



Kaukohuolto - loppuraportti

Kaukokartoitus kriittisten toimintojen
turvaamisessa



Huoltovarmuuskeskus



Huoltovarmuuskeskus

www.huoltovarmuuskeskus.fi

Huoltovarmuudella tarkoitetaan kykyä sellaisten yhteiskunnan taloudellisten perustoimintojen ylläpitämiseen, jotka ovat välttämättömiä väestön elinmahdollisuuksien, yhteiskunnan toimivuuden ja turvallisuuden sekä maanpuolustuksen materiaalistien edellytysten turvaamiseksi vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa.

Huoltovarmuuskeskus (HVK) on työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalan laitos, jonka tehtävänä on maan huoltovarmuuden ylläpitämiseen liittyvä suunnittelu ja operatiivinen toiminta.

Huoltovarmuusorganisaatio (HVO) on verkosto, joka työskentelee yhdessä Suomen toimintakyvyn ja sen edellyttämän huoltovarmuuden hyväksi. Siihen kuuluvat Huoltovarmuuskeskus ja sen hallitus, huoltovarmuusneuvosto sekä eri toimialojen sektorit ja poolit. Lisäksi yhteistyötä tehdään alueellisten toimijoiden, kuten aluehallintovirastojen, kuntien ja kaupunkien sekä alueellisten toimikuntien kanssa.

Julkaisija: Huoltovarmuuskeskus

Kirjoittaja: Hannu Kämäri, CGI Suomi Oy

Kansikuva: iStockphoto

Taitto: KMG Turku

Julkaisuvuosi: 2025

ISBN: 978-952-7470-43-5

Sisältö

Johdon tiivistelmä	1
1. Johdanto	2
1.1 Selvityksen tavoitteet	2
1.2 Lähtökohdat selvitykselle	2
1.3 Kaukokartoituksen määritelmä	3
1.4 Sanasto	4
2. Selvityksen toteutus	5
3. Käytetyt kaukokartoitusmenetelmät	6
4. Kaukokartoituksen merkitys yleisesti	7
5. Toimialakohtaiset näkökulmat	10
5.1 Maanmittauslaitos	11
5.2 Metsäsektori	13
5.2.1 Laserkeilaus ja ilmakuvauus	13
5.2.2 Muut kaukokartoitusaineistot metsäsektorilla	13
5.3 Yleistä Metsäsektorista	14
5.4 Maatalous	15
5.4.1 Viranomaistoiminta	15
5.4.2 Viljelijät	16
5.5 Ympäristösektori	16
5.6 Ilmatieteen laitos ja sääpalvelut	18
5.7 Energiasektori	20
5.8 Poliisi- ja pelastustoimi	21
5.9 Infrastruktuuripalvelut ja kaupunkisuunnittelu	22
6. Kaukokartoitus kriittisten toimintojen turvaajana	23
6.1 Kaukokartoituksen rooli kriisiajan johtamisessa	23
6.2 Toimialakohtaiset näkökulmat	23
6.3 Investoinnit kaukokartoitukseen	24
7. Kriittisen huoltovarmuustiedon avoimuus kaukokartoituksessa	27
8. Tulevaisuus	29
9. Yhteenveto	31
9.1 Suositukset	31
Lähdeluettelo	33

Johdon tiivistelmä

Tämän selvityksen tarkoituksena on kartoittaa ja syventää ymmärrystä kaukokartoituksen merkityksestä huoltovarmuuden näkökulmasta, arvioida sen nykyisiä tarpeita ja käyttöä sekä tutkia tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksia. Tämän selvityksen tulokset tarjoavat kattavaa tietoa kaukokartoitustoiminnasta ja sen vaikutuksesta huoltovarmuuteen ja kokonaisturvallisuuteen. Ne mahdollistavat kaukokartoituksen tehokkaamman käytön huoltovarmuuden parantamiseksi sekä tukevat varautumista ja toimintaa häiriötilanteissa ja kriiseissä.

Avaruusasioden merkitys yhteiskunnassa on kasvussa, ja ne ovat keskeinen osa Huoltovarmuuskeskuksen agenda. Satelliittikaukokartoitus on yhä tärkeämpi tiedon tuottaja operatiiviseen toimintaan, seurantaan ja päätöksentekoon. Samanaikaisesti vakiintuneempien, lentokoneesta tehtävän ilmakuvauksen ja laserkeilauksen yhteiskunnallinen vaikuttavuus kasvaa. Lisäksi droonien käyttö erilaisiin tapauskohtaisiin kaukokartoituksiin on todella merkittävässä kasvussa. Kaukokartoituksen huoltovarmuusvaikutuksista ei kuitenkaan ole kattavaa tietoa.

