä eurooppalaisessa kehityksessä uusia synergia mahdollisuuksia Copernicus-, Galileo- ja EGNOS-ohjelmista. Suomessa kehitys alussa.
Meteorologia ja ilmastonmuutos	Mittausten ja paikannuksen tarkkuus ja mittauslaitteiden paikkatieto	x	–	Meteorologiassa in-situ sensoreiden käyttö. Mittauspisteet kiinteitä.
Katastrofihallinta	Löydä ja pelasta sovellukset, viranomaisten paikannus, ajastus ja verkon synkronointi	xx	xx	Aktiivisessa käytössä käytännön toiminnassa, esim. Rajavar-tiolaitos.
Liikenne ja logistiikka	Verkottunut ja automaattinen tieliikenne, hybridipaikannusmenetelmät	xxx	xxx	Kehitystä niin älykaupunkihankkeissa kuin vaikkapa Sodankylän testialueella. Mukana mm. Ilmatieteen laitos (IL) ja VTT.
Infrastruktuurit	Useamman taajuuden käyttö, tarkka aikatieto sähköverkoille ja tietoliikenneverkoille	xxx	xxx	Monitaajuusteknologiat, häirinnän tunnistaminen ja sieto sekä tarkka aikatieto aktiivisia tutkimuskohteita (esim. MML, IL ja VTT MIKES)

Teemat ja sovellussektorit	Esimerkkejä keskeisistä tutkimusaiheista	Kansainvälinen aktiivisuus	Suomen aktiivisuus	Perustelut
Terveys, koulutus ja elämäntyyli	Älypuhelinsovellukset urheiluun ja palveluiden löytöön, paikannetut kuljetuspalvelut	xx	xx	Terveys- ja urheilumarkkinassa esim. Suunto Oy ja Polar Electro Oy ovat hyvin aktiivisia. Tutkimusta useissa tutkimusorganisaatioissa.
Institutionaalinen toiminta	Tietoturvallinen ja häiriösitoinen paikannus ja PRS-palvelu	xxx	xxx	Kansallisesti vahva panostus, PRS:n käyttöönotto 2024 mennessä. Traficom, Erillisverkot ja Puolustusvoimat keskeisessä roolissa.

Katastrofien sattuessa ei voida toimia tehokkaasti ilman tarkkaa paikkatietoa (vrt. tapauskuvaus yllä). Luotettavaa häiriötä sietävää teknologiaa kehitetään myös viranomaistoimijoiden paikantamiseen hankalissa olosuhteissa kuten palokohteissa.⁸⁵ Eri menetelmiä yhdistämällä voidaan toimia luotettavammin haastavissa olosuhteissa kuten arktisella alueella⁸⁶.

Verkottuneella ja automaattisella tieliikenteellä on tulevaisuudessa suuri potentiaali (vrt. tapauskuvaukset edellä). Sijainnin ja ajan lisäksi ajoneuvot tarvitsevat reaaliaikaiset turvajärjestelmät, jotka voivat vaihtaa tietoa ja keskustella toisten ajoneuvojen ja ympäröivän infrastruktuurin kanssa. Tämä luo kovan tarpeen erittäin nopealle kommunikaatiolle. Tulevaisuudessa 5G:n odotetaan mahdollistavan tarpeeksi nopean tiedonsiirron ajoneuvojen välillä.

Satelliittipaikannuksen hyödyntämisessä ja sovellusten kehittämisessä on myös tiedostettu paikannuksen tietoturvaongelma, joka liittyy sekä radiotaajuisen lähetteen häirintään (*interference/jamming*) että lähetteen väärentämiseen (*spoofing*). Euroopan suurin tietoturvanhanke tällä hetkellä on jo useasti mainittu Galileo Public Regulated Service eli tietoturvallisen ja häiriösietoisen paikannuksen kehittäminen Galileo-paikannukseen⁸⁷. Avaruustoiminnan vaikuttavuuden kannalta PRS on yksi olennaisista lähitulevaisuuden kehityskohteista, jolla pyritään takaamaan kansalaisten turvallisuus kaikissa olosuhteissa. Tavoitteena on vaikeasti häiritävä ja väärentämisen estävä paikannussignaali, jonka avulla tarjotaan turvallisia palveluita kriittisille toimijoille kuten viranomaisille ja autonomiselle liikenteelle. PRS-palvelun avulla voidaan tukea eurooppalaisia julkisia turvallisuus- ja pelastuspalveluita, sisäistä turvallisuutta ja muuta viranomaistoimintaa sellaisissa tehtävissä, joissa edellytetään erityistä palvelun jatkuvuutta. PRS-signaalia lähetetään jo, mutta vastaanottimien kehitys, autentikointipalvelut ja järjestelmän kokonaistoiminnan määrittely ovat vielä työn alla.⁸⁸

⁸⁵ Del Peral-Rosado ym. 2020, "Exploitation of 3D City Maps for Hybrid 5G RTT and GNSS Positioning Simulations", ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings, 9205 s. doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9053157

⁸⁶ Yastrebova ym. 2021, "Positioning in the Arctic Region: State-of-the-Art and Future Perspectives", IEEE Access, vol. 9, s. 53964–53978. doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069315

⁸⁷ EUSPA, Public Regulated Service, euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/prs

⁸⁸ Suomessa PRS-viranomainen on liikenne- ja viestintävirasto Traficom, joka on päävastuussa järjestelmän määrittelystä ja käyttöönotosta. PRS on tarkoitus ottaa operatiiviseen käyttöön Suomessa vuoteen 2024 mennessä ja Erillisverkot tulee toimimaan sen palveluoperaattorina. Lisäksi Puolustusvoimat operoivat omia toimintojaan vuodesta 2026 lähtien hyödyntäen Erillisverkon käyttöönotossa todettuja hyviä tapoja ja toiminnallisuuksia.

Toinen tietoturvanäkökulma on GNSS-aikasignaalin turvallisuus, joka on edellä kuvastusti olennainen turvallisuudella ja yhteiskunnan kriittisille toiminnoille. Esimerkiksi *Galileo Authenticated Robust Timing System* (GEARS) -hankkeessa⁸⁹ kehitetään Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmää käyttävä ajanmäärittäjävastaanotin, joka osaa ottaa huomioon satelliittisignaalien häiriötilanteet. Suomesta GEARS-hankkeeseen osallistuu Paikkatietokeskus (FGI)⁹⁰. GEARS-vastaanottimen kohderyhmänä ovat aikasyntonointia tarvitseva kriittinen infrastruktuuri, kuten tietoliikenne- ja sähköverkot sekä finanssisektori. Näissä sovelluksissa virheellinen aikatieto voi mahdollisesti häiritä yhteiskunnan toimintaa sekä aiheuttaa taloudellista tappiota.

Uusi kehityssuunta satelliittipaikannuksen saralla on myös useamman taajuuden käyttäminen. Kun satelliittien määrä kasvaa ja uusia signaaleja tulee saataville, vastaanottimia kehitetään tukemaan useampaa taajuutta tarjoten käyttäjille tarkempaa paikannustarkkuutta ja suojaa häiriöiltä. Lisäksi referenssiasemien käytöllä voidaan parantaa merkittävästi paikannuksen tarkkuutta esimerkiksi kaupunkiympäristössä. Iso osa kehityksestä ja tutkimuksesta keskittyy paikkatietoa hyödyntävien sovellusten kehittämiseen ja näillä on myös suuri kaupallinen merkitys.

4.2 Kaukokartoitus

Kaukokartoitus-satelliittien keräämä tieto on yksi tärkeimmistä resursseista, joita avaruussektori tuottaa. Kansainvälinen kaukokartoitusalan tutkimus kohdistuu etenkin Yhdysvalloissa YK:n kestävän kehityksen tavoitteiden tukemiseen, jossa puhdas tutkimus ja globaali luonnonvarojen kartoitus sekä ilmakehän tutkimushankkeet painottuvat. Samat tavoitteet ovat esillä myös Euroopassa. ESA on identifioinut kaukokartoituksen alueella neljä tiedeklasteria: ilmastotutkimuksen, hiilen kierron, valtamerten tutkimuksen sekä polaaritutkimuksen. Euroopassa puhtaasti tieteen rinnalla korostuu käytännön sovellusten kehittäminen, jolloin aihealueet laajenevat muun muassa maan- ja metsätalouteen, rakennettuun ympäristöön sekä luonnononnettomuuksien seurantaan. Euroopan operatiivinen Copernicus -satelliitti- ja ympäristöseurantaohjelma palvelee nimenomaan käytännön sovelluksia, koska samankaltaisen aineiston saatavuus on turvattu vuosikymmeniksi eteenpäin.

⁸⁹ GEARS, gears-gsa-project.eu

⁹⁰ GEARS – Galileo-ajanmäärittäjävastaanotin, maanmittauslaitos.fi/tutkimus/gears-galileo-ajanmaaritysvastaanotin

4.2.1 Keskeiset tutkimusalat

ESA:n Living Planet -symposium on yksi suurimmista kaukokartoituksen konferensseista. Esimerkiksi vuonna 2019 noin neljännes esityksistä koski meteorologiaa ja ilmastomuutosta, terveyttä koulutusta ja elämäntyyliä, ja luonnonvarojen hyödyntämistä kutakin, viimeinen neljännes jakautuu katastrofinhallintaan, liikenteeseen ja infraan⁹¹. Symposiumissa teemat painottuvat tämän hetken huipputasoa edustaviin sovelluksiin, tieteeseen ja murroksiin. Teemoista ovat keskustelemassa maailman johtavat kaukokartoitusalan tutkijat sekä asiantuntijat yhdessä alan yritysten sekä satelliittitoimijoiden kanssa. Vuoden 2019 LPS järjestettiin Milanossa ja jo ennakkoon sen odotettiin kasvavan yhdeksi suurimmista kaukokartoituskonferensseista koskaan⁹².

Yleisesti ottaen Suomen aktiivisuus kohdistuu samoihin teemoihin kuin kansainvälinen kiinnostus, mutta luonnonvarojen hyödyntäminen painottuu sekä tutkimuksessa että yritystoiminnassa jopa enemmän kuin kansainvälisesti keskimäärin. Sektorissa on painottunut metsätalous sekä maankäyttö.

Taannoisessa Euroopan komissiolle tehdyssä selvityksessä⁹³ kaukokartoituksen sosioekonomiset vaikutukset teemoitettiin seitsemään sovellussektoriin (Taulukko 3). Sektoreiden sisällä tutkimusaloja on runsaasti.

Kestävä maa- ja metsätalous ovat merkittäviä tutkimuksen poliittisia ajureita. Kaukokartoituksen hyödyntäminen maataloudessa on kansainvälisesti keskeinen tutkimusaihe. Yleisiä aiheita ovat etenkin satoennusteet, kestävä vedenkäyttö, lannoitus, viljelykasviluokittelu sekä abioottinen ja bioottinen stressi⁹⁴. Kaukokartoitukselle nähdään myös selkeä rooli viljelyalojen monitoroinnissa EU:n uudistetussa yhteisessä maatalouspolitiikassa⁹⁵. Suomessa satelliittihavaintojen hyödyntäminen maatalouden käytännön sovelluksissa on ollut tähän päivään mennessä vähäistä, lukuun ottamatta viljelyalojen valvontaa. Kehitysmahdollisuudet nähdään täsmäviljelyssä, satoseurannassa sekä hiilitaseen arvioinnissa. Metsä- ja maatalouteen liittyy läheisesti esimer-

⁹¹ Lähde Esa, henkilökohtainen kommunikaatio, lokakuu 2021.

⁹² <https://seea.un.org/events/esa-living-planet-symposium>

⁹³ PwC (PricewaterhouseCoopers). 2016. Socio-economic impacts from Space activities in the EU in 2015 and beyond. 309 s. doi.org/10.2873/88313

⁹⁴ Segarra et al. 2020, "Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications", *Agronomy*, vol. 10, no. 5. doi.org/10.3390/agronomy10050641

⁹⁵ Ruokavirasto, 2021. ruokavirasto.fi/tietoa-meista/ajankohtaista/ruokaviraston-blogi/blogitekstit/monitorointi-tulee

kiksi Euroopan ympäristöjärjestö EEA:n Corine Land Cover maanpeiteluokkien kartoitus, jota Suomessa on toteuttanut SYKE. Copernicus-ohjelma rahoittaa Euroopan laajuista tarkkojen satelliittikarttojen tekoa⁹⁶.

Metsien seuranta sekä kartoitus ovat satelliittikaukokartoituksen merkittävimpiä ja pitkäaikaisimpia tutkimusaloja sekä sovelluskohteita. Suomi on johtavia maita metsävarojen kartoituksessa satelliittikuvien avulla käytännönläheisiin sovelluksiin. Tällä hetkellä VTT isännöi satelliittitulkinnan pilvipalvelualustaa *Forestry Thematic Exploitation Platformia (Forestry-TEP)*⁹⁷ ja johtaa useita metsävaroihin ja hiilen sidontaan liittyviä kansainvälisiä hankkeita yhteistyökumppaneinaan suomalaiset yritykset. Tavoitteena on rakentaa kansainvälinen palveluekosysteemi alustan ympärille.

Luonnon monimuotoisuus on nouseva tutkimusaihe ja sillä on merkittävä asema poliittisessa keskustelussa. EU julkaisi keväällä 2020 uuden biodiversiteettistrategiansa, jonka tavoitteena on Euroopan biologisen monimuotoisuuden elpymisen käynnistyminen vuoteen 2030 mennessä. Luonnonvarakeskus ja Suomen ympäristökeskus ovat selvittäneet Suomen valmiutta kyseisen strategian toteuttamiseen⁹⁸. Luonnon monimuotoisuuden kartoituksessa satelliittihavainnot ovat hyödyllisiä havaintojen toistuvuuden takia.

Meteorologia ja ilmastonmuutos kattavat laajan alueen puhtaasta ilmakehän tutkimuksesta esimerkiksi hiilen sidontaan, mikä yhdistyy luonnonvarojen seurannan toimintoihin. Ilmakehän kaukokartoitustutkimuksessa volyymit ovat merkittäviä, mutta suurempia toimijoita lähinnä kaksi: Ilmatieteen laitos ja Helsingin yliopisto, joiden ilmakehätutkimus ulottuu avaruussäähän saakka. Samat tahot, jotka kartoittavat luonnonvaroja kaukokartoituksen avulla, osallistuvat ilmastonmuutostutkimukseen, kun huomioon otetaan maanpinnan ilmiöt.

Kasvihuonekaasujen kartoitus sekä ilmakehän koostumuksen tutkiminen ovat kaukokartoituksen ytimessä, ja tutkimus on aktiivista kansainvälisesti ja Suomessa. Tulevaisuuden sensorikehitys ja uudet satelliittiohjelmat tähtäävät entistä laadukkaamman ja kattavamman tiedon tuottamiseen. Myös ilmanlaadun ja päästöjen seurannan tutkimus on aktiivista. Esimerkiksi Copernicus-ohjelman Sentinel-5 auttaa tunnistamaan ilman saasteiden keskittymiä, joissa ihmisten terveys voisi olla vaarassa. Hiljattain

⁹⁶ Pan-European High Resolution Layers, land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers

⁹⁷ Ks. <https://f-tep.com/>

⁹⁸ Luke, 2021. luke.fi/en/news/study-finland-has-some-readiness-for-implementation-of-eu-biodiversity-strategy

päättynyt HEALS-projekti hyödynsi kaukokartoitusdataa sekä -tuotteita yhtenä data-lähteenä analyyseissa, joissa tutkittiin muun muassa viheralueiden vaikutusta allergiseen nuhaan ja astmaan^{99,100,101}.

Vesikehän lämpötilaa, merivirtoja, ja planktonia seurataan satelliiteista globaaleissa ohjelmissa. Suomessa SYKE valvoo Itämeren ja sisävesien tilaa satelliiteista. Merijäätä ja lumipeitettä on tutkittu satelliittihavainnoin Suomessa jo pitkään varsinkin Ilmatieteen laitoksessa, SYKE:ssä sekä VTT:ssä. Käytännön pitkäaikainen sovellus on talvimerenkulun avustaminen. Jään paksuutta ja liikkeitä seurataan yleisimmin tutka-satelliittien avulla.

Luonnononnettomuuksien alueella ICEYE Oy on avannut kansainvälisiä kaupallisia markkinoita tulvien kartoituksessa tutkakuvien avulla. Toinen ICEYE Oy:n markkina-alue on merenkulun seuranta. Suomessa on toiminut yhtäjaksoisesti myös lähialueille ulottuva, satelliittikuviin perustuva metsäpalojen havaitsemisjärjestelmä vuodesta 1996. Myrsky- ja lumituhojen kartoitus on tutkimusasteella. Yleisesti ottaen Suomen aktiivisuus luonnononnettomuus- ja muiden katastrofisovellusten alueella on vähäinen kansainväliseen aktiivisuuteen verrattuna.

Kapea-alaisista sovelluskohteista voidaan mainita arkeologia¹⁰², josta on järjestetty omia sessioita esimerkiksi vuoden 2019 Living Planet Symposiumissa¹⁰³. Satelliittikuvia käytetään myös energiasektorin infrastruktuurin suunnittelussa ja monitoroinnissa (esim. merituulivoimalat), mutta Suomessa infrastruktuuriin liittyvä kaukokartoituksen kehitystyö on ollut vähäistä.

⁹⁹ Mueller ym. 2021, "Neighbourhood and path-based greenspace in three European countries: associations with objective physical activity", BMC Public Health, vol. 21, no. 1. doi.org/10.1186/s12889-021-10259-0

¹⁰⁰ Baldacci ym. 2020, "Influence of agricultural and grey spaces proximity on allergic rhinitis, asthma and COPD: a population-based study", European Respiratory Journal, 56: 1394. doi.org/10.1183/13993003.congress-2020.1394

¹⁰¹ Parmes ym. 2020, "Influence of residential land cover on childhood allergic and respiratory symptoms and diseases: Evidence from 9 European cohorts", Environmental research, vol. 183. doi.org/10.1016/j.envres.2019.108953

¹⁰² Lasaponara R. & Masini N. 2020, "Big Earth Data for Cultural Heritage in the Copernicus Era", In: Hadjimitsis D. et al. (eds) Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-10979-0_3

¹⁰³ ESA. Living Planet Symposium 2019, [LPS19 - Scientific Programme \(esa.int\)](https://lps19.esa.int)

Puolustussektoriin liittyvän tutkimuksen ja palveluiden volyymi myös Suomessa lienee suurempi kuin julkisesta materiaalista voisi päätellä. Yhdysvalloissa puolustus- ja turvallisuussektori on keskeisiä avaruustoiminnan rahoittajia, jonka rahoitus ulottuu myös korkean resoluution kaupallisiin satelliitteihin.

Taulukko 9. Kaukokartoituksen sovellussektorit ja keskeiset tutkimusalat. Kansainvälinen sekä Suomen aktiivisuus on merkitty ristien määrällä seuraavasti: ei lainkaan –, heikko ×, kohtalainen ××, merkittävä ×××

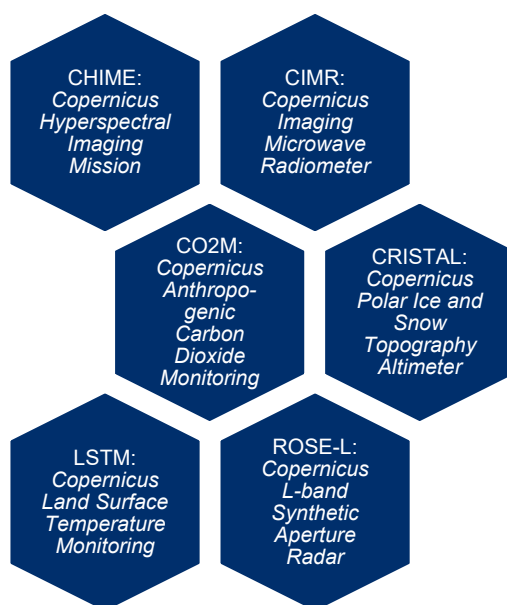
Teemat ja sovellus-sektorit	Esimerkkejä keskeisistä tutkimus-aiheista	Kansainvälinen aktiivisuus	Suomen aktiivisuus	Perustelut, suomalaiset toimijat
Luonnonvarojen hyödyntäminen	Metsävarat, satoennusteet, täsmävilljely, maankäyttö, malmi-, öljy- ja kaasu-siintymät, luonnon monimuotoisuus, kestävä kehitys	×××	×××	Suomessa metsätalous ja maanpeitteen seuranta painottuvat. Luke, VTT, SYKE, Metsäkeskus, Tornator Oy, Metsäteho Oy, Terramonitor Oy, Bitcomp Oy, AFRY AB (Simosol Oy), Arbonaut Oy, Collective Crunch Oy, Helsingin yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Aalto, Turun yliopisto. Malmiesiintymien kartoituksessa GTK. Luonnon monimuotoisuus ja kestävä kehitys tutkimusaiheina yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa.
Meteorologia ja ilmastomuutos	Kasvihuonekaasut, ilmakehän koostumus, ilmastomallinnus, jäätiköiden seuranta, ikiroudan kartoitus	×××	×××	Ilmastonmuutoksen seuranta ja siihen liittyvä tutkimus aktiivista kansainvälisesti ja Suomessa. Keskeisiä toimijoita mm. Ilmatieteen laitos (IL), Helsingin yliopisto, Vaisala.
Katastrofihallinta	Tulvakartoitus, metsäpalojen seuranta, tulivuorien ja vulkaanisen toiminnan seuranta, maanjäristysten seuranta, maanvyörymien kartoitus, öljyvuotojen kartoitus, pandemioiden monitorointi	×××	×	Sovelluskohteita kansainvälisesti laajemmin sekä useammin kuin Suomessa. SYKE:ssä kattava tulvamallinnus ja -kartoitusosaaminen. Yrityksistä esim. Lamor Corp. Ja Skyfora Oy.
Liikenne ja logistiikka	Meriliikenteen seuranta, laivojen ja alusten havainnointi, jää- ja lumipeitteen seuranta	××	××	Suomen mittakaava huomioiden aktiivisuus on vähintään kohtalaista. IL seuraa talvisin Itämeren jääpeitettä.

Teemat ja sovellus- sektorit	Esimerkkejä keskeisistä tutkimus- aiheista	Kansainvälinen aktiivisuus	Suomen aktii- visuus	Perustelut, suomalaiset toimijat
				Meriliikenteen seurannassa tutkasatelliitit isossa roolissa (esim. ICEYE Oy)
Infrastruktuurit	Kaupunkiympäristön seuranta ja suunnittelu, energiasektorin suunnittelu	xx	–	Isoissa kansainvälisissä seminaareissa (LPS, IGARSS) useita sessioita. Suomessa kaukokartoituksen hyödyntäminen piilossa. VTT:ssä vähäistä aktiviteettia.
Terveys, koulutus ja elämäntyö	Vedenlaadun seuranta, ilmanlaadun ja päästöjen seuranta, epäsuotuisien ympäristömuuttujien havainnointi, arkeologiset havainnot	xxx	xxx	Vedenlaadun seurannassa SYKE päätoimija Suomessa. Ilmanlaadun seurannassa IL aktiivinen: analyysien tuloksina esim. typidioksidikarttoja. Epäsuotuisien ympäristömuuttujien havainnointi ja niiden vaikutusten analysointi tutkimusaiheena yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa (esim. VTT)
Institutionaalinen toiminta	Humanitaarinen apu, muuttoliikenteen havainnointi, rajavartiointin sekä puolustus- ja turvallisuusoperaatioiden tukeminen	x	–	Kansainvälistä toimintaa löytyy. Isossa kuvassa ei kuitenkaan kovin aktiivista. Suomen tilanne epäselvä.

4.2.2 Käynnissä olevat murrokset

Copernicus-ohjelma yhdessä ESA:n omien ohjelmien kanssa on keskeinen kaukokartoitustutkimuksen sekä kaupallisen ja institutionaalisen operatiivisen toiminnan mahdollistaja. ESA:n missiokehitys merkittävästi tutkimusta, vaikka sovellusten tutkimusrahoitus onkin suhteellisesti pientä verrattuna avaruusmissioiden budjetteihin. Copernicus-ohjelman menneet ja tuleva budjetti yhteenlaskettuna koko ohjelman budjetti noin 16 miljardia euroa. EU:n uuden avaruusohjelman (2021–2027) budjetista Copernicus-ohjelma saa lähes 6 miljardia euroa.

Copernicus-ohjelman ytimen muodostavat Sentinel-perheen kaukokartoitussatelliitit. EU:n tavoitteena on lähettää kiertoradalle lähes 20 satelliittia käsittävä konstellaatio ennen vuotta 2030¹⁰⁴. Tällä hetkellä jo viisi Sentinel-missiota on toiminnassa. Sen lisäksi rakennetaan kahdeksaa uutta Sentinel-satelliittimissiota, jotka alkavat täydentää nykyisten Sentinel-satelliittien toimintaa ja parantamaan käyttäjien tarpeiden tyydyttämistä tämän vuosikymmenen loppuvuosista alkaen (kuva 13). Myös nykyisten Sentinel-missioiden jatkosatelliitit ovat valmisteilla 2030-luvulle.



Kuva 13. Copernicus-ohjelman tulevat Sentinel-satelliittien laajennusmissiot

¹⁰⁴ Copernicus lyhyesti. copernicus.eu/fi/copernicus/copernicus-lyhyesti

Kaupalliset erittäin korkean resoluution (*Very High Resolution*, VHR) satelliitit toimittavat parhaimmillaan kuvia 30 senttimetrin tarkkuudella. Eniten VHR-satelliittiyhtiöitä toimii Yhdysvalloissa ja Kiinassa. Euroopassa Airbusin Pleiades-satelliitit kuuluvat tähän ryhmään. Satelliittiyhtiöt ovat myös tärkeitä kaukokartoitusaineistojen tuottajia. VHR-kuvia käytetään samoihin tarkoituksiin kuin esimerkiksi Sentinel-2 -kuvia, mutta ne soveltuvat erityisen hyvin turvallisuussovelluksiin, onnettomuuksien hallintaan, kaupunkiympäristön kartoitukseen ja sähkölinjojen ja muun infrastruktuurin valvontaan ja täsmäviljelyyn tukeen¹⁰⁵. SPOT-satelliitit 6 ja 7 operoivat samalla kiertoradalla Pleiades-satelliittien kanssa. Tämä neljän satelliitin konstellaatio tarjoaa tarkan ja kattavan satelliittikuva-aineiston mistä tahansa maapallolta päivittäin kuten amerikkalaisen Planet Labs -yhtiön satelliititkin.

Avoimen datan politiikka on avannut paljon uusia ovia kaukokartoituksen tutkimukselle sekä kaupalliselle toiminnalle. Jatkuvasti kasvavat datamäärät ja datan monipuolisuus mahdollistavat myös uusien sovellusalueiden synnyn ja uusien lähestymistapojen kehittämisen esimerkiksi ympäristöongelmiin.¹⁰⁶ Kaukokartoitusaineistojen ennätysellinen määrä, monipuolisuus ja uuden datan nopea synty edellyttävät muutoksia tapaan varastoida ja analysoida kaukokartoitusdataa.

Euroopan komissio on rahoittanut viittä ESA:n organisoimaa pilvipohjaista alustaa helpottaakseen ja yhtenäistääkseen datan saatavuutta¹⁰⁷. Näiden alustojen ansiosta Copernicus-aineistot ovat keskitetysti käyttäjien saatavilla. Näistä alustoista ESA käyttää yhteisesti nimitystä DIAS (*Data and Information Access Services* eli datan ja informaation saantipalvelut). Pilvipalvelujen yleistymisen on selkeä viimeaikainen murros kaukokartoituksen tutkimuksessa sekä sovelluksissa. DIAS-arkkitehtuuri mahdollistaa tiedon syvemmän etsimisen Copernicus-ohjelman aineistoista ja helpottaa aineistojen käsittelyä. DIAS-alustat tarjoavat samaan aikaan mahdollisuuksia sekä start up -yrityksille ja muille kehittäjille, että täydennyksen jo olemassa oleville datansiirtoalustoille. Esimerkiksi VTT:n ylläpitämän Forestry-TEP -pilvipalvelun laskenta-alusta toimii yhdessä DIAS:eista. Suomessa ilmatieteen laitos ylläpitää alueellista DIASia muistutettavaa data- ja laskentapalvelua.

Satelliittiohjelmien aineiston ilmaisuus ja helppo saatavuus, pilvipalvelut, laukausjärjestelmien innovaatiot, sensoriteknologia ovat luoneet ponnahduslaidan uudelle kau-

¹⁰⁵ Airbus Pléiades, intelligence-airbusds.com/imagery/constellation/pleiades

¹⁰⁶ Pelkästään Copernicus-ohjelman Sentinel-1, 2 ja 3 satelliitit tuottavat uutta dataa vuosittain yli 10 petabittiä ja koko ohjelma 12 Tb/d ks. esim. European Commission. "The DIAS: User-friendly Access to Copernicus Data and Information". copernicus.eu/sites/default/files/Copernicus_DIAS_Factsheet_June2018.pdf

¹⁰⁷ Copernicus, Data and Information Access Services. copernicus.eu/en/access-data/dias

kokartoituksen murrokselle. Yhä useammat yritykset ovat lähteneet kokeilemaan siipi-äänä kaukokartoituksen parissa. Menestynyt esimerkki tästä on muun muassa suomalainen ICEYE Oy. Optisen hyperspektrialueen satelliittimissiota rakentaa Kuva Space Oy. Aalto yliopisto on ollut suomalaisen satelliittimissio toiminnan kehto.

4.2.3 Laskentamenetelmien kehityssuunta

Perinteisesti optisen kaukokartoituksen menetelmät muuttujien estimointiin voidaan jakaa kahteen kategoriaan: tilastollisiin ja fysikaalisiin. Viimeisten vuosikymmenten aikana kategoriat ovat myös levittäytyneet erilaisiin alakategorioihin ja niiden yhdistelmiin, ns. hybridimenetelmiin¹⁰⁸. Koneoppimismenetelmät ovat nousseet yhdeksi käytetyimmistä tilastollisista menetelmistä ja esim. syväoppimista kaukokartoituksen tutkimuksessa käsittelevät tutkimuspaperit ovat lisääntyneet eksponentiaalisesti muutamasta julkaisusta vuodessa (2012–2015) n. 1500 vuosittaiseen artikkeliin vuonna 2020.¹⁰⁹

Avoimen kaukokartoitusaineiston määrä kasvaa eksponentiaalisesti¹¹⁰, mutta samalla pilvilaskenta tehostuu. Luotettavien, kestävien ja skaalautuvien koneoppimismenetelmien tarve kasvaa¹¹¹. Viime vuosina on osoitettu suurta kiinnostusta ei-parametrisiin menetelmiin, etenkin erilaisiin keinoälyalgoritmeihin kuten neuroverkkoihin ja niin sanottuun syväoppimiseen¹¹², mikä näkyy myös tieteellisten julkaisujen määrissä. Neuroverkkomenetelmien puutteena on ollut suuren opetusaineiston tarve ja mallin hahmottamisen mahdottomuus. Tästä syystä yhtenä kehityskohteena on ns. selitettävissä oleva keinoäly (*“Explainable AI”*). Uusimpia trendejä kaukokartoituksen saralla

¹⁰⁸ Verrelst ym. 2019, "Quantifying Vegetation Biophysical Variables from Imaging Spectroscopy Data: A Review on Retrieval Methods", *Surveys in Geophysics*, vol. 40, no. 3, s. 589–629. doi.org/10.1007/s10712-018-9478-y

¹⁰⁹ Scopus-tietokantahaku havainnollistaa kasvaneen kiinnostuksen kohti syväoppimista kaukokartoituksen tutkimuksessa viimeisen noin kymmenen vuoden ajalta. Hakusanoina käytettiin ("earth observation" OR "remote sensing") AND "deep learning". Mukaan huomioitiin vain artikkelit ja konferenssipaperit. Haku suoritettiin 7.7.2021.

¹¹⁰ Soille ym. 2018, "A versatile data-intensive computing platform for information retrieval from big geospatial data", *Future Generation Computer Systems* 81, s. 30–40. doi.org/10.1016/j.future.2017.11.007

¹¹¹ Li ym. 2019, "Deep neural network for remote sensing image interpretation: status and perspectives", *National Science Review*. doi.org/10.1093/nsr/nwz058

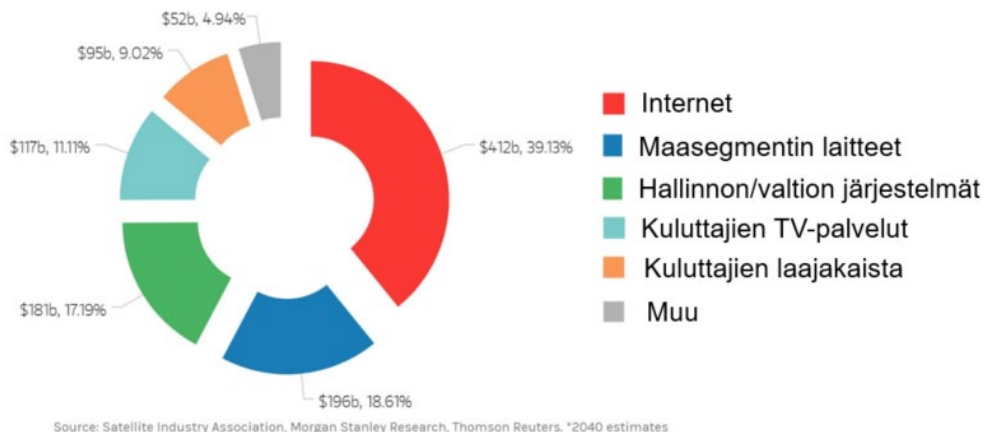
¹¹² Ma ym. 2019, "Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 152, s. 166–177. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015

ovat muun muassa ESA:n ja EU:n Digital Twin Earth -projektit¹¹³, joiden tarkoitus on luoda digitaalinen kaksonen planeetastamme.

Yleisimmin käytettyjä pilvipalveluita kaukokartoituksessa ovat Google Earth Engine ja Amazon Web Services sekä DIASit alemman tason pilvipalveluissa.

4.3 Tietoliikenne

Tietoliikennetarpeet kasvavat globaalisti koko ajan ja tähän on reagoitu voimakkaasti niin satelliittijärjestelmien tutkimuksessa kuin käytännön kehityksessä. Morgan Stanley'n tekemässä ennusteessa¹¹⁴ arvioidaan avaruusalan vuosittaisen liikevaihdon kasvavan nykyisestä 350 miljardista dollarista triljoonaan dollariin vuoteen 2040 mennessä (kuva 14) ja ylivoimaisesti suurin ajuri kasvulle on satelliittilaajakaista sekä satelliittien tarjoamat internet-yhteydet.



Kuva 14. Ennuste satelliittialan vuosittaisen liikevaihdon kasvusta vuoteen 2040 mennessä

¹¹³ ESA, 2020. [Digital Twin Earth](#).

¹¹⁴ Morgan Stanley, 2021, <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>

4.3.1 Käynnissä olevat murrokset

Kansainvälisesti on identifioitavissa kaksi suurta murrosta, jotka ohjaavat tutkimus- ja kehitystyötä, ensimmäinen on satelliitti- ja maanpäällisten järjestelmien integroituminen, ns. ”monikerrosverkot”, ja toinen matalille kiertoradoille toteutettavat megakons-tellaatio-järjestelmät, jotka koostuvat sadoista tai jopa tuhansista satelliiteista

Satelliittijärjestelmien ja maanpäällisten järjestelmien integrointia edistetään etenkin tietoliikennejärjestelmien kannalta merkittävimmän standardielimen eli 3GPP:n standardoinnissa. Tärkeimpiä työryhmiä ns. *Non-terrestrial networks* -teemoissa vetävät eurooppalaiset toimijat kuten Thales. Myös Kiinaa pidetään aktiivisena myötävaikuttajana. Standardoinnissa ja tutkimuksessa kehitetään 5G-tekniikkaan pohjautuvaa ratkaisua, jossa satelliitit, ilmassa olevat järjestelmät ja maanpäällinen verkko voisivat yhdessä tarjota palveluita loppukäyttäjille (ns. 3D-verkko tai monikerrosverkko). Turvallisuustoimijoiden tietoliikenneyhteydet saattavat myös toimia pian 5G-verkon ja satelliittiverkon yhdistelmässä. Satelliittiyhteydellä on kolme etua maanpäälliseen verkkoon verrattuna: läsnäolo kaikkialla, liikkuvuuden mahdollistaminen ja laajakantoinen tiedonvälitys. Satelliittien avulla voidaan aidosti tarjota yhteydet joka maapallon kolkkaan.

5G:n kehittymisen myötä on tavoitteena saada aikaan järjestelmä, jossa satelliitit ovat integroitu osaksi mobiiliverkkoa. Integroidun järjestelmän avulla voidaan tarjota palveluita maalla, merellä ja ilmassa niin kuluttajille kuin viranomaistoimijoillekin. Myös ns. monikerrosverkot ovat laajalti tutkimusyhteisön mielenkiinnon kohteena, myös yhtenä teemana tulevissa 6G-järjestelmissä¹¹⁵.

Tunnettuja matalan kiertoradan (*low earth orbit*, LEO) järjestelmiä ovat esimerkiksi OneWeb ja Starlink, joista jälkimmäinen on tällä hetkellä yli 1500 satelliitillaan jo suurin koskaan toteutettu satelliittijärjestelmä. Tällä hetkellä järjestelmällä on Pohjois-Amerikassa jo kymmeniä tuhansia käyttäjiä ja Suomeen yhteyksiä odotetaan tarjolle 2022 aikana. Näillä järjestelmillä pyritään tarjoamaan yhteyksiä, joiden suorituskyky kapasiteetin ja viiveiden osalta olisi vertailukelpoinen maanpäällisten järjestelmien kanssa. Perinteisiin korkealla lentäviin geostationäärisiin (maankuoreen nähden kiinteässä asemassa olevalla, *geostationary*, GEO) järjestelmiin verrattuna LEO-järjestelmät mahdollistavat myös paremman peittoalueen, esimerkiksi yhteyksiä myös arktisille seuduille.

¹¹⁵ Dang et al. op. cit.

Tärkeinä käyttäjäryhminä internetiä käyttävien kuluttajien lisäksi nähdään muun muassa merenkulku, eri liikennemuodot maalla ja ilmassa sekä itseohjautuvat ajoneuvot, koneet ja laitteet. Ilman kuljettajaa kulkevat autot tarvitsevat erittäin varmoja ja nopeita yhteyksiä ja yhtä lailla niitä tarvitsevat autonomiset kaivin- ja kaivoskoneet tai teollisuuden muut koneet ja laitteet. On myös hyvä huomioida, että kansainvälisen televiestintäliiton ITU:n (*International Telecommunication Union*) mukaan 46,4 % maailman väestöstä elää edelleen ilman tietoliikenneyhteyksiä, mihin satelliitit kykenevät tarjoamaan ratkaisuja.