Huoltovarmuus on olennainen osa yhteiskunnan kokonaisturvallisuutta, ja elinkeinoelämällä on siinä keskeinen rooli. Tämä selvitys tarkastelee huoltovarmuutta yhteiskunnan kriittisten toimintojen kautta, joiden jatkuvuus on turvattava. Selvitys perustuu Valtioneuvoston ja Huoltovarmuuskeskuksen linjauksiin ja selvityksiin koskien kansallista turvallisuutta ja huoltovarmuutta. Selvitys toteutettiin haastatteluiden ja kirjallisen kyselyn yhdistelmänä, jota täydennettiin kirjallisella aineistolla.

Suomessa kaksi merkittävintä kaukokartoitusaineistoa tuottavaa organisaatiota ovat Maanmittauslaitos ja Ilmatieteen laitos. Suomessa käytetyin kaukokartoitusaineisto on Maanmittauslaitoksen tuottamat ilmakuvaukset ja laserkeilausaineistot. Siihen perustuvat esimerkiksi yksityisten ja julkisten metsien inventointi ja peltotukijärjestelmän pohjana oleva peltolohkokoreksteri. Ilmatieteen laitoksen tuottamat sääaineistot ovat kriittisiä erityisesti liikenteelle maalla, merellä ja ilmassa ja energiasektorille. Lisäksi ilmatieteen laitoksen tuottama jääkartta on kriittinen talvimerenkululle. Sääpalveluiden lisäksi satelliittidataan pohjautuvista prosesseista erittäin kriittinen on Ruokaviraston satelliittidataa hyödyntävä monitorointijärjestelmä, jolla tarkastetaan tukieitojen mukaisen viljelyn toteutuminen. Vaikka järjestelmä on olemassa vain tukiin liittyvien regulaatioiden takia, niin koko Suomen peltoviljely on siitä kriittisen riippuvainen.

Kaukokartoitusaineiston mahdollinen puuttuminen aiheuttaisi häiriöitä puolessa organisaatioista, mutta vain viidesosassa organisaatioista jokin kriittinen toiminta pysähtyisi kokonaan. Kaukokartoituksen yhteiskunnallinen vaikutus kriittisiin prosesseihin tulee oletettavasti kasvamään. Saman aikaisesti on odotettavissa, että erilaiset häiriöt, kuten GNSS-häirintä, todennäköisesti lisääntyvät. Riippuvuuksia yhdestä tietolähteestä onkin tarkasteltava kriittisesti ja tarvittaessa rakennettava rinnakkaisia ratkaisuja. Tietoturvaan on panostettava ja kriittistä osaamista on ylläpidettävä ja kehitettävä.

Koko kaukokartoitustoimialan ja sen merkityksen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa. Käytävissä olevan aineiston määrä kasvaa ja tarkkuus parantuu. Monipuolisten kaukokartoitusmenetelmien, kuten tutka- ja hyperspektridatan, hyödyntäminen on vielä vähäistä, mutta niiden tarjonta ja käyttömahdollisuudet ovat kasvamassa - erityisesti odotuksia kohdistuu ympäristön seurantaan ja maatalouteen. Tekoälyn kehittyminen ja laskentakapasiteetin kasvu tarjoavat uusia mahdollisuuksia analysoida suuria aineistoja ja löytää uusia käyttötarkoituksia.

1. Johdanto

1.1 Selvityksen tavoitteet

Avaruusasiodien yhteiskunnallinen merkitys on kasvussa ja ne on nostettu osaksi Huoltovarmuuskeskuksen (HVK) agenda. Satelliittikaukokartoituksen rooli tiedon tuottajana operatiiviseen toimintaan, seurantaan ja päätöksentekoon on kasvussa, ja myös drooneilla tehtävä kaukokartoitus lisääntyy merkittävästi. Lisäksi yhteiskunnassa on useita prosesseja, jotka ovat riippuvaisia lentokoneesta tehtävästä ilmakuvauksesta ja laserkeilauksesta. Kaukokartoituksen huoltovarmuusvaikutuksista ei kuitenkaan ole kattavaa tietoa. Ala kehitty nopeasti sekä Suomessa että maailmalla, joten tulevaisuuden näkymien kartoittaminen on tärkeää. Huoltovarmuus on osa yhteiskunnan kokonaisturvallisuutta. Huoltovarmuudessa korostuu elinkeinoelämän rooli.

Tässä selvityksessä tarkastellaan huoltovarmuutta yhteiskunnan kriittisten toimintojen kautta, joiden jatkuvuus on turvattava kokonaisturvallisuuden ja erityisesti huoltovarmuuden varmistamiseksi.

Tarkastelua ei voi rajoittaa vain elinkeinoelämän toimijoihin, koska moni elinkeinoelämän toimiala on riippuvainen viranomaistoiminnasta. Riippuvuus voi olla erittäin suoraa, kuten elinkeinon edellytyksenä olevien tukien maksaminen tai liikenneinfrastruktuurin ylläpito. Riippuvuus voi olla myös epäsuorempaa kuten ympäristön suojele, jonka yhtenä tehtävän on varmistaa ympäristöstä riippuvaisten toimialojen toiminnan jatkuvuus.