Haasteina kehitystyölle kuvattujen järjestelmien suhteen ovat muun muassa verkon hallinta- ja tietoturva-asiat, joita useamman verkon integrointi aiheuttaa. Toisaalta useamman teknologian sekä taajuuskaistan käyttö mahdollistaa tehokkaat vastatoimet hyökkäyksille¹¹⁶.

4.3.2 Keskeiset sovellus- ja tutkimusalat

Myös tietoliikenteen sosioekonomiset vaikutukset voidaan jaotella pääpiirteittäin eri sovellussektoreihin (Taulukko 10) aiemmin mainitun selvityksen¹¹⁷ perusteella. Luonnonvarojen hyödyntämisen näkökulmasta satelliittitietoliikenteellä on merkittävä rooli etäisillä alueilla kuten kaivosteollisuuden yhteyksien tarjoajana. Satelliittien avulla tarjotaan yhteydet alueella toimiville ihmisille ja voidaan myös toteuttaa erilaisia seurantaratkaisuja kuten koneiden käyttöasteen päivittäinen seuranta. Jälkimmäinen on esimerkki esineiden internetistä, jossa dataa kerätään sensoreilta vaikkapa kerran päivässä. Samalla tavalla voidaan kerätä dataa monenlaisilta ympäristöä mittaavilta *in-situ* -sensoreilta satelliittien ylilennon aikana. Suomen kannalta kiinnostava osa-alue on ollut arktisen alueen toiminta sekä erilaiset kaivosteollisuuden ratkaisut. Myös taajuusresurssit ovat rajallinen luonnonvara ja satelliittien avulla voidaan tarjota palveluita samalla taajuudella laajalle peittoalueelle.

Meteorologiaan ja ilmastonmuutoksen seurannan kannalta tietoliikenteen rooli on suurimmaksi osaksi relevantin datan siirtämistä niin mittaavilta satelliiteilta kuin muiltakin mitta-asemilta globaalisti. Tutkimuksen kannalta kiinnostavia ovat erilaisten taajuus-

¹¹⁶ VTT on ESan strateginen kumppani 5G- ja sen jälkeisen teknologian kehityksessä ja viimeisen vuosikymmenen ajan VTT on kehittänyt ARTES-ohjelmissa integroitujen järjestelmien verkkoteknologiaa, häiriön hallintaa ja taajuuksien yhteiskäyttömenetelmiä sekä testiverkkoja ja simulatiokyvykkyyksiä.

¹¹⁷ PwC (PricewaterhouseCoopers). 2016. Socio-economic impacts from Space activities in the EU in 2015 and beyond. 309 s. doi.org/10.2873/88313

alueiden radiotaajuiset ratkaisut (RF, *radio frequency*), joiden tuloksena syntyviä antennejä ja mm. radiometrejä voidaan käyttää suoraan meteorologiasovelluksissa. RF-tekniologiakehitys on aktiivista myös Suomessa.

Taulukko 10. Tietoliikenteen sovellussektorit sekä keskeiset tutkimusalat. Kansainvälinen sekä Suomen aktiivisuus on merkitty ristien määrällä seuraavasti: ei lainkaan –, heikko ×, kohtalainen ××, merkittävä ×××

Teemat ja sovellus-sektorit	Esimerkkejä keskeisistä tutkimusaiheista	Kansainvälinen aktiivisuus	Suomen aktiivisuus	Perustelut
Luonnonvarojen hyödyntäminen	Yhteydet ja laajakaistaratkaisut etäisillä alueilla operoiville toimijoille, kuten merille, arktisille alueille ja aavikoille. LEO-satelliitit.	×××	××	Merenkulun digitalisaation kehittämisessä Suomi kansainvälistä kärkeä. Esim. One Sea -ekosysteemin kautta.
Meteorologia ja ilmastonmuutos	Säädäntä lähettäminen satelliiteista ja etämitauspisteistä. RF-ratkaisut sisältäen radiometrit.	××	××	Suomalaiset toimijat kuten DA Design, Aalto Yliopisto ja VTT ovat kehittäneet ja toimittaneet radiometrejä ESA-missioihin.
Katastrofihallinta	Luotettavat viranomaisyhteydet, integroidut verkot, ns. taktiset kuplat eli paikallisten maanpäällisten yhteyksien vienti ulkomaailmaan.	×××	×××	Suomalainen viranomaisyhteistyö ja teknologian taso on huippuluokkaa. Teknisiä ratkaisuja kehitetään aktiivisesti 5G-testiverkko- projekteissa ja EU-ohjelmissa. Erillisverkot, Airbus näkyviä toimijoita.
Liikenne ja logistiikka	Yhteydet lentokoneisiin, laivoihin ja juniin sekä enemmässä määrin autoihin mm. LEO megakonstellaatioiden kautta. Autonomisten ja etäohjattavien ratkaisujen tukeminen.	×××	××	Kansainvälisesti T&K aktiivista ja satelliittiratkaisuja käytetään. Suomessa 5G-teknologian näkökulmasta pitkällä, mutta varsinainen satelliittitoiminta muutamien hankkeiden varassa.
Infrastruktuurit	Kattavat tietoliikenneinfrastruktuurit, satelliittien kautta myös etäiset alueet. Yhteydet eri mitausasemille, sähköverkkojen tukeminen, älykaupunkiyhteydet.	×××	××	Suomessa tietoliikenneverkkojen kattavuus erinomainen ja soveltuvuutta kriittisiin infroihiin kehitetään. Satelliittien käyttöä tutkitaan, mutta tarve pienempi kuin globaalisti.

Teemat ja sovellus-sektorit	Esimerkkejä keskeisistä tutkimusaiheista	Kansainvälinen aktiivisuus	Suomen aktiivisuus	Perustelut
Terveys, koulutus ja elämäntyyli	Mediapalvelut, internet-yhteydet etenkin etäisille alueille joissa kattavaa maanpäällistä verkkoa ei järkevä rakentaa.	xxx	x	Kansainväliset konstellatiokehitykset tähtäävät tähän. Suomessa keskittyminen ollut enemmän maanpäällisissä verkoissa.
Institutionaalinen toiminta	Sotilastietoliikenne sotilaiden ja komentoketjun väliseen kommunikointiin, ns. GovSatCom-ratkaisut siviilipuolen ja hallinnon tarpeisiin (monikerrosverkko)	xxx	xx	Suomessakin PV aktiivinen satelliittien hyödyntäjä. GovSatCom-ratkaisujen miettiminen aktiivista niin ministeriötasolla kuin tutkimusohjelmissa. Mm. VTT:n vetämä 6G_Sat-selvitys. Ei kuitenkaan isoja tutkimushankkeita.

Katastrofien hallinnassa ei voida usein tukeutua pelkästään maanpäällisiin tietoverkkoratkaisuihin niiden puutteen tai jopa tuhoutumisen vuoksi. Satelliitteja ja korkealla lentäviä ilma-alustoja käytetään säännöllisesti kansainvälisillä katastrofialueilla toimivien viranomaisten ja pelastushenkilöstön yhteyksien muodostamiseen. Suomessa tutkitaan ja kehitetään muun muassa 5G/6G-teknologiaa¹¹⁸, integroitua verkkoratkaisuja¹¹⁹ ja uusien LEO-satelliittien soveltuvuutta¹²⁰ viranomaistoimintaan. Yksi toimintamalli on esimerkiksi tuoda tukiasema katastrofialueelle ja luoda sillä paikalliset yhteydet poliisien, rajavartioston ja palomiesten sekä pelastushenkilökunnan kommunikointiin ja täten luoda ns. taktinen kupla, josta voi olla yhteydessä ulospäin satelliitin välityksellä.

Liikenne ja logistiikka hyödyntävät paikannuksen lisäksi satelliittiyhteyksiä niin maalla, merillä kuin ilmassa. Lentokoneissa ja junissa tarjotaan matkustajille internet-yhteyksiä monilla eri reiteillä. Laivojen tietoliikenne kauempana rannasta toimii pääasiassa satelliittien kautta. Uudet LEO-järjestelmät pyrkivät palvelemaan enenevässä määrin autoteollisuutta ja esimerkiksi EU:ssa vuodesta 2018 lähtien kaikki autot ovat olleet ”*connected cars*”, jotka käyttävät satelliittipaikannuksen lisäksi maanpäällisiä ja myös satelliittitietoliikenneyhteyksiä. Satelliittien avulla pyritään saamaan aikaan autonominen ajamisen mahdollisuudet ja järjestelmien langaton päivitettävyyden kaikkialla. Yhdysvalloissa lähes kaikkiin uusiin autoihin asennetaan Sirius-satelliittiradiovastaanottimet ja Sirius-radio tuottaa vain 30 MHz taajuuskaistalla yli 8 miljardin dollarin liikevaihdon vuosittain.

Tietoliikenneverkot ovat kriittisiä infrastruktuureja, jotka mahdollistavat yhteiskunnan toimivuuden. Kattavan maanpäällisen verkon lisäksi tarvitaan satelliitteja tarjoamaan yhteyksiä niille alueille, joille maanpäällisen verkon rakentaminen ei ole mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa. Satelliitit tarjoavat myös jatkuvia yhteyksiä etäisten alueiden mittausasemille sekä erilaisten älykkäiden infrastruktuurien kehitykseen kuten älysähköverkkoihin ja älykaupunkeihin erityisesti laitteiden välisiin (*machine-to-machine*, M2M) yhteyksiin, joissa viivevaatimukset eivät ole kaikkein vaativimpia. Suomessa satelliittien käyttöä mietitään etäisten alueiden peittoon kuten Lappiin, raja-alueille ja vesille tukemaan osaltaan viranomaisverkon peittovaatimuksia.

Kansainvälisen kestävä kehityksen ja laajalti alueellisen tasa-arvon näkökulmasta satelliittiyhteydet voivat tukea terveyteen, koulutukseen ja elämäntyyliin liittyviä asioita

¹¹⁸ Erillisverkot, 2019. erillisverkot.fi/satelliitit-tulossa-5g-verkon-tueksi

¹¹⁹ Erillisverkot, 2020. erillisverkot.fi/satelliitit-ja-5g-kolme-kovaa-etua/?post_date=20210125160338

¹²⁰ Erillisverkot, 2021. erillisverkot.fi/erillisverkot-tuo-tulevaisuuden-avaruuspalvelut-turvallisuusviranomaisten-tarkasteltavaksi-oneweb-esittely-nosti-esille-matalan-kiertoradan-satelliittien-mahdollisuudet

erityisesti kansainvälisillä alueilla, joissa kunnollisia internet-yhteyksiä tai mobiiliverkkoja ei ole tarjolla. Näin on vaikkapa monissa Afrikan ja Aasian maissa. Satelliittien avulla voidaan välittää ajankohtaisia tietoja ja uutisia, viihdetarjontaa ja laajakaistaisia palveluita nopeasti laajoille alueille. Tällä hetkellä yhä suurin osa satelliittitietoliikenteen liikevaihdosta on peräisin televisio- ja radiolähetyksistä eli ns. broadcast-ratkaisuista. Enenevässä määrin myös laajakaistapalvelut (*broadband*) ovat tulossa laajalti eri toimijoiden kautta markkinoille.

Institutionaalinen toiminta käsittää erityisesti sotilas- ja siviiliviranhaltijoiden tietoturvaliset ratkaisut, joita kehitetään mm. EU:n GOVSATCOM-ohjelmassa. Satelliittien avulla voi komentoporras olla yhteydessä sotilaisiin missä tahansa toimitaankin ja myös Suomessa satelliittitietoliikenne on olennainen osa armeijan suorituskykyä. Siviilihallinto ja viranomaiset tarvitsevat myös turvattuja, resilienttejä tietoliikenneyhteyksiä, joihin ei ole helppo ulkopuolisen vaikuttaa. Euroopassa on huomattu tarve omassa hallinnassa olevalla järjestelmällä, josta enemmän seuraavassa kappaleessa.

Teknologinen tutkimustyö on kansainvälistä niin Euroopassa, Yhdysvalloissa kuin Aasiassakin ja ns. New Space -aika on tuonut myös yrityskenttään hyvin innovatiivisia toimijoita. Alla on nostettuna joitakin tutkimushaasteita, joilla visioituja integroitua monikerrosverkkoja ja uusia satelliittiratkaisuja viedään tulevana vuosina eteen päin.

Ohjelmisto-ohjatut verkot ja satelliitit¹²¹. Perinteiset satelliitit on kehitetty määrämittaiselle toiminnalliselle ajanjaksolle (esim. GEO-satelliiteille 15 vuotta). Tekniset tietoliikennetarkaisut on näin määritelty jo vuosia ennen varsinaisen palvelun aloitusta. Tämä on hidastanut avaruusjärjestelmien kehitystä maanpäällisiin ratkaisuihin verrattuna. Aktiivisen tutkimus- ja kehitystyön alla olevat ohjelmisto-ohjatut (*software-defined*) ratkaisut ovat deskriptiivisiä, tehden satelliiteista ohjelmoitavia. Milloin tahansa niiden toiminta-aikana voidaan vaihtaa muun muassa taajuuskaistoja, tehoja, peittoalueita ja uusia standardoituja ominaisuuksia. Tämä mahdollistaa satelliittioperaattoreille päivitykset ja uusille markkinoille sekä sovellusalueille tulon sitä mukaa kuin niitä ilmestyy ilman tarvetta uusille satelliiteille ja laukaisuille.

Korkeiden taajuuksien ratkaisut ja taajuuksien hallinta. Radiotaajuudet ovat rajallinen luonnonvara. Alati kasvava kapasiteetin tarve mm. lisääntyvän multimediasiiirron myötä on johtamassa yhä korkeampien taajuuksien käyttöön sekä nykyisten taajuuskaistojen tehokkaampaan hyödyntämiseen. Kolmiulotteiset monikerrosverkot ovat

¹²¹ S. Xu, X. Wang and M. Huang, "Software-Defined Next-Generation Satellite Networks: Architecture, Challenges, and Solutions," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 4027–4041, 2018, doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793237

kompleksisia kokonaisuuksia, joissa häiriöiden ja taajuuksien hallinnointi vaatii kontrolloitua hallintaa ja menetelmiä kehitetään niin järjestelmän sisäisten kuin samalla taajuudella toimivien eri järjestelmien välille¹²². Muun muassa tietokantapohjaiset ratkaisut ja kognitiiviset radiotekniikat ovat olennaisia. Tärkeänä tutkimuskohteena ovat erilaiset tehokkaat antenniratkaisut niin avaruus- kuin maasegmenttiin. Kehitetään esim. pieneen tilaan sopivia energiatehokkaita antennoja nanosatelliitteihin ja auton katolle tai lentokoneisiin asennettavia rakenteisiin integroitavia paneeliantenneja korkeille taajuuskaistoille perinteisten lautasantennien lisäksi.

Tekoälypohjainen verkon hallinta. 6G-verkot tulevat mahdollistamaan uusia palveluita erilaisine viive- ja kapasiteettivaatimuksineen (kuten etäläsnäolo, massiiviset laitteiden väliset yhteydet laajoilta alueilta, autonominen liikenne jne.). Tutkimusta tarvitaan, että löydetään tekoälypohjaisia ratkaisuja, jotka pystyvät muokkaamaan verkon parametreja, protokollia ja toimintoja lennossa niin, että tuetaan eri palveluiden tarpeita optimaalisella tavalla. Kehitystä tarvitaan niin reunalaskennan, data-analytiikan kuin laskennallisesti tehokkaiden itseorganisoituvien verkkojen osalta.

Yhtäaikainen tietoliikenne ja havainnointi. Tulevien 6G-ratkaisujen yksi disruptio on tietoliikenteen lisäksi myös erilaisten laskenta- ja ilmais ominaisuuksien integrointi samaan järjestelmään. Vaikkakin jo 5G-signaaleita pystytään käyttämään samanaikaiseen kommunikointiin ja ympäristön havainnointiin myös avaruudessa¹²³, niin tulevaisuuden verkoissa eri ominaisuudet voitaisiin suunnitella jo alusta pitäen toimimaan tehokkaasti yhdessä ja tehdä näin tehokkaita ratkaisuja esimerkiksi autonomisen liikenteen tukemiseksi.

Tietoturva ja kvanttiratkaisut ovat kriittisen tärkeitä osia niin alustan kuin päästöpäähän tietoliikenneyhteyksien kehityksen kannalta. Tietoihin ja järjestelmiin ei saa päästä käsiksi kuin tunnistetut tahot. Tämä on olennaista suurten avaruuskonstellatioiden luotettavan toiminnan kannalta. Yhtenä vahvana teemana niin Suomessa kuin kansainvälisesti on kvanttilaskennan ja -tietoliikenteen kehitys sekä kvanttiajan tietoturvaratkaisut, sillä nykyiset salaukset voidaan kvanttikoneilla murtaa. Euroopassa on menossa esim. EuroQCI-hanke¹²⁴, jossa suunnitellaan käytettäväksi kvanttitekniikoita eurooppalaisten kriittisten infrastruktuurien turvaamiseksi.

¹²² M. M. Azari et al., "Evolution of non-terrestrial networks from 5G to 6G: A survey," Available at: arxiv.org/pdf/2107.06881.pdf

¹²³ A. Anttonen, M. Kiviranta, and M. Höyhty, "Space debris detection over intersatellite communication signals," *Acta Astronautica*, vol. 187, pp. 156–166, Oct. 2021.

¹²⁴ European commission, digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci

Optinen tietoliikenne ja satelliittien väliset linkit. Satelliittikonstellaatiot tulevat sisältämään satelliittien välisiä linkkejä ja niiden yli reititetään dataa. Satelliittien on toisaalta käytettävä hyvin tehokkaasti energiaresurssejaan eikä eri suuntiin tapahtuvaan tiedonsiirtoon saa kulua liian paljon energiaa. Tämän on olennaista etenkin pienissä satelliiteissa, joiden aurinkopaneelitkin ovat rajatun kokoisia. Yhtenä kehitysalueena onkin energiatehokkaiden optisten tietoliikennelinkkien kehitys yhä pienempiin satelliitteihin. Lisäksi kehitetään erilaisia reititysratkaisuja monikerrosverkkoihin, näissäkin tarpeen on ottaa huomioon satelliittien väliset yhteydet ominaisuuksineen.

4.3.3 Eurooppalainen oma satelliittitietoliikennejärjestelmä

Myös Euroopassa on komission johdolla käynnistetty selvitys vuonna 2021 oman tietoliikennekonstellaation toteutuksesta ja Euroopan parlamentin sekä neuvoston aloite Unionin turvallisen viestinnän ohjelmasta (*Union Secure Connectivity Programme*) annettiin 15.2.2022.¹²⁵ Valmisteluvaiheeseen on osallistunut mm. Airbus merkittävien satelliittitietoliikennetoimijoiden kanssa. Maanpäällisistä verkoista mukana on operattorina muun muassa Orange¹²⁶. Kyseessä on Copernicus ja Galileo-järjestelmien kaltaisesta lippulaivaohjelma, jolla vahvistetaan Euroopan suvereniteettia ja saadaan omassa hallinnassa oleva järjestelmä, joka olisi käytettävissä ns. GOVSATCOM-palveluihin ja viranomaistoimintaan niin rauhan kuin kriisien aikana. Kehitystä tullaan rahoittamaan kansallisella, EU:n sekä ESA:n rahoituksella ja nyt on jo aukaistu tähän liittyviä hakuja ja ohjelmia, esim. ESA:n 4S-ohjelma (*Space Systems for Safety and Security*).

Suomen kannalta ohjelmassa on paljon potentiaalia. Meillä on osaamista hahmoteltuun monikerrosverkkoon liittyen mobiiliverkkojen kehityksestä sekä avaruuselektronikasta ja -ohjelmistoista, joita voitaisiin yrityspuolelta toimittaa toteutettaviin järjestelmiin. Kun taas ajatellaan downstream-toimintaa, niin pohjoinen asema ja toimintamallit tukevat nopeaa käyttöönottoa, jos vain liiketoimintamielessä kustannukset ovat sopivalla tasolla. Erityisesti viranomaistoiminnassa Suomi on kärkimaita yhteistyössä eri toimijoiden kesken ja nopeassa pilotoinnissa. Yhteiskunnallisen vaikuttavuuden kannalta tällä puolella tapahtuva uusien satelliittikyvykyksien käyttöönotto tuo sekä resilienssiä yhteyksiin, että mahdollistaa toiminnan myös etäisillä alueilla.

¹²⁵ Regulation of The European Parliament and of The Council establishing the Union Secure Connectivity Programme for the period 2023–2027, Strassburg, 15.2.2022, COM(2022) 57 final

¹²⁶ Airbus, airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/12/european-space-and-digital-players-to-study-build-of-eus-satellitebased-connectivity-system.html

4.4 Yhteenveto ja keskeiset tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuudet

Kansallisesti mielenkiintoiset kehityssuunnat ja hyödyntämismahdollisuudet

Satelliittiteknologialla, satelliittien tuottamalla ja välittämällä datalla sekä dataan perustuvilla palveluilla on yhä suurempi strateginen merkitys yhteiskunnan toimivuudelle, kansalliselle turvallisuudelle ja eri hallinnonalojen päätöksenteolle. Edellä kuvattiin avaruusalan kolmea pääsektoria eli satelliittipaikannusta, kaukokartoitusta ja tietoliikennettä kansallisesta näkökulmasta ja arvioitiin Suomen mahdollisuuksia parantaa avaruustoiminnan hyödyntämistä. Tässä luvussa kuvataan nousevia suuntauksia ja tulevia innovaatiokohteita.

Satelliittipaikannuksen sektorilla Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmän julkisesti säännelty palvelu (Public Regulated Service, PRS) tulee ehdottomasti olemaan merkittävä sovelluskohde Suomelle. PRS-palvelun avulla voidaan vahvistaa yhteiskunnan strategisia ja kriittisiä järjestelmiä sekä normaaliolojen häiriötilanteissa että poikkeusoloissa. Palvelu on tarkoitettu ensisijaisesti viranomaisille sekä huoltovarmuuskriittisille yrityksille ja se pyritään ottamaan Suomessa käyttöön vuonna 2024. Myös muut kuin viranomaiset voivat aikanaan hakea valtuutusta PRS-palvelun hyödyntämiseen¹²⁷.

Kaukokartoituksessa Copernicus-ohjelman keskeinen asema maksuttoman ja korkeatasoisen aineiston lähteenä säilyy. Yksityisen sektorin tietopalveluiden liiketoiminta kasvaa, mutta se edellyttää kansainvälistymistä. Ketterät yksityiset satelliittitoimittajat ja -operaattorit täydentävät Copernicus-aineistoa tiheämmän kuvaustoistuvuuden tai tarkemman maastonerotuskyvyn avulla. Tietotuotteiden tuottamisessa yhdistetään entistä monipuolisempia tietolähteitä tarpeen mukaan kuten Copernicus-aineistoa, yksityisten satelliittien aineistoa, historiallista aineistoa ja mallinnettua tietoa. Ympäristötiedon ja hiilen seurannan merkitys korostuu entisestään. Suuret aineistomäärät edellyttävät pilvessä toimivia, tekoälymenetelmiä hyödyntäviä laskenta-alustoja, joiden ympärille voi syntyä tietopalvelutoimijoiden ekosysteemejä. Julkisten, hyödyntäjille ilmaisten palveluiden ja yksityisen liiketoiminnan suhde on ollut yksityistahojen kannalta osin ongelmallinen. Tulevaisuudessa yksityisiä tahoja hyödynnettäneen enemmän julkisissa palveluissa ja satelliittimissioissa. Esimerkiksi ESA:n perustettiin 2021

¹²⁷ Traficom. Galileon viranomaispalvelu PRS. kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/toimintamme/satelliittipaikannus/galileon-viranomaispalvelu-prs

uusi kaupallistamiseen suunnattu pääosasto *Commercialisation, Industry and Procurement*, jonka tehtävä on edistää eurooppalaisen teollisuuden menestystä.

Suomalaisten kaukokartoitusalan toimijoiden osaamistaso varsinkin ympäristösoveluksissa on kansainvälisesti kilpailukykyistä, mutta kansainvälinen verkostoituminen ja markkinointiosaaminen kaipaavat paljon kehitystyötä.

Avaruustietoliikenteen ala kehittyy nopeasti. Keskeinen esimerkki on Space-X-yhtiön Starlink-satelliittitietoliikenneohjelma, joka tuo laajakaistainternetin joka maailman kolkkaan. Euroopassa valmistellaan Galileo- ja Copernicus-ohjelmien laajuista investointia omaan, avaruuteen rakennettavaan tietoliikenneverkkoon. Isona murroksena on myös verkkojen integroituminen yhteen eli 5G-tekniikan hyödyntäminen niin maanpäällisissä verkoissa kuin avaruustoiminnassa. Avaruusalan kolme sektoria, paikannus, kaukokartoitus ja tietoliikenne hyödyntävät enenevästi toisiaan. Tästä esimerkkinä on automaattinen liikenne, varsinkin meriliikenne, jossa Suomi on edelläkävijöitä. Suomen pitkät perinteet mobiiliverkoissa ja 5G-tekniikassa sekä siihen liittyvässä elektroniikassa, ohjelmisto- ja algoritmikehityksessä on nostanut osaamistason korkeaksi. Myös satelliittijärjestelmien elektroniikka- ja ohjelmisto-osaaminen on korkeatasoista. Piensatelliittitoiminta ja siihen liittyvä elektroniikka- ja ohjelmisto-osaaminen korostuvat avaruustietoliikenteen kehitystyössä, joten mahdollisuudet kansainväliseen menestykseen ovat hyvät. Näiden osa-alueiden hallinnan kautta maallamme on hyvät menestymisen mahdollisuudet niin järjestelmäkehityksessä kuin soveltamisessa eri tarpeisiin kuten mainitulle liikennesektorille ja viranomaistoimintaan. Myös tällä alalla verkostot ovat ratkaisevassa asemassa.

Suomalaiset avaruustoiminnan painopisteet ovat monilta osin samanlaiset kuin kansainvälisessä toiminnassa. Hallinnon ja erityisesti innovaatiotoiminnan kannalta hedelmällisimmät hyödyntämismahdollisuudet luultavasti löytyvät sieltä missä koti- ja ulkomaalainen osaaminen voivat täydentää toisiaan. Suomalainen kaukokartoitustoiminta on vahvaa. Sitä voisi hyödyntää enemmän ja kansainvälisemmin luonnonvara-aloilla, kansainvälisessä katastrofihallinnassa ja ympäristöterveyden valvonnassa. Aineiston monipuolistuminen ja reaaliaikaistuminen mahdollistavat uusia ja monipuolisempia tilannetietoratkaisuja.

Paikannusosaaminen on myös vahvaa, erityisesti paikannuksen infrastruktuurin kehittämisessä. Huipputarkan paikannuksen soveltaminen teollisuudessa ja luonnonvara-aloilla vaikuttavat hyödyntämättömiltä markkinoilta. Sama koskee paikannuksen luotettavuuden ja satelliiteista riippumattomien avustepalveluiden kehittämistä.

Taulukko 11. Suomen kannalta keskeisimmät ja merkittävimmät tulevaisuuden suuntaukset, alat ja innovaatiokohteet

Keskeiset teknologia-alueet	Suomalaiset painopisteet	Kv. painopisteet	Tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksia
Paikkatieto, paikannus, GNSS	Paikannusteknologian ja infran kehittäminen Tietoturva Liikenne- /älykaupunkisovellukset	Paikannuksen menetelmäintegraatio, teknologian ja infran kehittäminen, tarkkuuden kasvattaminen, sekä tietoturva	Parempi tilannetieto ja tietoturva viranomaistoiminnassa, äly-/autonomisen liikenteen mahdollistuminen/laajeneminen tarkkuuden ja luotettavuuden myötä, turvallisuuden kasvu
Kaukokartoitus	Luonnon tilan ja ihmisen toiminnan seuraaminen, Ilmaston ja sään muutoksen tutkimus ja ennustaminen Luonnonvarojen kartoitus/ inventointi, seuranta ja hyödyntäminen	Luonnonvarojen inventointi ja hyödyntäminen, katastrofienhallinta ja ennustaminen, luonnon ja ympäristön tilan seuranta, ympäristöterveys Spektrikuvauksen, tutka-satelliittien hyödyntäminen Dataintegraatio, sensorifusio ja laskentamenetelmät	Luonnonvarojen inventointi, hyödyntäminen ja valvonta sekä ennusteet voivat olla kattavampia reaaliaikaisempia ja tarkempia Tilannetietoisuus, vahinkojen välttäminen, torjunta ja toipuminen tehostuvat
Tietoliikenne	Paikalliset ad hoc verkot esim. katastrofienhallintaan ja viranomaistoimintaan	Suuret/globaalit satelliittijärjestelmät, "universaali internet", kaistan nosto ja kuluttajahinnan painaminen alas Monikerrosverkot ja integraatio; verkkojen kattavuus ja luotettavuus	Tietoverkkojen virheensieto, tietoturvallisuus ja kattavuus mahdollistaa parempaa tilannetietoa viranomaistoiminnassa Äly-/automaattisen liikenteen ja IoT/teollisen internetin sovellukset

Hyödyntämismahdollisuudet suhteessa hallitusohjelmaan

Kuten useasti tässä raportissa alleviivataan, avaruustoiminta tarjoaa yleiskäyttöisiä teknologioita ja palveluita, joita jo sovelletaan laajasti hallinnossa ja liike-elämässä, Seuraavaan taulukkoon on kiteytetty konkreettisesti keskeisiä tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksia suhteessa istuvan hallitukseen politiikkatavoitteisiin. Uusia mahdollisuuksia tarjoutuu erityisesti kestäväyyteen ja kansainvälisen yhteistyön vahvistamiseen. Näiden lisäksi hallinnon tapaustutkimukset toivat esille, että hyödyntämismahdollisuuksia on myös kotimaisessa tuotannossa sekä kokonaisturvallisuuden alueella.

Taulukko 12. Hallitusohjelman tavoitteiden toimeenpanon edistäminen avaruusdatalla sekä niihin pohjautuvilla ratkaisuilla

Hallitusohjelman tavoite	Edistetäänkö jo nyt. Miten?	Voidaanko edistää tulevaisuudessa. Miten?
Hiilinieluja ja -varastoja vahvistetaan lyhyellä ja pitkällä aikavälillä	Kyllä. Kaukokartoituksella on merkittävä rooli suomalaisella metsäalalla, niin metsien inventoinnissa kuin hoidossakin. Kaukokartoituspohjaisia kaupallisia palveluita on jo valmiina. Myös valtakunnan metsien inventoinnin tuottamaa tietoa hyödynnetään osana hiilinielujen estimointia. Maataloudessa kaukokartoitusavusteista hiilinielukartoitusta on kehitteillä.	Tukemalla alan kehitystyötä ja palvelutoimintaa. Ottamalla kaukokartoitusmenetelmät vahvemmin mukaan hiilinielujen tietolähteeksi.
Pysäytetään luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen Suomessa	Jo nyt käytettävissä olevilla kaukokartoitusratkaisuilla voidaan saada tietoa luonnon tilasta ja monimuotoisuudesta.	Kaukokartoitusta voidaan hyödyntää monipuolisemmin ympäristönseurannassa.
Suomi tarjoaa ratkaisuja globaaleihin kehityshaasteisiin arvopohjaisesta maakuudesta lähtien	Kehityshankkeet ovat hyödyntäneet jo pitkään kaukokartoitusaineistoja.	Suomi voi tehostaa tukea esimerkiksi kehittyvien maiden etälääkärijärjestelmää satelliittitietoliikenteen avulla ja monipuolistaa kaukokartoitusaineiston hyödyntämistä luonnonvarojen kestäväan käyttöön. Osaamisen markkinointia mm. Maailmanpankkiin voi tehostaa.
Suomi tunnetaan teknologisen kehityksen, innovatiivisten	Suomen kansainvälisenä vahvuutena ovat mm. tietoliikenneala sekä metsien ja arktisten alojen kaukokartoitus. Suomi ei	Ennakkoluulottoman kokeilukulttuurin ja sen kv. markkinointia tulisi edistää yhteistoiminnassa julkisen ja yksityisen sektorin kanssa.

Hallitusohjelman tavoite	Edistetäänkö jo nyt. Miten?	Voidaanko edistää tulevaisuudessa. Miten?
hankintojen ja kokeilukulttuurin edelläkävijänä	ole profiloitunut innovatiivisten hankintojen ja kokeilukulttuurin alueella.	
Vähäpäästöinen liikenne	Kuljetusten optimointi satelliittipaikannuksen tukemana vähentää päästöjä.	Satelliittipaikannus sekä erilaiset tietoliikennetkaisu- ratkaisut ovat olennainen osa tulevaisuuden liikenteen ja logistiikan digitalisoitumista ja automatisaatiota.

5 Skenaariot avaruustoiminnan häiriöiden vaikutuksista

Avaruustoiminnan kriittisyys yhteiskunnassa

Edellä erityisesti tapaustutkimusten yhteydessä kuvattiin lyhyesti, miten avaruustoiminnan häiriintyminen vaikuttaisi eri sovelluksissa. Asian alleviivaamiseksi valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018)¹²⁸ todetaan, että Suomen huoltovarmuustoiminnan painopistettä suunnataan lähivuosina kriittisen infrastruktuurin toimintakyvyn varmistamiseen. Turvatut paikannus- ja aikajärjestelmät ovat päätöksen mukaan yksi huoltovarmuustoiminnan painopiste.

Kasvava määrä arkipäivän palveluita ja järjestelmiä ovat riippuvaisia avaruustoiminnasta, ja häiriöiden seuraukset vaihtelevat epämukavuutta aiheuttavista viivästyksistä konkreettisiin vaaratilanteisiin meri ja lentoliikenteessä ja normaalin viranomaistoiminnan, esim. palo- ja pelastustoiminnan, poliisin ja rajavartiolaitoksen tai yhteiskunnan normaalin toiminnan kannalta olennaisten palveluiden kuten pankkitoiminnan sekä sähkö- ja tietoverkkojen toiminnan vakavaan häiriintymiseen. Kokonaisuutena voidaan sanoa, että avaruustoiminta ja sen tuottamat palvelut ovat kriittisiä yhteiskunnalle.

Avaruustoiminnan kehitystrendit ja odotukset

Pääosin teknologiatrendikatsaukset esittävät murroksellisina trendejä, jotka ovat pääosin avaruustoiminnalle ja yleisesti digitalisaation etenemiselle suotuisia, ja näin odotukset avaruustoiminnan kasvulle ovat suuria. Perusoletus vaikuttaa olevan, että avaruustalous ja -toiminta kokonaisuutena kasvavat globaalisti. Kasvun ajureina ovat yhtä aikaa kasvava kaupallinen avaruustoiminta, uudet palvelut ja sovellukset sekä näiden hyödyntäminen, sekä vahvistuva valtiollinen avaruustoiminta. Suurvaltojen avaruusohjelmat ovat vahvistumassa, ja niiden välille on syntymässä kilpailua. Kolmella mantereella suunnitellaan ja otetaan ensiaskeleita avaruuden valloituksen uudessa aallossa.

Samalla oletetaan, että kaupallisen avaruustoiminnan kasvun myötä TKI-sykli lyhenee; modernien piensatelliittien kehittäminen ja valmistus on aikaisempaa edullisempaa ja niihin saadaan uusia suorituskykyjä, ja samalla niiden laukaiseminen matalalle kiertoradalle on halvempaa. Näin avaruusteknologia ja avaruus/satelliittipalvelut hyödykkeistyvät ja avaruussovellukset leviävät entisestään läpi yhteiskunnan. Matalan

¹²⁸ VN, 2018 Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 1048/2018

kiertoradan tietoliikennesatelliittien megakonstellaatiot ovat esimerkki, jotka ovat osaltaan entisestään valtavirtaistamassa avaruustoimintaa.

Edellisistä seuraa myös suoraan, että ruuhka tai tungos kiertoradalla lisääntyy. Useimmat uudet ja vanhat toimijat lähettävät avaruuteen kasvavan määrän avaruusesineitä. Tämä tulee todennäköisesti kasvattamaan avaruusromun määrää entisestään, ja lisäämään törmäysten ja onnettomuuksien riskiä.¹²⁹

Tekokuiden törmäysten lisäksi avaruussää¹³⁰, auringon aktiviteetti ja meteoroidit muodostavat riskin avaruustoiminnalle. Esimerkiksi Yhdistyneiden kuningaskuntien kansallinen riskiarvio tunnistaa avaruussään riskilähteenä sekä avaruus- että maanpäälliselle infrastruktuurille. Todennäköisimpänä avaruussään haitallisena ilmiönä pidetään rajuihin aurinkomyrskyihin liittyviä auringon soihtuja, koronapurkauksia, ja muuta auringon lähettämää hiukkassäteilyä, ”hiukkastapahtumia”, jolla voi olla vakavassa tapauksessa tuhoisa vaikutus avaruusesineiden lisäksi maanpäälliseen sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkkoihin sekä yksittäisiin laitteisiin. Lievemässä muodossa auringon aktiivisuus aiheuttaa häiriöitä radioyhteyksiin ja esim. satelliittien kiertorataan.¹³¹

Avaruustoiminnasta on myös klassisesti ajateltu, että se on erittäin riskialtista, hidasta ja vaatii valtavia investointeja. Erityisesti tämä periaate pitää edelleen paikkansa kunnianhimoisten avaruudentutkimushankkeiden kuten ESA:n tiedeohjelmien sekä miehitettyjen avaruuslentojen ja avaruudentutkimuksen kehysohjelma (*European Exploration Envelope Programme, E3P* tai eksploraatio-ohjelma), jonka tavoitteet ovat pitkällä tulevaisuudessa miehitetyissä avaruuslennoissa aurinkokunnan sisällä.

New Space tarjoaa entistä matalamman kynnyksen mahdollisuuksia avaruustoimintaan ja sen hyödyntämiseen. Uusi avaruustalous on muuttanut avaruustoiminnan asetelmaa ja tulee muuttamaan, mutta laukaisuinfra ja sen operointi on ja tulee olemaan edelleen teknologisesti monimutkaista, kallista ja vaativaa operoida. Haasteena kaupallisen avaruustoiminnan kehittämisessä on laukaisukapasiteetin riittävyys. Yksityisten piensatelliittien laukaisu on voinut käyttää ajoittain vapaaksi jäänyttä edullista laukaisukapasiteettia ja nyttemmin myös kaupallisten avaruuslentojen ”kimppakyytejä”, mutta jos toiminta kasvaa ennakoidusti laukaisujen hinnat voivat nousta. Erityisesti

¹²⁹ Suomessa on esimerkiksi Helsingin yliopiston Kestävän avaruustieteen huippuyksikkö, ks. <https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/finnish-centre-of-excellence-in-research-of-sustainable-space>

¹³⁰ Ilmatieteenlaitos johtaa PECASUS-konsortiota, joka toimittaa avaruussääätietoa kasainväliselle siviili-ilmailujärjestö ICAO:lle

¹³¹ Esim. Hapgood M. et al. 2021 Development of Space Weather Reasonable Worst-Case Scenarios for the UK National Risk Assessment, Space Weather, Volume19, Issue4; ESA 2016 Space Weather Study Results.