Tämän selvityksen tavoitteena on selvittää ja lisätä tietoa kaukokartoituksen merkityksestä huoltovarmuuden kannalta, sen nykyisistä tarpeista ja käytöstä sekä tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksista.

Selvityksen tulokset tarjoavat laajaa tietoa kaukokartoitustoiminnasta ja sen merkityksestä huoltovarmuudelle ja kokonaisturvallisuudelle. Ne mahdollistavat kaukokartoituksen tehokkaamman hyödyntämisen huoltovarmuuden parantamiseksi sekä edistävät varautumista ja toimintaa häiriötilanteissa ja kriiseissä.

1.2 Lähtökohdat selvitykselle

Tammikuussa 2024 Huoltovarmuuskeskus julkaisi AVAHUOLTO-selvityksen [1]. Selvitysraportissa tarkasteltiin Suomen huoltovarmuuden kannalta tärkeiden toimijoiden avaruuspalveluiden käyttöä ja merkitystä, keskittyen yleiskuvan luomiseen kriittisten toimijoiden keskuudessa. Raportti tarkasteli koko avaruustoimialaa ja satelliittikaukokartoitusta yhtenä sen osana. Selvityksessä kaukokartoituksen ja sen tulevaisuuden potentiaali korostuivat erityisesti kriisitilanteiden tilannekuvan parantamisessa.

Selvityksessä nousi esille kolme toimialaa:

- Energia-alan näkökulmasta korostui energiaverkon tarkkailu.
- Maataloudessa nousi esille tukiprosessien riippuvuus kaukokartoituksesta. Satelliittikaukokartoitusaineistojen puute aiheuttaisi lähes väistämättä viivästyksiä maataloustukien maksamisessa. Pitkät katkokset satelliittikuvien saatavuudessa vaikeuttaisivat tukipäätöksiä ja lisääisivät henkilöstöresurssien tarvetta.
- Ilmatieteen laitos tuottaa sää- ja meripalveluita sekä varoituksia kansalaisille, viranomaisille ja elinkeinoelämälle. Satelliittikaukokartoitustiedot ovat välttämättömiä näiden palveluiden tuottamisessa. Tietoihin pohjautuvat palvelutuotteet tukevat liikennettä, logistiikkaa ja ympäristön seurantaa. Satelliittitiedot ovat kriittisiä kansallisen turvallisuuden, huoltovarmuuden ja puolustuskyvyn ylläpidossa. Ilman näitä tietoja palveluiden laatu ja yleinen turvallisuus heikkenisivät merkittävästi.

Avaruuspohjaisten palveluiden käyttöön liittyviä riskejä tunnistetaan selvityksessä laajasti eri sektoreilla. Vastaajat olivat huolissaan kasvavasta riippuvuudesta ylikansallisiin ja kaupallisiin toimijoihin, joiden palveluiden saatavuudessa voi ilmetä häiriöitä ja joiden luotettavuuden varmistaminen on haastavaa. Riippuvuus on riski yhteiskunnan kriittisille palveluille ja infrastruktuurille.

Yleistä kirjallisuutta tarkasteltaessa esille nousevat yleensä samat teemat. Esimerkiksi Artikkelissa Grand Challenges in Satellite Remote Sensing tunnistettiin kaukokartoitukselle seuraavat siviiliyhteiskunnalle kriittiset käyttökohteet [2].

- **Ilmakehän havainnot:** Kaukokartoitusta käytetään sääennusteisiin, ympäristön saastumisen seurantaan ja ilmastomuutoksen tarkkailuun.

- **Merenpinnan seuranta:** Kaukokartoitus auttaa tarkkailemaan rannikkodynamiikkaa, merenpinnan lämpötilaa ja suolapitoisuutta, meriekosysteemejä ja hiilibiomassaa, merenpinnan muutoksia, meriliikennettä ja kalastusta sekä veden virtausten ja matalien vesien topografian kartoitusta.

- **Maan seuranta:** Kaukokartoitus edistää suuresti mineraalivarojen etsintää, tulvien ja kuivuuden seuranta, maaperän kosteuden tarkkailua, kasvillisuuden seuranta, metsäkadon seuraamista, metsäpalojen tarkkailua, maatalouden toimintojen seuranta ja kaupunkisuunnittelua.

- **Yhteiskuntatieteelliset sovellukset:** Satelliittikaukokartoitusaineistoja hyödynnetään globaalien kriisien, kuten COVID-19-pandemian, tutkimuksessa luokittelemalla ihmisten ympäristöjä ja yhdistämällä nämä havainnot erilaisiin sosioekonomisiin tietoaaineistoihin.

- **Globaalin tiedon kerääminen:** Kaukokartoitus tarjoaa arvokasta tietoa planeetan topografiasta, ilmakehän profiileista (mukaan lukien lämpötila, vesihöyry, hiilidioksidi ja muut hivenkaasut), pinnan ja ilmakehän mineraali- ja kemiallisista koostumuksista, kryosfäärin ominaisuuksista (kuten lumi, merijää, jäätiköt ja sulamisaltaat) sekä termosfäärin, ionosfäärin ja magnetosfäärin hiukkas- ja sähkömagneettisista ominaisuuksista.

- **Teknologiset edistysaskeleet:** Kaukokartoitus edistää teknologista kehitystä ja tukee syvän avaruuden tutkimusmatkojen, kuten Voyagerin ja Cassini-Huygensin, kehittämistä.

Jotta voidaan ymmärtää kaukokartoituksen ja erityisesti satelliittikaukokartoituksen yhteiskunnallista merkittävyyttä on hyvä ymmärtää miten ja miksi koko toimiala on kehittynyt viimeisten vuosikymmenien aikana. Kaukokartoitussatelliittien määrä on kasvanut kiihtyvällä tahdilla, ja samalla ne tarjoavat entistä parempaa resoluutiota (merkittävimmin spatiaalisesti ja temporaalisesti). Kun tähän yhdistetään kehitys algoritmikassassa (erityisesti uudet syväoppimisalgoritmit) ja pilvipalveluiden tarjoamassa laskentatehossa, niin tuloksena on merkittävä paradigman muutos perinteisestä hetkellisestä tiedosta lähes reaaliaikaisiin aikasarjoihin perustuviin syvällisiin analyyseihin. Tätä muutosta on vauhdittanut osaltaan ilmaiseksi saatavilla oleva satelliittikaukokartoitusaineisto esim. Landsat- ja Sentinel - aineistot.

Lisäksi markkinoille on tullut lukuisia kaupallisia kaukokartoitusyrityksiä (optinen- ja tutkakuvaus). Tämän lisäksi on nähtävissä, että kaukokartoitukseen erikoistuneet yritykset tulevat siirtämään kaupallista painopistettään pelkästä aineistojen toimittamisesta valmiiden kaukokartoitusdataan pohjautuvien tuotteiden myymiseen. Tällaisia tuotteita voivat olla esimerkiksi myrsky- ja tulvavaurioiden tunnistaminen, viljasadon ennustaminen, tarkkuus maatalous ja infrastruktuurin seuranta. Tämä helpottaa ja nopeuttaa kaukokartoitus-pohjaisten palveluiden käyttöönottoa.

Edellä mainittujen kehityskulkujen perusteella on ennustettavissa, että yhteiskuntamme riippuvuus satelliittikaukokartoitusdatasta tulee vain kasvamaan. On myös odotettavissa, että pitkälle jalostettujen palveluiden loppukäyttäjät eivät välttämättä tiedosta prosessiensa yksityiskohtaisempaa riippuvuutta kaukokartoitusjärjestelmistä, tai toisaalta pilvipalveluissa tehtävästä analytiikasta.

1.3 Kaukokartoituksen määritelmä

Kaukokartoituksella tarkoitetaan tässä selvityksessä kaikkia maanpinnan yläpuolelta suoritettavia havainnointimenetelmiä, joilla mitataan kohteen ominaisuuksia.

Mittaukset voidaan suorittaa esimerkiksi droonilla, lentokoneilla tai satelliiteilla. Kaukokartoitus voi olla luonteeltaan joko aktiivista (esim. tutkakuvaus tai laserkeilaus) tai passiivista (esim. perinteiset optiset kuvat). Tässä yhteydessä kaukokartoitus kattaa myös sääpalvelut.

1.4 Sanasto

Optinen kaukokartoitus

- Käyttää näkyvän valon ja lähi-infrapunan aallonpituuksia maanpinnan kuvaamiseen. Soveltuu hyvin kasvillisuuden, vesistöjen ja kaupunkialueiden kartoitukseen. Voidaan tehdä esim. satelliitista, lentokoneesta tai droonista.

Tutkakuvauk (SAR)

- Käyttää mikroaaltoja maanpinnan kuvaamiseen, mikä mahdollistaa kuvauksen myös pilvisissä ja pimeissä olosuhteissa. Soveltuu erityisesti maankäytön, metsien ja jääpeitteiden seurantaan. Tehdään tyypillisimmin satelliiteista. Tarjolla sekä avoimia julkisia aineistoja (esim. Copernicus ohjelman Sentinel-1 satelliittien aineistot), että maksullisia kaupallisten toimijoiden aineistoja.

Laserkeilaus - Lidar (Light Detection and Ranging)

- Käyttää laserpulssien heijastuksia maanpinnan ja kasvillisuuden kolmiulotteiseen kartoitukseen. Soveltuu hyvin topografian, metsien ja kaupunkialueiden tarkkaan kartoitukseen. Tehdään tyypillisimmin lentokoneista.
- Yleisimmin loppukäyttäjät hyödyntävät Maanmittauslaitoksen keilaamaa aineistoa. Tarjolla on myös aineistosta tehtyjä jatkojalosteita - esim. metsäsektorilla käytössä on usein Metsäkeskuksen tarjoama latvusmalliaineisto.