Suomen kannalta maantieteellisesti relevanteille polaarikiertoradoille on vähemmän lentoja ja näin kustannukset ovat vastaavasti suurempia. Lentoinfran kehittyminen onkin olennainen tekijä avaruustoiminnan kehittymiselle.

Avaruustoiminnasta ja sen tulevaisuudesta tekee turvallisuuspoliittisesti herkkää kaksi asiaa: suurvaltakilpailu avaruuden valloituksen seuraavista askelista ja maanpäällisestä geopolitiittisesta asemasta, sekä se että avaruustoiminta on oleellinen tai jopa kriittinen osa sotilaallista suorituskykyä ympäri maailmaa. Esimerkiksi vuoden 2019 VN-TEAS-toiminnan osana toteutetussa AVAUS-hankkeessa¹³² todetaan, että avaruustoiminta on jo olennaisesti läpitunkenut yhteiskunnan ja uusi avaruustalous ikään kuin jatkaa tai laajentaa olemassa olevaa. AVAUS-hankkeen tutkijat ennakoivat, että geopolitiikan paluu ja geo-ekonomiikka leviää myös avaruuteen¹³³. Näin avaruusesi-neiden, niiden radioyhteyksien ja maanpäällisen infrastruktuurin turvaaminen ja puolustus on monilla tasoilla lähes yhtä olennaista kuin alueellisen koskemattomuuden valvonta. Näin voidaan ennakoida, että turvallisuusdimensio muuttuu merkittävämmäksi, eikä ole itsestään selvää, että maailmassa on aiottua tilaa neutraalille markkinatalouden säännöillä toimivalle avaruusliiketoiminnalle, vaan on valmistauduttava siihen, että avaruustoiminta on jatkossakin, jopa entistä vahvemmin, osa geo- ja turvallisuus-/puolustuspolitiikkaa.¹³⁴

Vaikka vaikuttaa että keskeiset trendit ovat avaruustoiminnan kehitykselle myönteisiä, kirjallisuudesta ja trendikatsauksista löytyy joitakin mahdollisia kehityksiä, jotka voivat haastaa avaruustoiminnan kehitystä. Tekoälyn, valvontateknologian, vähän aiemmin uusiutuvan energian ja erityisesti tuulivoiman, ja viime aikoina myös esim. rokotteiden tiimoilla on käyty erittäin kriittistä keskustelua ja eri teknologioita kohtaan on virinnyt suoranaista vastustusta. Yleinen luottamus teknologiaan tai sen puute heijastuu myös politiikkaan ja äänestyskäyttäytymiseen, ja siitä voi johtua sääntelyn ja rahoituksen muutoksia, jotka koskevat myös avaruusohjelmia.

Ennakoinnissa on tapana puhua yksittäisten merkittävien tapahtumien yllättävistä vaikutuksista, ja esim. hankkeen haastatteluissa myös nostettiin esiin, että yksittäiset tapahtumat, kuten pahat onnettomuudet, voivat kääntää kannatuksen avaruustoimintaan. Yleinen mielipide heijastuu erityisesti julkisiin avaruusohjelmiin, ja niin pitkään

¹³² Harri et al. 2020 AVAUS – Avaruuden uuden toimintaympäristön turvallisuusulottuvuudet ja liiketoiminta, Valtioneuvoston kanslian julkaisuja 2020:8

¹³³ Aaltola & Creutz, 2020. Avaruustoimintaympäristön muutoksien vaikutukset Suomen turvallisuuteen, VN TEAS Policy Brief 1/2020

¹³⁴ Harrison et al. 2021, Space Threat Assessment 2021, CSIS Auospace Security Project, US Defense Intelligence Agency, 2019 Challenges to Security in Space, Saatavilla www.dia.mil/Military-Power-Publications

kuin ei ole maanpäällisestä toiminnasta riippumatonta itseriittoista ‘taloutta avaruudessa’ (ns. *in-space* tai *space-for-space economy*)¹³⁵, suuri osa avaruustoiminnasta riippuu julkisista missioista ja ohjelmista. Suurimmat yksityiset avaruustoimijat ovat saaneet vetoapua kasvuun nimenomaan julkisista ohjelmista, mikä pelkästään alleviivaa keskinäistä riippuvuutta ja poliittisen riskin merkitystä.

Poliittiseen riskiin Euroopassa olennaisesti kietoutuu jäsenmaiden asenteet EU:n ja yhteisten ohjelmien kehitykseen. Jäsenmaiden sitoutuminen (tai sen puute) EU:n sekä ESA:n avaruusohjelmiin ratkaisee paljon millaiseksi avaruustoiminnan ympäristö Euroopassa ja jäsenmaissa tulee muodostumaan. Tämän kysymyksen nostaa esiin muun muassa Euroopan tarkastusvirasto ECA:n arvio EU:n avaruusohjelmista, jossa pannaan merkille, että ohjelmat ovat sinällään olleet hyvin onnistuneita, mutta niiden hyödyntäminen unionissa ja jäsenmaissa on aiottua pienempää.¹³⁶

Eryyisesti yksityisen uuden avaruustalouden kontekstissa on myös virinnyt keskustelu materiaali-/omistusoikeuksista liittyen avaruusesineisiin ja niiden tuottamaan aineistoon, sekä liitännäisistä kysymyksistä käyttöoikeuksiin. Kysymykset pääsystä kiertoradalle esim. huoltamaan avaruudessa olevaa omaisuutta koskettavat erityisesti uusia ja pieniä kaupallisia toimijoita ja laajemminkin yrityksiä jotka toimivat maissa joilla ei ole omaa laukaisu- ja lentoinfrastruktuuria. Efektiivisesti omistus ja nautintaoikeuden täysimääräinen käyttäminen vaatii suoraan ja välillisesti maanpäällistä ja laukaisuinfraa, tai pääsyä niihin. Tämä heijastuu myös rahoituslaitosten ja vakuutusyhtiöiden toimintaan, ja esim. avaruusesineiden vakuusarvon määrittelyyn ja sitä kautta yritysten rahoitukseen ja toimintaedellytyksiin. Avaruustoimintaan liittyvät suhteellisen monimutkaiset oikeudelliset kysymykset nähdään myös yksityisiä investointeja jarruttavana tekijänä, ja siksi ne on nostettu viime aikoina keskusteluun.¹³⁷ Erillinen oikeudellinen keskustelu on vielä esim. avaruusmineraalien omistus ja hyödyntämisoikeus. COPUOUS on perustanut lainsäädännölliseen alakomiteaan työryhmän avaruusluonnonvarojen oikeudellisten kysymysten selvittämiseksi.¹³⁸

Yllä mainittiin, että perusodotus on, että halvemman ja helpomman saavutettavuuden ansiosta kiertoradan käyttö kasvaa. Tämän kääntöpuoli on, että avaruusesineiden ja

¹³⁵ Weinzierl & Sarang 2021 op. cit

¹³⁶ European Court of Auditors, 2021 EU space programmes Galileo and Copernicus: services launched, but uptake needs a further boost Special Report 07/2021

¹³⁷ Kpl 8 Exploring New Frontiers in Space Policy and Property Rights, Executive Office of the President, Economic Report of the President (2021), United States Gov't Publishing Office

¹³⁸ COPUOUS 2021 Proposal on the mandate, terms of reference, and workplan and methods of work for the working group established under the Legal Subcommittee agenda item entitled “General exchange of views on potential legal models for activities in the exploration, exploitation, and utilization of space resources”, A/AC.105/2021/CRP.11/Rev.1

romun määrä kiertoradalla kasvaa. SpaceX Starlink on tammikuuhun 2022 mennessä laukaissut yksin yli 1500 satelliittia ja ohjelman aiottu kokonaismäärä on yli 4000 satelliittia. Samsungin ehdotettu kilpaileva OneWeb konstellaatio on samaa 4000 satelliitin kokoluokkaa. Suuren satelliittien määrän vuoksi yksittäisten kappaleiden seurattavuus heikkenee ja törmäysten todennäköisyys kasvaa. Lisäksi yksittäinenkin vakava törmäys tai muu vastaava tapahtuma voi tehdä koko kiertoradan ja sen läheiset radat käyttökelvottomaksi. Onnettomuudet kiertoradalla voivat heijastua kansainväliseen ja kansalliseen politiikkaan ja aiheuttaa sääntelyn lisäämisen painetta. Samoin jos kiertoradan käytön kestävyys nousee keskeiseksi kysymykseksi joko onnettomuuksien tai yleisen huolestumisen vuoksi se voi heijastua sääntelyyn ja avaruustoiminnan yleiseen kannatukseen ja toimintaedellytyksiin.¹³⁹

Lisäksi viimeisenä avaruustoiminnan turvallisuusulottuvuus nousee tulevaisuudessa merkittäväksi. Avaruustoiminnan odotetaan kasvavan ja entisestään arkipäiväistyvän ja rinnakkaisoletus on, että yhteiskunnan riippuvuus toimivista (satelliitti- ja maanpäällisistä) tietoliikenneyhteyksistä jatkaa kasvuaan ennemmin kuin vähenee. Samaan aikaan suurvallat puhuvat ”rynnistyksestä avaruuteen” sekä myös melko avoimesti avaruuden militarisoitumisesta. Yleisemmällä tasolla on odotettavaa, että geopolitiittinen jännitys ja suurvaltakamppailu jatkossa tarttuu herkemmin avaruuteen, ja vastaavasti avaruudessa tapahtuvat asiat voivat helpommin johtaa diplomaattisiin ongelmiin maanpäällä. Konkreettisesti avaruusesineet ja maanpäällinen infrastruktuuri, sekä näiden väliset kriittiset tietoliikenneyhteydet ovat alttiita erilaisille häirintä- ja hyökkäystavoille, joita myös kehitetään aktiivisesti. Kaikista näistä yhdessä ja erikseen seuraa, että kyberturvallisuus eri tasoilla tulee merkittävämmäksi myös avaruustoiminnassa.¹⁴⁰

Yhteenvetona trendeistä, vaikuttaa että:

- Avaruustoiminta kasvaa sekä julkisten että yksityisten ohjelmien ajamana ja avaruustoiminnan (tuottamien palveluiden) soveltaminen jatkaa laajenemistaan ja yleistymistään digitalisaation mukana

¹³⁹ Vert. Palmroth et al 2021 *Toward Sustainable Use of Space: Economic, Technological, and Legal Perspectives*, Space Policy, Vol. 57 (August 2021), 101428; Esim COPUOS asetti 2019 Avaruustoiminnan pitkän aikavälin kestävyuden työryhmän (*Working Group on the Long-term Sustainability of Outer Space Activities*), ks. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/long-term-sustainability-of-outer-space-activities.html>

¹⁴⁰ Brunne, 2021 *Space and Security – NATO’s role* NATO Parliamentary Assemblu Science and Technology Committee, Special Report; Florian Vidal, “Russia’s Space Policy: The Path of Decline?”, *Études de l’Ifri, Ifri*, January 2021.; Marc Julienne, “China’s Ambitions in Space: The Sky’s the Limit”, *Études de l’Ifri, Ifri*, January 2021; US Office of the Director of National Intelligence 2021 *Annual Threat Aseessment of the the US Intelligence Community*

- Julkiset/valtiolliset ohjelmat ovat edelleen tärkeitä ajureita ja tarjoavat myös kaupallisia mahdollisuuksia erit. Euroopan ulkopuolella
- EU:n ja ESA:n jäsenvaltioiden sisäinen dynamiikka määrittelee miten helppo tai haastava EU:n ja ESA:n rooli on
- Suurvaltakamppailu laajenee avaruuteen, jälleen, mutta nyt vastakkain ovat Yhdysvallat ja Kiina (Venäjä kumppaninaan) omine verkostoineen ja viimeinen rajaseutu on nyt Mars ja muu aurinkokunta, johon kuu on ponnahduslauta
- Geopoliittisen epävarmuuden ja kriisien tarttumisen todennäköisyys avaruustoimintaan kasvaa ja infrastruktuurin toiminnan turvaamisen/puolustamisen merkitys kasvanee
- Sääntelyyn liittyvät riskit jarruttavat yksityisiä investointeja, ellei niitä pystytä ratkaisemaan kansainvälisessä politiikassa

Seuraavassa vielä PESTEL-jaottelu, joka tiivistää avaruustoimintaan vaikuttavat tekijät, taulukon ylärivillä ovat avaruustoimintaa vahvistavat ja alarivillä kehityksen kannalta haastavat ajurit.

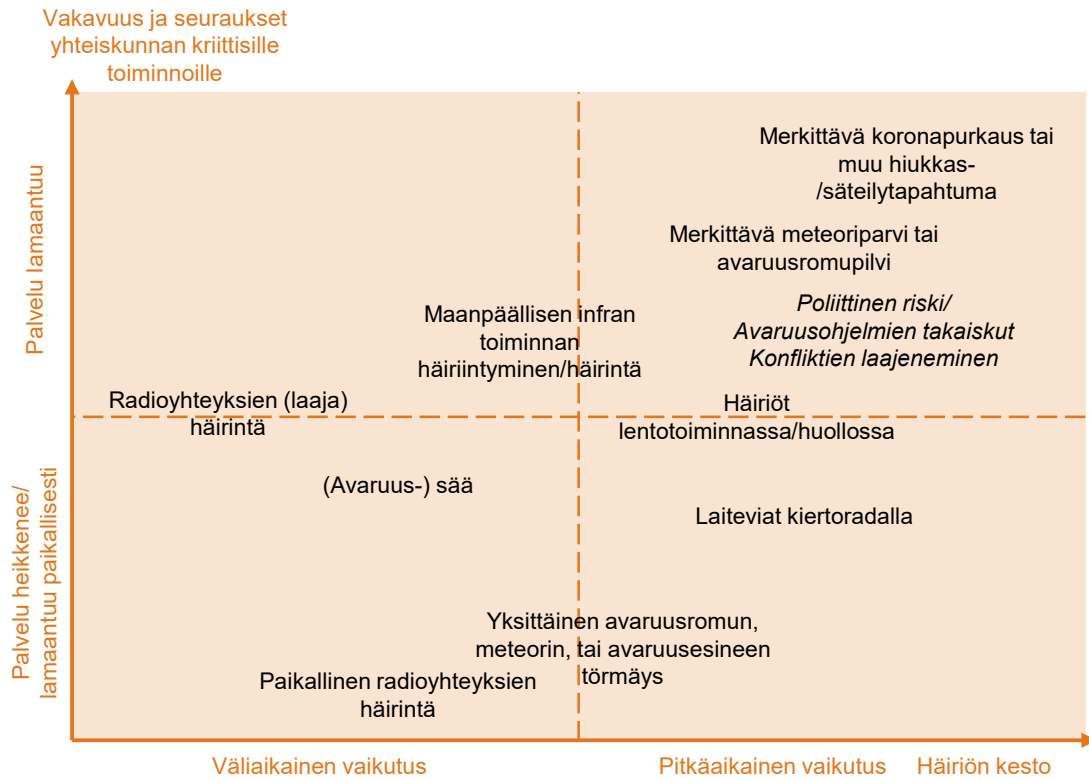
Taulukko 13. PESTEL jaottelu avaruustoiminnan ajureista (ylärivillä positiiviset ja alla haastavat ajurit)

Poliittiset	Ekonomiset	Sosiaaliset	Teknologiset	Ekologiset	Lainsäädännölliset
Kiinnostus avaruuden- ja aurinkokunnan tutkimukseen on virinnyt globaalisti	Yksityinen avaruustoiminta ja –talous on virinnyt erit. länsimaissa	Teknologiaan ja digitalisaation on pääsääntöisesti positiivinen suhtautuminen ja suuret odotukset	Teknologia on aikaisempaa paremmin ”kaikkien saatavilla”, laukausut ovat halvempia, jne. – innovaatio kiihtyy, TKI-sykli lyhenee ja avaruuspalvelut hyödykkeistyvät	Avaruustoiminta kontribuoi ilmaston ja ihmisten toiminnan vaikutusten ymmärtämiseen sekä ilmastomuutostoi- miin	(Julkista/ valtiollista) Avaruustoimintaa tähän asti kehitetty sääntelyn kanssa yhdessä
Suurvaltojen kilpailu/ kamppailu avaruudesta, mahdollinen kon-	Yksityiset sijoitukset ovat lisääntyneet ympäri maailmaa, mutta vaikuttaa että toiminta on vielä	Avaruustoiminnan (julkisten ohjelmien) kannatus voi laskea nopea-	Avaruustoiminnan infra on haavoittuvaa erilaisille hyökkäystavoille, joista osa on	Lisääntynyt aktiivisuus ja esim. laukaisutoiminnan saastuttavuus sekä avaruusro-	Tulevina vuosina avaruuden demilitarisointisopimusten rajoja koetellaan

Poliittiset	Ekonomiset	Sosiaaliset	Teknologiset	Ekologiset	Lainsäädännölliset
fliktien syntyminen tai ”tarttuminen” avaruuteen	suurelta osin riippuvaista julkisista ohjelmista	stikin, jos teknologiavastainen mieliala kasvaa	edullisia ja/tai laajavaikutteisia	mun lisääntymisen voivat herättää keskustelun kestävydestä ja muuttaa asenteita	Yksityisen toiminnan lisääntyessä mm. Yhdysvalloissa omistusoikeudet avaruudessa ja niiden liitännäisoikeudet on problematisoitu
Eurooppalaisen kehityksen dynamiikka ja jäsenvaltioiden sitoutuminen EU:n ja ESA:n ohjelmiin		Avaruustoiminta voi olla luonteensa vuoksi otollinen informaatiovaikuttamisen kohde	Auringon aktiivisuudella voi olla katastrofaalisia seurauksia		

Avaruustoimintaa koskevat riskit

Edellä keskusteltiin mm. poliittisesta riskistä laajemmassa mitassa, mutta avaruustoimintaa liittyy myös konkreettisia teknisiä riskejä. Niitä voidaan jaotella vaikutuksen keston ja laajuuden mukaan pitkä- ja lyhytaikaisiin, ja vaikutukseltaan laajoihin tai suppeisiin. Alla olevassa kuvassa kuvitettu erityyppisiä maanpäällisiä ja avaruudessa syntyviä riskitapahtumia. Skaala on suuntaa antava, ja erityyppiset järjestelmät ovat alttiimpia kuin toiset. Esimerkiksi yksittäinen törmäys tai laitevika kiertoradalla on paljon suurempi ongelma vaikutukseltaan satelliittipuhelujärjestelmälle, johon kuluu 3–4 geostationääriä satelliittia, kuin matalan kiertoradan suurjärjestelmä, jossa horisontin yllä voi olla samaan aikaan useita keskenään vaihtokelpoisia satelliitteja.