Satelliittikonstellaatio

- Satelliittikonstellaatio tarkoittaa useiden satelliittien muodostamaa ryhmää, joka toimii yhtenä kokonaisuutena. Konstellaatio mahdollistaa kaukokartoituksessa tiheämmän kuvausvälin. Esimerkiksi Sentinel-2 satelliitteja on kaksi kappaletta, jolloin kuvaus tehdään kuuden päivän välein, kun yksi satelliitti kuvaa 12 päivän välein.

Resoluutio

- Resoluutio viittaa kuvan tai datan tarkkuuteen ja yksityiskohtaisuuteen. Satelliittikaukokartoituksessa resoluutio voidaan jakaa neljään eri tyyppiin:
 - **Spatiaalinen resoluutio:** Tämä määrittää pienimmän erottelukyvyn, eli kuinka pieniä kohteita satelliitti pystyy erottamaan. Ilmaistaan yleensä pikselikokona (esim. 10 m, 30 m), joka kertoo pikseliä vastaavan maapinta-alan koon.
 - **Spektraalinen resoluutio:** Tämä viittaa satelliitin kykyyn erottaa eri aallonpituuksia. Korkea spektraalinen resoluutio tarkoittaa, että satelliitti pystyy havaitsemaan kapeita aallonpituuskaistoja, mikä mahdollistaa tarkemman analyysin eri materiaalien ja kohteiden spektriominaisuuksista.
 - **Temporaalinen resoluutio:** Tämä kuvaa, kuinka usein satelliitti kuvaa saman alueen.
 - **Radiometrinen resoluutio:** Tämä määrittää, kuinka monta eri sävytasoa satelliitti pystyy erottamaan. Se ilmaistaan yleensä bittimääränä (esim. 8-bittinen, 16-bittinen), joka kertoo, kuinka monta eri kirkkaustasoa kuvassa voi olla.

2. Selvityksen toteutus

Selvitys toteutettiin syksyllä 2024. Selvityksen tiedonkeruu toteutettiin kohdennetulla kyselyllä ja haastatteluilla. Kysely kohdennettiin ensisijaisesti organisaatioiden asiantuntijoille ja haastattelut organisaatioiden johtoon. Tiedonkeruuta täydennettiin kirjallisuudella.

Selvityksen tarkoituksena oli arvioida kaukokartoituksen merkitys huoltovarmuudelle, nykyiset tarpeet ja käyttö sekä tulevaisuuden mahdollisuudet.

Tulokset tarjoavat tietoa kaukokartoituksen roolista huoltovarmuudessa ja auttavat parantamaan sen hyödyntämistä kriisitilanteissa. Kyselyllä painopisteenä oli ensisijaisesti tunnistaa yhteiskunnan kriittisiä proses-

seja ja hyötyjä sekä arvioida yleisesti kaukokartoituksen kriittisyyttä. Haastatteluiden ja kyselyn kohteeksi valikoituivat toimialat ja organisaatiot, joiden tunnistettiin yhdessä Huoltovarmuuskeskuksen kanssa olevan erilaisten kaukokartoitusmenetelmien hyödyntäjiä. Mukana oli seuraavien sektorien edustajia: energiahuolto, ilmatieteet, kunnat, liikenne, luonnonvaratalous, maanmittaus, maatalous, metsätalous, pelastustoimi, poliisihallitus ja ympäristöhallinto. Kysely lähetettiin 20 vastaanottajalle ja vastauksia saatiin 14:sta eri organisaatiosta. Haastatteluja tehtiin yhteensä kahdeksan kappaletta.

Kyselyssä ja sen kohdistamisessa hyödynnettiin monipuolisesti aiheesta aikaisemmin tehtyjä selvityksiä kuten Avahuolto ja käynnissä olevan yhteiskunnan turvallisuusstrategian uudistamishankkeen (YTS2024) materiaaleja [1][3].

3. Käytetyt kaukokartoitusmenetelmät

Kirjallisen kyselyn vastauksissa tunnistettiin seuraavat käytössä olevat kaukokartoitusmenetelmät:

Satelliittikaukokartoitus

- **Optinen kuvaus:** Käytetään näkyvän valon ja infrapunaa aallonpituuksia. Sovelluksia ovat esimerkiksi maanpinnan kartoitus ja ympäristön seuranta.
- **Tutkakuvaukset:** Mikroaalloja käyttävä aktiivinen kuvausmenetelmä, joka läpäisee pilvet, toimii kaikissa sääolosuhteissa ja myös yöllä. Sovelluksia ovat muun muassa maanmuutosten seuranta ja tulvakartoitus.
- **Hyperspektrikuvaus:** Kerää tietoa useista kapeista spektrikaistoista, mahdollistaen tarkemman analyysin esimerkiksi kasvillisuuden terveydestä.

Ilmakuvaus

- **Ortoilmakuvat (tai ortokuva):** Ilmasta otettu kuva, joka kuvaa maanpinnan kohtisuoraan ilmasta katsottuna ja korjattuna tasokarttaa varten.
- **Laserkeilaus:** Lentokoneista tai dronista suoritettu laserkeilaus, joka tuottaa tarkkoja korkeusmalleja. Sovelluksia ovat metsien inventointi ja maastonmuotojen kartoitus.

Droonit

- **Visuaalinen kuvaus:** Käytetään pääasiassa visuaaliseen tarkasteluun ja pienimuotoisiin kartoituksiin. Käytössä sekä tavallinen kuvaus (still) että videokuvaukset.
- **Spektrimittaukset:** Droonit voivat kantaa erilaisia sensoreita, kuten hyperspektrikameroita, tarjoten tarkkaa tietoa pieniltä alueilta.

Sääsatelliitit

- Ilmatieteen laitos (FMI) käyttää monia satelliitti-instrumentteja sääsovellusten tuottamiseen. Näihin kuuluvat METEOSAT/SEVIRI, EOS/MODIS, NOAA ja METOP/AVHRR sekä METOP/IASI. FMI valmistautuu myös vastaanottamaan ja käsittelemään tietoja tulevista satelliittimissioista, kuten NPP, JPSS ja DWSS.
- Lisäksi Ilmatieteen laitos tekee meteorologista tutkimusta. Se osallistuu EUMETSATin (Euroopan sääsatelliittijärjestö) satelliittikuvien sovellusprojekteihin CM SAF ja H SAF. Tavoitteena on esimerkiksi seurata ja analysoida ilmastomuutosta ja kehittää erilaisia lumituotteita hydrologisiin ja meteorologisiin tarpeisiin.

4. Kaukokartoituksen merkitys yleisesti

Kirjallisella kyselyllä selvitettiin kaukokartoituksen merkitystä keskeisiin prosesseihin ja sen käyttöön liittyviä hyötyjä ja haasteita. Näin saatiin tietoa toiminnan ja johtamisen tarpeista - miten organisaatiot käyttävät kaukokartoitusta, onko sen tuottama tieto korvattavissa, ja millä toiminnan osa-alueilla se tuottaa eniten hyötyä. Ensimmäisissä kahdessa osiossa tässä luvussa käsiteltävistä kysymyksistä vastaajia pyydettiin arvioimaan kaukokartoituksen merkitystä toiminnan, tai sen tuottaman arvon näkökulmasta asteikolla yhdestä viiteen, missä yksi kuvaa sitä, että sillä ei ole lainkaan merkitystä ja viisi kuvaa kriittistä merkitystä. Kolmannessa osiossa arvioitiin kriittisyyttä kyllä/ei-kysymysten avulla.

Ensimmäisessä osiossa selvitettiin mikä on kaukokartoituksen merkitys organisaatioiden keskeisissä prosesseissa. Kysymykset tarkastelevat toimialariippumattomasti kaukokartoituksen käyttötapaa toiminnan näkökulmasta. Kaavio 1 alla sisältää tämän osa-alueen kysymykset ja vastauksien jakautumisen (huom. kysymysten tekstejä on hieman tiivistetty, jotta ne on saatu mahtumaan kaavioon).

Kaikissa organisaatioissa kaukokartoitus vaikuttaa ainakin kohtalaisesti päivittäiseen työskentelyyn. Selkeästi eniten sitä käytetään ympäristön, infrastruktuurin ja omaisuuden seurannassa. Lähes kaikissa organisaatioissa merkitys oli suuri tai kriittinen - vain kahdessa organisaatiossa sillä ei ollut lainkaan merkitystä ympäristön, infrastruktuurin ja omaisuuden seurannassa. Samaten kaukokartoituksella on pääsääntöisesti suuri merkitys päätöksenteon tukena ja riskien hallinnassa. Mielenkiintoisesti kaukokartoituksella ei kuitenkaan pystytä käytännössä tunnistamaan ongelmia. Lisäksi resurssien hallinnassa ja ennustamisessa vaikutus on pienin. Vain kaksi organisaatiota tunnisti merkityksen kriittiseksi ongelmien ennakkoinnissa tai resurssien hallinnassa ja ennustamisessa. Jälkimmäisessä vastausten keskihajonta oli myös suurin - osalle organisaatioista tämä on hyvinkin merkittävää. Kaiken kaikkiaan kaukokartoituksen merkitys on käytännön prosesseissa melko suuri. Kaikkien vastausten keskiarvo on 3,6.