Kuva 15. Avaruustoiminnan teknisten riskien erittely vaikuttavuuden ja keston suhteen

Avaruustoiminnan kehitykseen liittyviin perustavanlaatuisiin kysymyksiin kuuluu teknologisten riskien kasautuminen. Digitalisaation eteneminen sekä jatkuva lyhyen aikavälin tehokkuuden ja tuottavuuden parantaminen haastaa järjestelmä-/ien robustiuden ja resilienssin. 2010–2020-luvun digitalisaatiohankkeissa herkästi toteutetaan “start-up-mentaliteetilla” nopeasti tehokkaita ja hyödyllisiä sovelluksia, jotka ovat loppukäyttäjälle helppoja ja hyödyllisiä – mutta jotka käyttävät erilaisia kehitysalustoja ja sovelluserroksia, ovat keskenään verkottuneita, ja toimivat helposti häiritävillä langattomilla yhteyksillä ja ei-”kovennetulla” kuluttajaluokan laitteistolla¹⁴¹. Helppo kehityspolku ja alustojen käyttäminen johtaa siihen, että kokonaisuuden kannalta kriittisten alijärjestelmien ja tietokantariippuvuuksien osalta on mahdotonta tehdä perusteellista koodin, tietokantojen, tietoliikenneyhteyksien yms. tietoturvan ulottuvuuksien auditointia. Avaruustoiminnan käytännön sovellukset ovat osa tätä digitalisaation teknologiaperhettä,

¹⁴¹ Ilmaisusta ”(radiation) hardened electronics”-”kovennetut” laitteet on suunniteltu ja rakennettu kestävämmään voimakastakin sähkömagneettista säteilyä ja häiriölähteitä, ja ne (erityisesti kannattavat/siirrettävät laitteet) on pääsääntöisesti myös koteloitu vesi- ja pölytiivisti ja kestävämmään pudotusta, iskuja, paineen- lämpötilan- ja ilmankosteudenvaihteluita, tavalla jota vuosien ammattimainen käyttö edellyttää.

ja jää ratkaistavaksi, että miten digitalisaation hyödyt voidaan saada, ilman teknologisen riskin kasautumista ja pahimpia haittoja kriittisissä toiminnoissa.

Skenaariot avaruustoiminnan häiriöiden vaikutuksista

Kappaleessa 3 esitetyissä tapaustutkimuksissa käsiteltiin suppeammassa muodossa mitä vaikutuksia avaruustoiminnan häiriöillä olisi. Tässä kappaleessa konkretisoidaan asiaa skenaarioilla tärkeimpien avaruustoiminnan palveluiden häiriintymisestä. Viimeaikaisessa avaruustoiminnan ympäristöä luodanneessa AVAUS-hankkeessa käsiteltiin laajempia skenaarioita avaruustoiminnan toimintaympäristön ja liiketoiminnan kehittymisestä, jotka ovat edelleen relevantteja. Seuraavassa analyysissä keskitytään enemmän konkreettisiin palveluihin.

Kuten edellä todettiin, useille avaruustoiminnan käyttötapauksille voidaan muodostaa kontrafaktuaali, jossa erilaiset palvelut ja toiminnot voidaan periaatteessa toteuttaa ilman tukeutumista avaruustoimintaan, mutta usein nämä edellyttävät suurempaa käyttäjien osaamista ja omatoimisuutta ja käytännössä heikentävät erilaisia palveluita, lisäävät vasteaikoja, tai vaativat esim. kallista monistettua infraa, joten samaan lopputulokseen tai suorituskykyyn vaaditaan keskeisesti enemmän panoksia ja kokonaisuutena häiriöherkkyys tai riippumattomuus teknologiasta ei itsestään selvästi vähene. Lisäksi on huomattava, että viimeisten vuosien ja vuosikymmenten aikana eri toimintoihin sisään kasvanutta avaruustoimintaa ei voida korvata käden käänteessä häiriön sattuessa, vaan joka tapauksessa seurauksena on eri toimintojen palvelutason heikkeneminen ja normaalin toiminnan häiriintyminen.

Konkreettinen esimerkki kontrafaktuaalista voidaan muodostaa GNSS-aikasignaalin käytöstä. Aikaleimaukseen ja verkkojen tai muiden järjestelmien synkronointiin on toteutettu ennen GNSS-järjestelmien laajamittaista käyttöä maanpäällisillä aikapalveluilla, käytännössä tahdistetuilla nopeilla verkkoyhteyksillä paikallisiin koordinoitua yleisaikaa ylläpitäviin mittatekniikan laitoksiin/maanpäällisiin atomikelloihin. GNSS-aikasignaali on otettu käyttöön koska se on halvempi toteuttaa ja käyttää, samalla tai jopa paremmalla palvelun laadulla. Maanpäällisiin yhteyksiin voitaisiin palata hallitusti, mutta varmasti toimivien monistettujen tahdistettujen yhteyksien rakentaminen jokaiseen paikkaan, jossa aikatahdistusta käytetään on jättihanke ja aiheuttaa lisäkuluja erityisesti kautta finanssisektorin. Lisäksi myös maanpäällisiä verkkoyhteyksiä voidaan esim. häiritä ja sabotoida, jossain mielessä helpomminkin, koska ne ovat selkeitä fyysisiä kohteita ja yhteydet ovat usein keskitettyjä, tai ne voivat katketa esim. varomattoman maanrakennustyön seurauksena.

SKENAARIO 1: GNSS-PALVELUN VAKAVA HÄIRIÖ (AIKATAHDISTUS)

Tiistaina 5.12.2023 on kirpikka alkutalven pakkaspäivä ja harrastajat sekä suuri yleisö ovat ihailleet valtavan hienoja revontulia muutamana iltana. Tiistaina aamulla, tuntemattomasta syystä, satelliittipaikannuksen signaalissa alkaa esiintyä vakavia häiriöitä, joita kukaan ei aluksi pane merkille

Päivän mittaan sähköverkossa alkaa näkyä epävakautta, joka näkyy satunnaisena valojen himmenemisenä ja herkempien laitteiden kuten tietokoneiden epävakautena toimintana. Osassa Suomea joudutaan kytkemään osa erityisesti hajautetusta tuotantokapasiteetista pois verkosta, kun verkon vakaus heikkenee. Kodeissa ihmetellään, että mikähän se nyt tällä kertaa, kun luntakaan ei ole satanut tai ei ole myrskyä ja pahimpien häiriöiden alueilla aletaan laskemaan, montako tuntia omakotitalo pysyy lämpimänä ilman keskuslämmitystä.

Samaan aikaan verkkoyhtiöiden ohjaus- ja valvontakeskuksissa tehdään kovasti töitä verkon vakauden ja tasapainotuksen ylläpitämiseksi. Asiaa selvitetään juurta jaksain, kunnes huomataan, että verkon kulutuksen ja tuotannon mittaus eivät ole luotettavia ja verkon automaattinen säätely ei pysty tasapainottamaan sähkövirtoja.

Kauempana monen arjesta, samana aamuna rahoitusalan yhtiöissä aletaan huomata ongelmia arvopaperi- ja johdannaiskaupoissa. Kaupat eivät toteudu ollenkaan ohjelmoidulla tavalla tai toteutuvat väärään aikaan, ja kauppojen hinnan määrittämisessä on ongelmia. Kaupankäyntijärjestelmissä alkaa esiintyä enenevässä määrin häiriöitä ja kaupankäyntiä joudutaan vähentämään tai keskeyttämään kokonaan. Rahaliikenteen hoitamisessa alkaa myös esiintyä päivän mittaan vaikeuksia ja häiriön kestäessä tilisiirrot, kuten laskujen, palkkojen ja etuuksien maksut alkavat viivästyä.

Muutaman päivän – viikon kuluessa yrityksissä ympäri maan aletaan saada sähköpostia sopimuskumppaneilta, joissa eri sanoilla ilmoitetaan, että emme voi sopia kaupoista tai tavarantoimituksista, koska sähköisissä allekirjoituksissa on epäselvyyksiä. Asiaa aletaan selvittämään ja todetaan, että sähköiset allekirjoitukset ovat joko suoraan epäonnistuneet, tai niissä on väärät ajat. Joitakin suurempia ja pienempiä tilauksia menee ohi, mikä näkyy yritysten tuloksessa ja myös vähintään väliaikaisesti kauppojen hyllyillä.

Samalla tavoin sijainti- ja paikkatiedon hyödyntämiseen voidaan ajatella kontrafaktuaali. Jos sijaintia ja reittinavigointia ei olisi käytössä, se käytännössä merkitsisi äkillisesti tietenkin reitiltä eksymisen kasvua arjessa ja matka-aikojen hidastumista. Merkittävämpää olisi tämän heijastuminen koko liikenne ja logistiikkajärjestelmään, jossa kuljetusajat erityisesti jakelussa ja lähettipalveluissa kasvaisivat lyhyellä ja keskipitkällä tähtäimellä. Yhtä lailla merkittävä, mutta vähemmän välittömästi näkyvä muutos olisi lento- ja meriliikenteen matka-aikojen kasvu ja merkittävästi pidemmät odotusajat lentokentillä ja satamissa, yhteensä tämä vähentäisi merkittävästi matkustajien ja rahdin liikkumisen tehokkuutta.

SKENAARIO 2: GNSS-PALVELUN VAKAVA HÄIRIÖ (SIJAINTI JA PAIKANNUS)**Samana tiistaina 5.12. satelliittipaikannusta käyttävät matkapuhelinsovellukset ja muut paikannuslaitteet ilmoittavat häiriöstä tai koordinaatit näytössä pysähtyvät tai katoavat samaan aikaan.**

Suomen jakeluliikenteen kuljettajat ja lähetit ovat juuri jättäneet ensimmäiset kuormansa ja pakettinsa ensimmäisille asiakkaille, kun navigointi pysähtyy. Ruokalähetit ovat lähdössä odottelemaan ensimmäisiä noutokutsuja.

Liikenne alkaa häiriön jatkuessa pikkuhiljaa hidastua ja puuroutua kaupungeissa alkaen katuverkosta, kun kääntymistä empiviä ja oikeaa katua etsiviä kuljettajia on kasvava määrä. Liikenteen hidastuminen heijastuu kokoojateille ja ruuhka leviää. Matka-ajat kasvavat merkittävästi ja ihmiset saattavat alkaa väliaikaisesti siirtää tai välttää liikkumista ennestään tuntemattomiin paikkoihin.

Häiriö heijastuu ambulansseihin, sairaankuljetukseen, poliisiin ja pelastuslaitoksen toimintaa samalla tavalla. Tehtävien vasteajat kasvavat erityisesti haja-asutusalueilla ja harvaan asutuissa maan osissa. Eksynyt hiihtorekkelijä, joka soittaa väsyneenä ja hämmentyneenä hätäkeskukseen, ei paikannu päivystäjälle, ja etsinnät vaikeutuvat ja hidastuvat, koska etsittävä alue laajenee merkittävästi.

Samaan aikaan lennonjohdoissa ympäri maan aletaan huolestua ja kentillä, missä on käytössä pelkkä menetelmälennonjohto, aletaan ohjeistaa koneita, jotka ovat lähestymisalueen ulkopuolella, vaihtamaan päämäärän kohti lähintä kenttää, jossa lähestyminen ja laskeutuminen ohjataan tutkalla. Lähestymässä olevat koneet ohjataan odotukseen ja ne laskeutuvat varovasti visuaalisella menetelmällä. Kaikki lentojen aikataulut pettävät, lentoja perutaan ja korvaavia kyytejä etsitään ympäri Suomen.

Meriliikenteessä tilanne ei ole yhtä dramaattinen, mutta erityisesti Saaristomerellä kulkevat alukset kytkevät automaattiohjauksen pois, hidastavat kulkua ja alkavat selvittää häiriön syytä ja tekemään paikanmäärittystä käsin. Suurempi heijastevaikutus on vilkkaissa satamissa, missä lähtö ja tulo viivästyvät ja luotseja tarvitaan yhtäkkiä enemmän. Satamien välityskyky laskee ja toimituksiin alkaa tulla viivästyksiä erityisesti päivien ja viikkojen kuluessa, mikä alkaa myös näkymään viimeistään viikkojen kuluessa kauppohenkilöstön valikoimassa ja mahdollisesti myös hinnoissa.

Kaukokartoituksen häiriöillä voi olla hienovaraisempi ja hitaammin syntyvä vaikutus. Ilmaston seuranta ja tutkimus vaikuttavat pitkällä aikavälillä kansainvälisen politiikan kautta, samoin viljelyn ajan seuranta ja raportointi ovat tärkeitä tehtäviä, mutta jos valvonta vaikeutuu, se ei aiheuta välitöntä onnettomuutta. Nopein vaikutus kaukokartoituksen palvelukatolla on sääennusteisiin ja ympäristön ja aluevalvontaan.

6 Johtopäätökset ja suositukset

6.1 Johtopäätökset

Alla esitetyt johtopäätökset on laadittu selvityksessä kerätyn aineiston synteessin ja analyysin perusteella. Seuraavissa johtopäätöksissä vastataan tutkimuskysymyksiin 1–4. Tutkimuskysymykseen 5 vastataan jäljempänä suosituksessa 4.

Kysymys 1: Miten hyvin Suomessa jo hyödynnetään avaruustoiminnan mahdollisuuksia hallitusohjelman tavoitteiden ja muiden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteuttamisessa sekä eri hallinnonalojen päätöksenteossa?

Avaruustoiminnan kytkeytymistä pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelman tavoitteiden toteuttamiseen on kuvattu yksityiskohtaisesti edellä luvussa 3. Avaruustoimintaa hyödynnetään laajasti eri hallinnonalojen päätöksenteossa sekä hallitusohjelman ja muiden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteuttamisessa, vaikka avaruustoiminnan roolia aina ei välttämättä tiedosteta. Avaruustoiminnalla ja sen tuottamilla palveluilla tai sovelluksilla on erilaisia rooleja päätöksenteossa hallinnonalasta, toiminnosta tai sovelluksesta riippuen:

- Avaruustoiminta tuottaa tietoa, joka informoi korkean tason politiikkaa kuten esimerkiksi ilmasto- ja ympäristöpolitiikkaa
- Avaruustoiminta on osa viranomaistyötä kuten esimerkiksi maa- ja metsätalouden luonnonvarojen inventointi sekä valvonta, liikennejärjestelmän suunnittelu sekä optimointi
- Avaruustoiminta on osa käytännön operatiivista toimintaa kuten esimerkiksi pelastus- ja turvallisuusviranomaisten tilannetieto sekä tehtävien ohjaus, lennonjohto, meriliikenteen ohjaus ja useat reittinavigoinnin sekä satelliittitiedonsiirron arkiset sovellukset. Käytössä on useita avaruustoiminnan sovelluksia, joista useat ovat pitkälle kehittyneitä. Lisäksi uusia sovelluksia on jatkuvasti kehitteillä.

Kysymys 2: Millä aloilla Suomessa toiminnan, tutkimuksen, seurannan ja suunnittelun tarkkuutta, tehokkuutta ja reaaliaikaisuutta on pystytty parantamaan avaruustoiminnan avulla?

Avaruustoiminta on yhä enemmän jokapäiväisen elämän ja toiminnan kannalta olennaista ja se sen hyödyntäminen leikkaa koko yhteiskunnan. Avaruustoiminta parantaa tehokkuutta ja tuottavuutta tarjoamalla ratkaisuja entistä tarkempaan ja reaaliaikaisempaan suunnitteluun, ohjaukseen ja toteutukseen. Avaruustoiminnan soveltaminen ilmenee viranomaistoiminnan, infrastruktuurin ja teollisen toiminnan tehostumisena ja palveluvalikoiman laajentumisena esimerkiksi seuraavasti:

- *Ilmasto- ja ympäristö:* satelliittihavaintojen avulla voidaan muodostaa entistä kattavampia ja laadukkaampia aikasarjoja, satelliittikuvien ja muun sensoriaaineiston yhdistäminen maanpäällisiin mittauksiin mahdollistaa ympäristön tilan tutkimuksen, seurannan ja valvonnan entistä laajemmin ja tarkemmin.
- *Maa- ja metsätalous:* kaukokartoitus mahdollistaa luonnonvarojen inventoinnin kuten esimerkiksi metsän ja viljakasvien kasvun seurannan ja ennustamisen entistä laajemmin ja tarkemmin ja kasvinhoidollisten toimenpiteiden paremman suunnittelun.
- *Energia ja teollisuus:* aikasignaali mahdollistaa verkkojen ja prosessitapahtumien tahdistuksen, kuten esimerkiksi paikallisen tai talouskohtaisen uusiutuvan energiantuotannon ja siirron. GNSS-aikasignaali mahdollistaa prosessien ja toimintojen tarkemman tahdistuksen, ohjauksen ja optimoinnin, sekä sujuvoittaa kuljetuksia ja logistiikkaa.
- *Liikenne:* meri- ja lentoliikenteen ohjaus ja reititys, liikenteen ja logistiikan reittinavigointi erityisesti liikennetietojen kanssa mahdollistaa sujuvan sekä entistä turvallisemman liikenteen ja tuo säästöjä ja parantaa liikenteen kestävyyttä järjestelmän tasolla.
- *Kauppa ja rahoitus:* aikasignaali mahdollistaa transaktioiden, tapahtumien ja sähköisten sopimusten leimaamisen, kaukokartoitusteknologiat mahdollistavat vakuutustoiminnassa vahinkojen arvioinnin entistä kattavammin.
- *Palvelut:* erilaisten liikkuvuus- ja lähettipalveluiden liiketoimintamalli ja hinnoittelu perustuu sijainti- ja paikkatietoon sekä reittinavigointiin.

Samalla avaruustoiminta muuttuu ikään kuin näkymättömäksi loppukäyttäjälle tai hyötyjille. Esimerkiksi aikasignaalin käyttö sähköisessä kaupassa ja sopimuksissa sekä

verkkojen tahdistuksessa, tietoliikennesatelliitit osana kaukopuheluiden välitystä ja kaukokartoitus osana ympäristövalvontaa tai sääennusteiden laatimista eivät välttämättä hahmotu toiminnoiksi, jotka ovat riippuvaisia avaruustoiminnasta.

Kysymys 3: Millä aloilla mahdollisuuksiin ei ole vielä tartuttu ja mitkä tekijät, pullonkaulat, mahdollisesti estävät avaruusratkaisujen hyödyntämisen tai hidastavat niiden käyttöönottoa?

Avaruustoiminnan mahdollisuuksiin on jo tartuttu useimmilla hallinnon ja liike-elämän aloilla. Ilmeiset käyttämättömät mahdollisuudet liittyvät olemassa olevan toiminnan jatkokokehtämiseen ja entistä hienopiirteisempien digitaalisten ratkaisujen käyttöönottoon. Mahdollisia sovelluskohteita on lukemattomia, mutta hallinnon ja taloudellisen toiminnan kannalta suurimmat odotukset kohdistuvat valtavirran sovelluksiin:

- *Teollisuudessa ja liike-elämässä:* 5/6G monikerrosverkkojen kattavuuden ja palvelun kehittymiseen sekä esineiden internetin yleistymiseen, kaukokartoituksen hyödyntämiseen luonnonvara-aloilla kokonaistuottavuuden parantamiseksi ja avaruustoiminnan tuottaman aineiston integrointiin prosessiautomaatiota ja -optimointia varten.
- *Hallinnossa:* Avaruustoiminnan sovellukset ovat käytännössä samaa digitalisaation perhettä kuin "big data" "tekoäly/analytiikka" ja mahdollisuudet konkretisoituvat prosessi- ja päätösautomaatioratkaisukissa sekä erilaisissa avustejärjestelmissä, kuten riskinarvio- ja vahinkovaroitusjärjestelmissä, toiminnanohjauksessa, liikenteenohjauksessa ja -optimoinnissa.

Avaruustoiminnan mahdollisuuksien käyttöönottoa ja hyödyntämistä hidastavat tai estävät taloudelliset ja henkilöstöresurssit, sekä tietoisuuden puute avaruustoiminnan mahdollisuuksista. Avaruustoiminnan leviämiseen esteet ovat suurelta osin rakenteellisia. Yleisiä haasteita ovat hallinnon ja yritystoiminnan suhteellisen pieni yksikkökoko, joiden voimavarat kehittämiseen ovat pienehköt avaruustoiminnan teknologia-, osaa- mis- ja pääomaintensiivisyyteen nähden. Yhtäältä avaruustoimintaan ja -teknologiaan perustuvien sekä näitä hyödyntävien uusien palveluiden ja sovellusten kehittäminen on monilta osin vaativaa TKI-toimintaa, joka vaatii monitieteellistä/-teknistä osaamista sekä resursseja, joihin tavanomaisesti lähinnä suurilla virastoilla tai yrityksillä on varaa. Toisaalta avaruustoiminnan soveltaminen, kuten edellä todettua, liittyy prosessien ja toimintamallien kehittämiseen ja automatisaatioon, ja näin avaruustoiminnan sovellusten käyttöönotto on myös riippuvaista kehittämisresursseista.

Esimerkiksi edellä kuvatuista tapauksista, maataloudessa avaruusteknologiaa on hyödynnetty vähemmän kuin olisi mahdollista, kun taas esimerkiksi metsäinventoinnissa

kaukokartoitusta on hyödynnetty yhdessä kasvumallien kanssa jo pitkään erilaisten metsätietojärjestelmien kehittämisessä aktiivisesti. Eroa selittää, että metsäteollisuus on keskittynyt ja alalla toimivilla yrityksillä, jotka hallitsevat suuria metsävaroja, on paitsi intressi myös resursseja kehittää ja ottaa käyttöön tehokkuutta parantavaa teknologiaa ja ratkaisuja. Maataloudessa tilanne ja teollisuusrakenne on hyvin erilainen, ja keskimääräisellä suomalaisella tilalla ei ole työaikaa, investointipääoma tai osaaamista samalla tavalla rahoittaa kehitystä ja ottaa käyttöön esimerkiksi uusia täsmäviljelyn menetelmiä. Todennäköisesti täsmäviljelyn laajan käytön takaisinmaksuaika olisi melko pitkä yksittäiselle tilalle.

Samalla tavalla esimerkiksi sosiaali- ja terveysalalla olisi mahdollista hyödyntää aiempaa enemmän esimerkiksi paikkatietoon perustuvan liikkuvan kaluston hallinnan (*fleet management*) tekniikoita liikkumisen ja kulkuvälineiden käytön optimointiin esim. kodinhoidossa ja potilaiden siirroissa, mutta tämän tyyppisen toiminnan käynnistäminen vaatii oman osaamisensa, palveluprosessien kehittämisen ja henkilökunnan ohjauksen ja sen hyödyt tulevat toden teolla esiin vain suurimpien kaupunkien kokoisissa yksiköissä.

Kysymys 4: Mitä vaikutuksia avaruustoiminnan häiriöillä voisi olla yhteiskunnan eri toimintojen sujuvuudelle?

Häiriöillä voi olla mittavia ja vakavia vaikutuksia yhteiskuntaan, koska avaruustoiminta on olennainen osa kriittistä infrastruktuuria ja yhteiskunnan kriittiset toiminnot ovat siitä riippuvaisia. Tämä kysymys on noussut merkittäväksi raportin viimeistelyn aikaan tapahtuneen Euroopan turvallisuustilanteen muuttumisen vuoksi. Esimerkiksi keskeiset osat yhdyskuntatekniikasta, pankki- ja sijoitustoiminnasta sekä liikenteestä ovat riippuvaisia avaruustoiminnasta kuten sijaintitiedosta ja aikasignaalista.

Avaruustoiminnan häiriöt voivat johtua esimerkiksi auringon aktiivisuudesta johtuvasta avaruussäästä, tai avaruusesineiden ja/tai maanpäällisen infrastruktuurin vikaantumisesta, sekä tahallisesta häirinnästä¹⁴². Näistä johtuvat häiriöt voivat olla lyhytaikaisia ja paikallisia, tai pitkäaikaisia ja laajoja. Erityisesti pitkään jatkuvat häiriöt ja/tai paikanuksen palvelun laadun heikkeneminen voivat johtaa esimerkiksi julkisen liikenteen häiriöihin tai pahimmillaan jopa pysähtymiseen (esimerkiksi meri- ja lentoliikenne). Aikasignaalin palvelun heikkeneminen tai estyminen alkaa vaikuttaa tieto- ja energia-verkkojen toimintaan sekä sähköiseen kaupankäyntiin ja siten myös huoltovarmuuteen viimeistään päivien tai viikkojen kuluessa. Satelliittiviestinnän merkittäville ja pit-

¹⁴² Ks. esim. MML 2022 Yleisimmät syyt GNSS-häiriöihin Saatavilla: <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/hairioita-satelliittipaikannuksessa-yleisimmat-syyt-gnss-hairioihin>

käaikaisilla häiriöillä olisi myös vakavia vaikutuksia tietoliikenteeseen. Lisäksi kaukokartoituksen ja tietoliikenteen laajat ja pitkäaikaiset häiriöt johtaisivat lisäksi tehokkuuden ja tuottavuuden heikkenemiseen monessa viranomaistoiminnassa sekä esim. liikenteessä ja logistiikassa.

Kysymys 5: Miten Suomen pitäisi tulevaisuudessa asemoitua eurooppalaisessa yhteistyössä (Euroopan avaruusjärjestö, Euroopan Unioni, muu eurooppalainen yhteistyö) saadakseen parhaan hyödyn avaruustoiminnasta?

Avaruustoimintaa hyödynnetään jo laajasti ja paljon resurssien puitteissa ja toiminta on lisäksi varsin korkeatasoista. Lisähyötyjen saavuttaminen avaruustoiminnasta edellyttäisi selkeitä kansallista linjaa, painopistevalintoja ja näiden ohjaamaa pitkäaikaista investointia ja etupainotteista asemoitumista eurooppalaisiin ohjelmiin. Merkittävien nykyiseltä kehitysuralta poikkeavien lisähyötyjen saavuttaminen luultavasti edellyttäisi suuruusluokan suurempia panoksia hallinnossa ja liike-elämässä, sekä järjestelmällisempää koordinaatiota, jotta voitaisiin muodostaa selkeät kansalliset kannat ja toimenpideohjelmat.

6.2 Suositukset

Suositukset perustuvat samalla tavalla hankkeessa kerättyihin aineistoihin ja niiden kokonaisanalyysiin.

Suositus 1: Avaruustoiminnan tuntemusta ja sen merkityksen ymmärrystä tulee vahvistaa hallinnonaloilla

Avaruustoimintaa tunnetaan ja sen merkitys ymmärretään suhteellisen heikosti siihen nähden, miten kriittisiä sen tuottamat palvelut ovat yhteiskunnan toiminnalle. Avaruustoiminnan palveluiden toiminnan varmistamiseksi ja niiden hyödyntämiseksi ja sovellusten kehittämiseksi tarvittava osaaminen on olennainen huoltovarmuuskysymys, jonka merkitys oletettavasti kasvaa tulevaisuudessa.

- Avaruustoiminnan hyödyntämiseen tarvittavaa osaamista olisi syytä vahvistaa hallinnonaloilla. (vrt. Suositus 2)
- Avaruustoiminnan tuntemiseen ja sen merkityksen ymmärtämiseen olisi syytä panostaa myös yleisön ja poliittisten päätöksentekijöiden piirissä.

Suositus 2: Avaruustoiminnan strategisuutta tulee vahvistaa

Avaruusstrategian sisällöt sinällään ovat relevantteja ohjaamaan avaruustoiminnan kehitystä. Tätä prosessia pitäisi tukea ja vauhdittaa konkretisoimalla avaruusstrategiassa esitetty tavoitetiloja mitattaviksi tavoitteiksi ja konkreettisiksi kehittämishankkeiksi. Lisäksi avaruustoiminnan pitäisi näkyä laajemmin hallinnonalojen sektorikohtaisissa strategioissa ja sääntelyssä, koska avaruustoiminnalla on selkeitä hyötyjä vihreän siirtymän, kansallisen turvallisuuden, energia- ja elinkeinopolitiikan tavoitteiden edistämisessä.

- Avaruusstrategiassa määritelty visio tulisi konkretisoida mitattaviksi tavoitteiksi ja hahmotella mitä lainsäädännöllisiä toimia, TKI-toimintaa, ja muita investointeja vaaditaan niiden toteuttamiseksi ja kenen toimesta.
- Avaruustoiminnan soveltamiseen/käyttöönottoon ja kehittämiseen tulisi muodostaa valtioneuvoston ja hallinnonalakohtaiset toimenpide- ja investointiohjelmat, joihin kerätään kriittinen massa osaamista ja rahoitusta.
- Avaruusstrategian toteutuksen ja kansainvälisen vaikuttamisen/ohjelmayhteistyön koordinointiin tulee olla riittävästi valtioneuvoston yhteisiä ja hallinnonalojen omia (kokopäiväisiä/päätoimisia) resursseja.

Suositus 3: Avaruustoiminnan kehittämisessä tulee tunnistaa Suomelle tärkeimmät teknologiat ja sovellusalueet

Avaruustoiminnan sisällöllisiä painotuksia tulee tarkastella yhdessä strategisuuden kehittämisen kanssa, niin että panoksia voidaan kohdentaa alueille missä niillä on eniten vaikutusta (vrt. Suositus 2). Painopisteiden tunnistamisessa on mahdollista hyödyntää esimerkiksi seuraavia tasoja, joiden sisällä voidaan liikkua politiikkatavoitteiden ja teknisten mahdollisuuksien mukaan:

1. *Aktiivinen veturi/kehittäjä*: esim. 5/6G, monikerrosverkot, kyberturvallisuus; GNSS-palveluiden laadun tarkkailu, virheensieto ja -korjaus; dataintegraatio ja sensorifuusio eli erityyppisten aineistojen automatisoitu yhdistäminen, suodattaminen ja formatointi, sekä tähän liittyvät analyysit ja laskentamenetelmät
2. *Aktiivinen kehityskumppani, osallistuja ja soveltaja*: esim. synteesiaperuuritutkat, sekä hyperspektrikuvaus; tutka- ja muut piensatelliitit; kauko-

kartoituksen hyödyntäminen luonnonvarojen inventoinnissa ja hallinnassa, maa- ja metsätaloudessa

3. *Tarkkaavainen seuraaja*: muut alueet

Suositus 4: Eurooppalaisten avaruusohjelmien tehokkaampi hyödyntäminen edellyttää nykyistä vahvempaa koordinaatiota ja järjestelmällisempää lähestymistapaa

- Eurooppalaisten ohjelmien täysipainoinen hyödyntäminen edellyttää proaktiivista/etupainotteista asemoitumista eurooppalaisiin painopisteisiin ja ohjelmiin. Ohjelmien rakenteisiin ja sisältöihin tulisi olla selkeä kansallinen kanta jo ohjelman valmisteluvaiheessa.
- Delegaatti- ja vaikuttamistyön tulee olla koordinoitua ja hyvin resursoitua. Työn tulisi alkaa jo ohjelman valmistelun aikana. Tähän tarvitaan nykyistä enemmän VN:n yhteisiä koordinaatioresursseja kansallisten kantojen valmistelua, muistioiden laatimista ja raportointia varten. (vrt. suositus 1)
- Eurooppalaisten ohjelmien osallistumisen tulee olla yhdensuuntaista kansallisesti määriteltyjen selkeiden tavoitteiden ja painopistevalintojen ja näiden ohjaaman pitkäaikaisen investointi- ja TKI-valikoiman kanssa (ks. myös suositus 2). Ilman kansallista kapasiteetinnosto- ja koordinaatio- rahoitusta on vaikea muodostaa kriittistä massaa kansalliseen ekosysteemiin ja saada uusia toimijoita EU:n ja ESA:n rahoituksen piiriin.

Suositus 5: Valtioneuvoston ja ministeriöiden tulee hyödyntää julkisten hankintojen mahdollisuuksia aktiivisemmin avaruustoiminnan kehittämiseen

Julkiset hankinnat ovat merkittävä jokavuotinen panostus, joka jättää varjoonsa tutkimus- ja kehitysrahoituksen. Hankintojen hyödyntäminen on merkittävä mahdollisuus myös avaruustoiminnan sovellusten ja palveluiden kehittämiseksi.

- Esikaupallisia hankintoja kannattaa tarkastella ja edistää erityisesti kansainvälisen kysynnän ja Suomen vahvuuksien perusteella valituilla avaruustoiminnan sovellusaloilla, sellaisissa pilottikohteissa joissa voidaan tuoda lisäarvoa hallinnon toimintaa ja samanaikaisesti tuottaa kansainvälisesti käytettävissä oleva referenssi yritykselle.

- Tällaisia hankintoja valmistellessa tulee varmistua, että rakenteelliset esteet eivät ole tiellä, eli että (esikaupallisilla) hankinnoilla on valtioneuvoston ja hallinnonalan ylimmän johdon nimenomainen tuki, hallinnossa on osaaminen ja resurssit esikaupallisiin hankintoihin ja hallinnon prosessien kehittämiseen, joilla voidaan varmistaa onnistunut ratkaisujen kehittäminen ja vaikuttava käyttöönotto sekä hyötyjen toteutuminen.

Liitteet

Hallitusohjelman osa-alueet, tavoitteet ja avaruustoiminnan tuottama lisäarvo hallitusohjelman toteuttamiseen

	Avaruustoiminnan toiminnallinen tarkoitus/fokus hallinnonalalla	Missä konkreettisissa sovelluksissa avaruustoimintaa hyödynnetään hallinnonalalla	Avaruustoiminnan koordinaatio ja kehittäminen	Avaruustoiminnan käytännön osallistuminen ja hyödyntäminen	Tärkeimmät avaruustoimintaa koskevat strategiat, suunnitelmat ja muut ohjausasiakirjat
TEM	<p>Avaruustoiminta osana elinkeino- ja innovaatiopolitiikan kokonaisuutta.</p> <p>Avaruushallinnon ja avaruusstrategian toteuttamisen koordinaatio.</p> <p>Avaruustoiminnan luvat ja valvonta, avaruusesinerekisteri.</p>	<p>Avaruushallinnon ja avaruusstrategian toteuttamisen koordinaatio ja ANK:n pysyvä sihteeristö, sekä kansainvälinen edunvalvonta ja vaikuttaminen on TEM:n vastuulla.</p> <p>Business Finland hallinnoi ESA:n ohjelmien kansallista rahoitusosaa, sekä tarjoaa yritysten kansainvälistymisen ja rahoituspalveluita.</p>	TEM:n avaruustiimi on neljä henkilöä,	Business Finlandin avaruustoiminnan koordinaatiossa sama määrä, 3–4 henkilöä.	<p>Suomen avaruusstrategia, Laki avaruustoiminnasta (63/2018)</p> <p>Business Finlandin strategia ja ohjausasiakirjat</p>
LVM	Satelliittinavigaation ja satelliittidatan turvallisen ja yhteiskuntaa hyödyttävän käytön edistäminen. Liikennejärjestelmän ja väylien kehittäminen, sekä älyliikenteen infrastruktuurin, kuten liikenteen telematiikan kehittäminen.	<p>Liikennejärjestelmän ja telematiikan kehittäminen.</p> <p>Käytännön osallistuminen tapahtuu erityisesti virastoissa. Traficom on Galileo-palvelutuotannosta vastaava viranomainen Suomessa. Traficom hallinnoi PRS-palvelua. Ilmatieteen</p>	Avaruusasioita hoidetaan verkko-osastolla. Verkkojen sääntely -yksikkö vastaa osallistumisesta avaruusasiain neuvottelukuntaan ja Galileo- ja Copernicus-ohjelmiin liittyvien kysymysten koordinoinnista sekä Galileo-järjestelmän PRS-palvelusta ja (lähettäviin) maa-ase-	LVM vastaa hallinnonalan ohjauksesta. Käytännön osallistuminen tapahtuu erityisesti virastoissa. Ministeriössä edistetään liikenteen automaatiota, jossa avaruustoiminnalla on keskeinen merkitys.	Avaruusstrategia, paikkatietostrategia

	Avaruustoiminnan toiminnallinen tarkoitus/fokus hallinnonalalla	Missä konkreettisissa sovelluksissa avaruustoimintaa hyödynnetään hallinnonalalla	Avaruustoiminnan koordinaointi ja kehittäminen	Avaruustoiminnan käytännön osallistuminen ja hyödyntäminen	Tärkeimmät avaruustoimintaa koskevat strategiat, suunnitelmat ja muut ohjausasiakirjat
	Traficom hallinnoi LVM:n mandaatilla avaruustoiminnassa käytettäviä radiotaajuuksia.	laitos vastaanottaa ja osallistuu satelliittidatan tuottamiseen sekä EUMET-SAT:n toimintaan.	miin liittyvistä kysymyksistä Liikenne- ja viestintäviraston ja Ilmatieteen laitoksen kanssa.		
MMM	Maa- ja metsätalouden seurantaan ja tutkimukseen sekä erityisesti maatalouden liittyvä (EU-) viranomaisvalvonta. Maanmittauslaitos pitää yllä paikannuksen satelliittiteknologiaa ja referenssi-/avustejärjestelmiä.	Kaukokartoitus, satelliittikuvat, paikannussatelliittien datat sekä globaalit geodeettiset mittaukset (satelliittilaser ja VLBI) Satelliittipaikannuksen kehittäminen GALILEO-raakasignaali, Suomen koordinaatiston ylläpito. Signaalin luotettavuusanalyysi ja referenssisignaaliverkoston ylläpito.	Avaruustoiminta ja sen koordinaointi on MMM:ssa Tieto- ja tutkimustoimialan ylijhtajan yleisvastuulla ja koordinaointia hoitaa johtava asiantuntija MMM:ssä ESA-delegaatti, YK-delegaatti, avaruusasioiden neuvottelukunta	MML ja paikkatietokeskuksessa operatiivisessa työssä n. 150 HTV suoraan ja välillisesti	ANK ja avaruusstrategia Geodesia Suomessa -strategia
YM	Ympäristön tilan seuranta ja tutkimus, sekä viranomaisvalvonta ja raportointi.	Kaukokartoitus ympäristön ja vesistöjen tilan seurannassa. Konkreettisesti Suomen ympäristökeskusten tutkimustoiminta ja ympäristön tilaan liittyvä tiedontuotanto.		SYKE tekee ympäristön seurantaan liittyvää analyysiä ja siihen liittyvää tutkimusta ja kehittämistä erityisesti maanpäällisen näytteenottoverkoston ja laajojen satelliittiaineistojen yhdistelyn ja uusien sensoriaineistojen saralla, ja tuottaa tietoa ympäristön ja vesistön tilasta.	