Kaavio 1. Kaukokartoituksen merkitys organisaatioiden keskeisissä prosesseissa ja johtamisessa

1 2 3 4 5

(1: Ei merkitystä, 2: Vähäinen merkitys, 3: Kohtalainen merkitys, 4: Suuri merkitys, 5: Kriittinen merkitys)

Kaukokartoituksen merkitys keskeisissä prosesseissa				
Kuinka paljon kaukokartoitus vaikuttaa päivittäiseen työskentelyynne?	4	5	5	
Kuinka kriittistä kaukokartoitus on ydintoimintojenne näkökulmasta?	4	6	4	
Mikä on kaukokartoituksen merkitys prosessienne optimoinnissa?	1	5	4	2 2
Mikä on kaukokartoituksen merkitys päätöksenteon tukena?	1	3	7	3
Mikä on kaukokartoituksen rooli riskien havaitsemisessa ja hallinnassa?	2	3	7	2
Kuinka paljon kaukokartoitus auttaa ennakoimaan ja ehkäisemään ongelmia työssänne?	3	2	4	3 2
Kuinka paljon kaukokartoitus auttaa resurssien hallinnassa ja ennustamisessa?	2	3	3	4 2
Kuinka tärkeänä kaukokartoitus on ympäristön, infrastruktuurin ja omaisuuden seurannassa?	2	4	8	

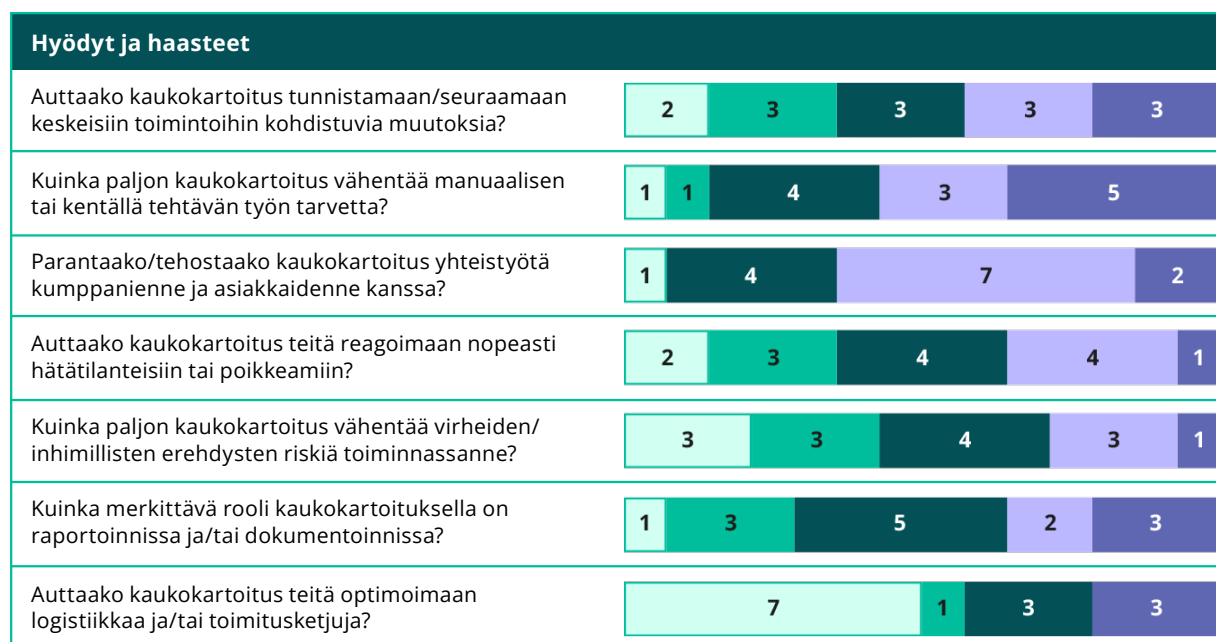
Toisessa osiossa käsiteltiin kaukokartoituksen yksityiskohtaisempia hyötyjä. Nämä on koottu kaavioon 2. Suurin hyöty on manuaalisen tai kentällä tehtävän työn väheneminen. Tämä varmasti heijastelee edellä käsitellyn ympäristön, infrastruktuurin ja omaisuuden seurannan merkitystä. Sen lisäksi kaukokartoitus parantaa merkittävästi yhteistyötä kumppanien ja asiakkaiden kanssa. Kaukokartoituksella on mahdollista kerätä luotettavasti ja laaja-alaisesti seurantaan liit-

tyvää tietoa, joten tämä on varsin luonnollista. Vähiten merkitystä tunnistettiin logistiikan ja toimitusketjujen parantamisessa, mikä johtunee ensisijaisesti vastan-
neiden organisaatioiden toiminnan roolista; logistiikalla ei ole kyselyyn osallistuneille organisaatioille isoa merkitystä. Kaikkiaan hyötyjä tunnistettiin kaavion kaksi osa-alueisiin keskimäärin kohtuullisesti, kaikkien vastausten keskiarvo oli 3,1.