	Avaruustoiminnan toiminnallinen tarkoitus/fokus hallinnonalalla	Missä konkreettisisä sovelluksissa avaruustoimintaa hyödynnetään hallinnonalalla	Avaruustoiminnan koordinaointi ja kehittäminen	Avaruustoiminnan käytännön osallistuminen ja hyödyntäminen	Tärkeimmät avaruustoimintaa koskevat strategiat, suunnitelmat ja muut ohjausasiakirjat
SM	Avaruustoiminta osana viranomaisten jokapäiväistä suorituskykyä	<p>Paikannusjärjestelmät, Galileo PRS. Copernicus ja GOVSATCOM-hyödyntämistä edistetään.</p> <p>Satelliittiratkaisut osana Virve 2.0 -käyttöönottoa.</p> <p>Metsäpalojen havainnointi, Ilmatieteenlaitoksen säätiedot (esim. metsäpaloindeksi, vallitsevat sääolosuhteet ja ennusteet), kaukokartoituksella tehtyjä metsävaratietoja metsäpalojen leviämisen ennustamiseen sekä pelastustoiminnan johtamiseen.</p> <p>Hyödynnetään satelliittipuhelimia pelastustoimen tehtävien hoitamisessa esimerkiksi pelastustoiminnan johtamisessa erilaisissa häiriötilanteissa ja laajennetaan viestiverkkoja alueille, joissa maanpäälliset verkot eivät toimi.</p> <p>Satelliittipaikannus pelastustoimen tehtävissä; ajoneuvojen, alusten ja henkilöiden paikannus.</p> <p>Hyödynnetään paikkatietoa hätäilmoituksen tekijän paikantamiseen (AML, 112suomi, eCall).</p>	SM:n GOVSATCOM-tiimi hallinto- ja kehittämisosastolla; hallinnonalan satelliittiviestintä- ja PRS-koordinaointi, avaruusasiainneuvottelukunnan sihteeristö ja jaostot. Jäsenenä EU:n avaruusohjelman GOVSATCOM-työssä, Horizon 2020 ENTRUSTED -hankkeessa (GOVSATCOM käyttäjävaatimukset sekä tutkimus- ja innovaatiotiekartta). Pelastusosastolla ja Rajavartiolaitoksessa substanssialan ohjaus, operatiivinen ja tekninen toiminta sekä juridiset asiat.	SM hallinto- ja kehittämisosasto, kansallisen turvallisuuden yksikkö, pelastusosasto, poliisiosasto, Poliisihallitus ja Rajavartiolaitos n. 15 hlöä	Sisäministeriön hallinnonalan konsernistratogia

Avaruustoiminnan toiminnallinen tarkoitus/fokus hallinnonalalla	Missä konkreettisissa sovelluksissa avaruustoimintaa hyödynnetään hallinnonalalla	Avaruustoiminnan koordinaatio ja kehittäminen	Avaruustoiminnan käytännön osallistuminen ja hyödyntäminen	Tärkeimmät avaruustoimintaa koskevat strategiat, suunnitelmat ja muut ohjausasiakirjat	
PLM	<p>Tavoite hyödyntää avaruutta tukemaan PV:n operatiivista toimintaa, sekä laajempaa toimintaa esim. avaruusromu ja avaruusinfra</p> <p>Avaruustilannekuvan rakentaminen on meneillään oleva prosessi.</p>	<p>Onnettomuusalueen kuvaaminen satelliitista ja kuva-aineiston hyödyntäminen pelastustoiminnassa. Esimerkiksi tulvatilanteet, myrskyt ja metsäpalot. Satelliittipohjaiset hätäpaikantimet / ilmoituslaitteiden hyödyntäminen. Satelliittikanavan kautta tuleva vaaratiedottaminen tulevaisuudessa.</p> <p>Ensisijaisesti EU:n avaruusohjelman pilareiden hyödyntäminen Galileo, PRS, paikannus ja aika (myös GPS)</p> <p>Kaukokartoitustoiminta, Copernicus ei vielä puolustuksessa (EU:n suunta turvallisuuteen)</p> <p>Satelliittiviestintä ja tietoliikenne – erit. GOVSATCOM-hanke/ohjelma</p> <p>Avaruustilannekuva ja avaruustoiminnan resilienssi (avaruussää ja esineiden tarkkailu)</p>	<p>Avaruuslain perusteella: PLM valvoo PV:n avaruustoimintaa asetuksella, raportointi TEM:n Turvallisuusyks. vastuulla on hallinnonalan avaruusasian yhteensovittaminen.</p> <p>Hallinnonalan päätöksenteon valmistelu: esim. Galileon käyttöönottoon liittyvät kysymykset (päätökset normaalissa säädettyssä järjestyksessä)</p> <p>Avaruustoiminnan tietoturva on keskeinen näkökulma koordinaatiossa ja kehittämisessä</p> <p>6hlö yhteensä, 0,75-1hvt</p>	<p>Avaruusasiat hajautuvat ministeriön ja PV:n osastoille useille henkilöille.</p> <p>”Muutama” 3–4 HTV</p>	<p>Kansallinen ja EU:n avaruusstrategia, Puolustusselonteko</p>

	Avaruustoiminnan toiminnallinen tarkoitus/fokus hallinnonalalla	Missä konkreettisissa sovelluksissa avaruustoimintaa hyödynnetään hallinnonalalla	Avaruustoiminnan koordinaatio ja kehittäminen	Avaruustoiminnan käytännön osallistuminen ja hyödyntäminen	Tärkeimmät avaruustoimintaa koskevat strategiat, suunnitelmat ja muut ohjausasiakirjat
OKM	<p>Mahdollistaja, rahoittaja – tutkimusrahoitus, bottom-up tyypeistä rahoitustoimintaa</p> <p>Avaruushaku ICT-ohjelmassa</p> <p>tutkimusrahoitus</p> <p>tieteelliset läpimurrot, uusia osajia</p>	<p>Tutkimusinfrojen rahoitus ja koordinaatio</p> <p>Esim. ESO:n ja EISCAT:n jäsenmaiden kanssa neuvottelu</p> <p>Konkreettisesti tutkimusrahoitus, nimienomaan ylipäätään luonnontieteiden ja tekniikan alan rahoitus. Avaruusala soveltaa muilla aloilla kehitettyä tekniikkaa, sitä kautta Akatemiassa tuetaan avaruustoimintaa.</p> <p>Akatemia rahoittaa Kestävän avaruustieteen ja tekniikan -huippuyksiköä vuosina 2018–2025 (Helsingin yliopisto).</p>		<p>Tutkimusinfrahakemusten käsittely ja prosessointi 1–2</p>	<p>Tutkijalähtöinen toiminta, ohjelmasuunnittelu.</p> <p>Avaruusstrategia ei ohjaa suoraan Akatemian päätöksentekoa.</p>

Lyhenteet

AML	<i>Advanced Mobile Location</i> , matkapuhelimen sijainninvälityspalvelu
ANK	Avaruusasioiden neuvottelukunta
BF	Innovaatorahoituskeskus Business Finland
COPUOS	<i>United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space</i> , Avaruuden rauhanomaisen käytön komitea
COSPAR	<i>Committee on Space Research</i> , kansainvälisen tiedeneuvoston (<i>International Science Council</i> , ISC) avaruustutkimuksen komitea
COSPAS	<i>Космическая Система Поиска Аварийных Судов (КОСПАС, Cosmicheskaya Sistema Poiska Avariynih Sudov)</i> Avaruusjärjestelmä hädässä olevien alusten etsintään, vrt. SARSAT
DIAS	<i>Data and Information Access Services</i> , EU:n rahoittama ESA:n hallinnoima kaukokartoituksen tietopalvelu
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> , Eurooppalainen satelliittipaikannuksen avustejärjestelmä, vrt. GNSS
ESA	<i>European Space Agency</i> , Euroopan avaruusjärjestö
EU	Euroopan unioni
EUMETSAT	<i>European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites</i> , Euroopan sääsatelliittijärjestö
EUSPA	<i>European Union Agency for the Space Programme</i> , EU:n avaruusohjelmavirasto
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> , Yhdistyneiden kansakuntien elintarvike- ja maatalousjärjestö
FMI-ARC	Ilmatieteen laitoksen Arktinen avaruuskeskus
GCOS	<i>The Global Climate Observing System</i> , YK:n erityisjärjestöjen rahoittama ilmasto-ohjelma
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i> , maankuoreen nähden kiinteässä asemassa oleva kiertorata
GLONASS	<i>Глобальная навигационная спутниковая система, Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja Sistema</i> , Maailmanlaajuinen navigointisatelliittijärjestelmä vrt. GNSS

GMDSS	<i>Global Maritime Distress and Safety System</i> , Maailmanlaajuinen merenkulun hätä- ja turvallisuusradiojärjestelmä
GMES	<i>Global Monitoring for Environment and Security</i> , eurooppalainen kaukokartoitusohjelma
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> , Globaali/maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä (yleisnimi)
GOVSATCOM	<i>European Union Governmental Satellite Communications programme</i> , EU:n viranomaissatelliittiviestinnän ohjelma
GPS	<i>Global Positioning System</i> , vrt. GNSS
GSMA	<i>Global System for Mobile Communications Association</i> , matkaviestintalan järjestö
HEO	<i>High Earth Orbit</i> , korkea maan kiertorata
HÄKE	Hätäkeskus
IL	Ilmatieteenlaitos
IoT	<i>Internet of Things</i> , esineiden internet, teollinen internet
ISS	<i>International Space Station</i> , Kansainvälinen avaruusasema
IMO	<i>International Maritime Organization</i> , Kansainvälinen merenkulkujärjestö
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> , kansainvälisen televiestintäliitto
LANDSAT	Yhdysvaltojen avaruushallinnon ja maanmittauslaitoksen kaukokartoitusohjelma
LEO	<i>Low Earth Orbit</i> , matala maan kiertorata
LUKE	Luonnonvarakeskus
MML	Maanmittauslaitos
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
NSE	<i>New Space Economy</i> , uusi avaruustalous/-liiketoiminta
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> , Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö
OKM	Opetus- ja kulttuuriministeriö
PIA	Puolustus- ja ilmailuteollisuus PIA ry

PELA	Pelastuslaitos
PLM	Puolustusministeriö
PRS	<i>Public Regulated Service</i> , Galileon salattu paikannussignaali, vrt. GNSS
RVL	Rajavartiolaitos
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i> , suuren laskennallisen antennin läpimitan (apertuurin) tutka, synteesiapertuuritutka
SARSAT	<i>Search and Rescue Satellite Aided Tracking</i> , kansainvälinen hätäpaikannusjärjestelmä
SM	Sisäministeriö
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TEM	Työ ja elinkeinoministeriö
TKI	Tutkimus, kehittäminen ja innovaatio
UM	Ulkoministeriö
UNOOSA	<i>United Nations Office of Outer Space Affairs</i> , YK:n avaruusasiain toimisto
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> , kv. koordinoitu yleisaika
Virve	Viranomaisverkko
VN	Valtioneuvosto
WMO	World Meteorological Organization, Maailman ilmatieteen järjestö
YK	Yhdistyneet kansakunnat
YM	Ympäristöministeriö

Lähteet

- Aaltola & Creutz, 2020. Avaruustoimintaympäristön muutoksien vaikutukset Suomen turvallisuuteen, VN TEAS Policy Brief 1/2020
- Anttonen, A., M. Kiviranta, and M. Höyhty, "Space debris detection over intersatellite communication signals," *Acta Astronautica*, vol. 187, pp. 156–166, Oct. 2021
- van Audenhove, F. et al. (2020) The Future of Mobility post-COVID. Arthur D. Little, July 2020. <https://www.adlittle.com/en/insights/report/future-mobility-post-covid>
- Azari M. M. et al., "Evolution of non-terrestrial networks from 5G to 6G: A survey," Available at: arxiv.org/pdf/2107.06881.pdf
- Baldacci ym. 2020, "Influence of agricultural and grey spaces proximity on allergic rhinitis, asthma and COPD: a population-based study", *European Respiratory Journal*, 56: 1394. doi.org/10.1183/13993003.congress-2020.1394
- Bausch A., Whibberley, P.: *Reliable Time from GNSS Signals*, Inside GNSS, 2017
- Brunne, 2021 *Space and Security – NATO's role* NATO Parliamentary Assemblu Science and Technology Committee, Special Report;
- Consolidated versions of the Treaty on European Union and the Treaty on the Functioning of the European Union, Official Journal C 326 , 26/10/2012 P. 0001 – 0390
- Julienne, M. 2021 "China's Ambitions in Space: The Sky's the Limit", *Études de l'Ifri*, Ifri, January 2021;
- US Office of the Director of National Intelligence 2021 Annual Threat Aseessment of the the US Intelligence Community
- Dang ym. 2020, "What should 6G be?," *Nature Electronics*, vol. 3, no. 1, s. 20–29. doi.org/10.1038/s41928-019-0355-6
- Del Peral-Rosado ym. 2020, "Exploitation of 3D City Maps for Hybrid 5G RTT and GNSS Positioning Simulations", ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings, 9205 s. doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9053157
- Eronen et al. 2012, Vaikuttavuutta sovelluksista - Suomalaisen avaruustoiminnan arviointi, *Tekes katsaus* 294/2012
- Euroopan komissio 2016. *Space Strategy for Europe*, COM(2016) 705 final
- European Space Agency, *Navipedia*, 16.9.2018. Lisäksi: *Galileo Application Sheet – Energy Applications*, ESA 2002.
- European Court of Auditors, 2021 *EU space programmes Galileo and Copernicus: services launched, but uptake needs a further boost* Special Report 07/2021
- The European GNSS Agency (GSA). 2020, "GNSS user technology report. Issue 3, 2020". 105 s. doi.org/10.2878/565013
- Executive Office of the President, *Economic Report of the President (2021)*, United States Gov't Publishing Office
- Morgan-Stanley, "The Space Economy's Next Giant Leap" Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>
- Guo, H., Zhang, L. & Zhu, L. (2015). Earth observation big data for climate change research. *Advances in Climate Change Research* 6 (2015) 108-117, https://www.researchgate.net/publication/283965771_Earth_observation_big_data_for_climate_change_research
- Harri et al. 2020 AVAUS - Avaruuden uuden toimintaympäristön turvallisuusulottuvuudet ja liike-toiminta, Valtioneuvoston kanslian julkaisuja 2020:8
- Harrison et al. 2021, *Space Threat Assessment 2021*, CSIS Auospace Security Project, US Defense Intelligence Agency, 2019 *Challenges to Security in Space*, Saatavilla www.dia.mil/Military-Power-Publications

- Höyhty, M., Corici, M., Covaci, M., Guta, "5G and Beyond for New Space: Vision and Research Challenges," in Proc. ICSSC, Oct. 2019
- Kaasalainen S. et al. 2021, Selvitys GNSS-palvelujen tarjonnasta ja toiminnasta, Raportti MML 50103/08 05/2021.
- Lasaponara R. & Masini N. 2020, "Big Earth Data for Cultural Heritage in the Copernicus Era", In: Hadjimitsis D. et al. (eds) Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-10979-0_3
- Li et al. 2019, "Deep neural network for remote sensing image interpretation: status and perspectives", National Science Review. doi.org/10.1093/nsr/nwz058
- LVM (2021) Fossiilitoman liikenteen tiekartta: Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163258>;
- LVM (2020) Logistiikan digitalisaatiostrategia. Kohti tehokasta ja kestävää logistiikkaa digitalisaatiolla. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:13.
- LVM (2021) Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä Digirata-valmisteluvaiheen loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:17;
- Valtioneuvoston periaatepäätös meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163290>
- LVM (2021) Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa. Toimenpideohjelma 2021–2025. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 27/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163609>
- LVM 2020 Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä - Digirata-selvityksen loppuraportti, LVM:n julkaisuja 2020:6
- LVM (2004) Intelligent transport systems and services. Finnish strategy. Ministry of Transport and Communications Programmes and Strategies 5/2004.
- Ma ym. 2019, "Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 152, s. 166–177. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015
- Mueller ym. 2021, "Neighbourhood and path-based greenspace in three European countries: associations with objective physical activity", BMC Public Health, vol. 21, no. 1. doi.org/10.1186/s12889-021-10259-0
- Näsi, R., Viljanen, N., Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Sorvali, J., Hakala, T., de Oliveira, R., A., Wittke, S., Puttonen, E., Karjalainen, M. & Honkavaara, E. 2020. Drooni- ja satelliittikuvien hyödyntämismahdollisuuksia suomalaisilla maatioilla. Suomen Maataloustieteellisen seuran tiedote no 37. Maataloustieteen Päivät 2020. Esitelmä- ja posteritivistelmät
- OECD, Measuring the Economic Impact of the Space Sector – Key Indicators and Options to Improve Data, OECD background paper for the G20 space economy leaders' meeting, 10/2020;
- OECD, 2012. OECD Handbook on Measuring the Space Economy, OECD, Paris
- OECD, 2021 Space economy for people, planet and prosperity: OECD paper for the G20 Space Economy Leaders' Meeting, 20-21.9. 2021 Rome
- OECD Space Forum, 2020 Measuring the economic impact of the space sector key indicators and options to improve data. Saatavilla: <https://www.oecd.org/innovation/inno/measuring-economic-impact-space-sector.pdf>; OECD, 2012. OECD Handbook on Measuring the Space Economy, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264169166-en>.; Morgan-Stanley 2021 A New Space Economy on the Edge of Liftoff. Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>
- Parmes ym. 2020, "Influence of residential land cover on childhood allergic and respiratory symptoms and diseases: Evidence from 9 European cohorts", Environmental research, vol. 183. doi.org/10.1016/j.envres.2019.108953

- Palmroth et al 2021 Toward Sustainable Use of Space: Economic, Technological, and Legal Perspectives, *Space Policy*, Vol. 57 (August 2021), 101428
- PwC (PricewaterhouseCoopers), 2016. "Socio-economic impacts from Space activities in the EU in 2015 and beyond". 309 s. doi.org/10.2873/88313
- Resolution on the European Space Policy; ESA Director General's Proposal for the European Space Policy, ESA BR-269
- Saarenpää & Virtanen, 2019. ERICA-hätäkeskustietojärjestelmä: Käyttöönoton vaikutukset poliisin päivittäiseen kenttätoimintaan, POLAMK opinnäytetyö
- Space Foundation, The Space Report 2021 Q2, Q4; Morgan-Stanley, "The Space Economy's Next Giant Leap" Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>
- Segarra et al. 2020, "Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications", *Agronomy*, vol. 10, no. 5. doi.org/10.3390/agronomy10050641
- Soille ym. 2018, "A versatile data-intensive computing platform for information retrieval from big geospatial data", *Future Generation Computer Systems* 81, s. 30–40. doi.org/10.1016/j.future.2017.11.007
- TEM (2017) Liikennealan kansallinen kasvuohjelma 2018-2022. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 15/2017.
- TEM/KPMG, 2021 Suomen osallistuminen Euroopan avaruusjärjestön miehitettyjen avaruuslennojen ja avaruuden tutkimuksen ohjelmaan – selvitys taloudellisista ja yhteiskunnallisista hyödyistä
- Turvallisuuskomitea/Sanastokeskus TSK 2017 Kokonaisturvallisuuden sanasto, TSK 50
- Turvallisuuskomitea/VN 2017 Yhteiskunnan turvallisuusstrategia, Valtioneuvoston periaatepäätös PLM/2017/58
- VN, Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta – Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma, 2019, <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma>
- Valtioneuvoston puolustuselonteko, VN:n julkaisuja 2021:78
- Valtioneuvoston periaatepäätös liikenteen automaation edistämisestä. Valtioneuvoston periaatepäätös LVM/2021/137. <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f80772030>
- VN, 2021 Parlamentaarisen TKI-työryhmän loppuraportti, Valtioneuvoston julkaisuja 2021:95;
- VN, 2021 Kansallinen tutkimuksen, kehittämisen ja innovaatioiden päivitetty tiekartta,
- Vidal, F "Russia's Space Policy: The Path of Decline?", *Études de l'Ifri, Ifri*, January 2021.
- Verrelst ym. 2019, "Quantifying Vegetation Biophysical Variables from Imaging Spectroscopy Data: A Review on Retrieval Methods", *Surveys in Geophysics*, vol. 40, no. 3, s. 589–629. doi.org/10.1007/s10712-018-9478-y
- Weinzierl & Sarang, 2021 "The Commercial Space Age is Here, *Harvard Business Review*;
- OECD 2019, *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*;
- Xu, S., X. Wang and M. Huang, "Software-Defined Next-Generation Satellite Networks: Architecture, Challenges, and Solutions," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 4027–4041, 2018, doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793237
- Yastrebova ym. 2021, "Positioning in the Arctic Region: State-of-the-Art and Future Perspectives", *IEEE Access*, vol. 9, s. 53964–53978. doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069315
- YM, Suomen kansallinen ilmastopoliittika, <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopoliittika>

tietokayttoon.fi

ISBN PDF 978-952-383-080-6
ISSN PDF 2342-6799