Kaavio 2. Kaukokartoituksen hyödyt ja haasteet organisaation toiminnassa



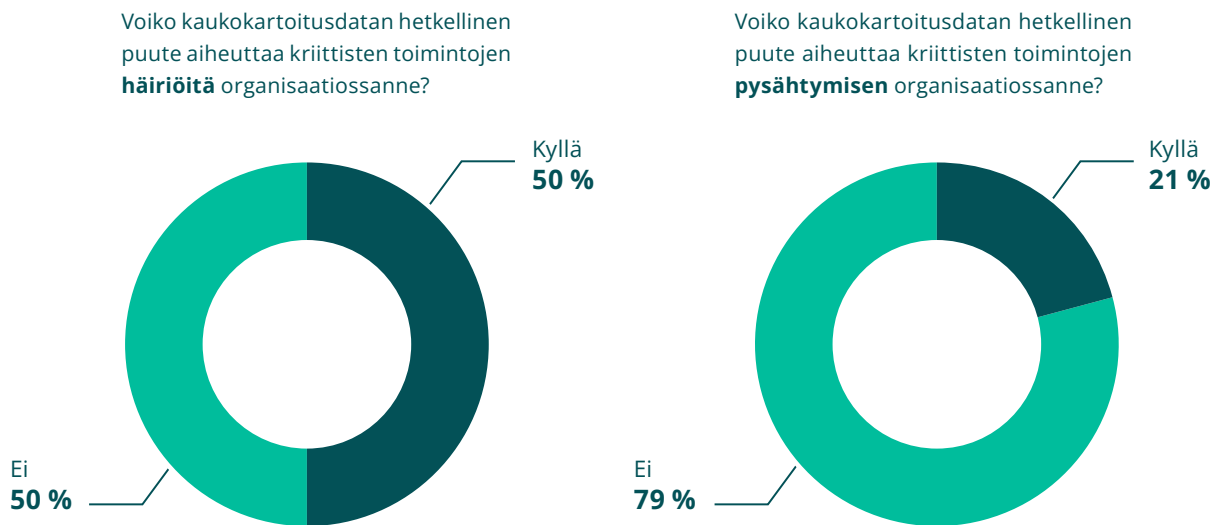
(1: Ei merkitystä, 2: Vähäinen merkitys, 3: Kohtalainen merkitys, 4: Suuri merkitys, 5: Kriittinen merkitys)



Organisaatioittain vastauksia tarkasteltaessa kaikilla organisaatioilla on tunnistettavissa vähintään suuri merkitys (4) jollain kaavion 1 tai 2 osa-alueessa. Yhdeksällä organisaatiolla kaukokartoituksen merkitys on

vähintään yhdellä osa-alueella kriittinen. Voidaan perustellusti todeta, että kaukokartoituksella on yhteiskunnallisesti suuri merkitys hyvin monella toimialalla.

Kaavio 3. Kaukokartoitustiedon puutteen vaikutus organisaatioiden prosesseihin



Kaavio 3 kuvastaa koostetta kysymyksistä, missä organisaatioiden piti arvioida kaukokartoituksen mahdollisen puutteen vaikutusta toimintaan. Kyselyyn vastanneista organisaatioista puolet (7 kyllä, 7 ei) uskoo, että kaukokartoitusdatan hetkellinen puute voi aiheuttaa häiriötä heidän kriittisissä toiminnoissaan. Tämä osoittaa ensisijaisesti, että puolet organisaatioista ovat haavoittuvaisia ja voivat kohdata merkittäviä haasteita datan puuttuessa. Haastatteluiden ja kyselyn perusteella on syytä olettaa, että toimintojen häiriötön jatkuvuus johtuu ennemminkin alhaisesta riippuvuudesta kuin korvaavien järjestelmien olemassaolosta.

Tarkasteltaessa kaukokartoitusdatan puutteen vaikutusta kriittisten toimintojen keskeytymiseen, vain kolme organisaatiota uskoo, että tämä puute voisi johtaa toimintojen täydelliseen pysähtymiseen. Sen sijaan 11

organisaatiota ei pidä tätä riskinä. Muista vastauksista selviää, että syy matalaan riskiin on alhainen riippuvuus kaukokartoitusdatasta eikä niinkään hyvä varautuminen erilaisiin varajärjestelyin.

Kaukokartoitusdatan merkitys organisaatioiden toiminnassa on kiistaton, mutta sen puutteen vaikutukset vaihtelevat suuresti. Organisaatioiden tulisi arvioida riippuvuuttaan kaukokartoitustiedosta ja kehittää varautumissuunnitelmia mahdollisten häiriöiden minimoimiseksi. Tämä voi sisältää vaihtoehtoisten tietolähteiden hyödyntämistä, varajärjestelmien kehittämistä ja henkilöstön kouluttamista toimimaan tilanteissa, joissa tietoa ei ole saatavilla. Näin organisaatiot voivat varmistaa toimintojensa jatkuvuuden ja vähentää riskejä, jotka liittyvät kaukokartoitusdatan saatavuuteen.

5. Toimialakohtaiset näkökulmat

Euroopan unionin avaruushjelmavirasto (EUSPA) julkaisee kahden vuoden välein markkinaselvityksen, joka tarjoaa kattavan analyysin GNSS- ja EO-markkinoiden keskeisistä trendeistä ja ennusteista [4]. Selvityksessä luodaan yleiskatsaus satelliittikaukokartoituksen toimialakohtaisiin käyttökohteisiin, jotka on esitetty seuraavassa luettelossa.

Maatalous

- Modernissa maanviljelyssä kaukokartoitus-tieto mahdollistaa kestäväen ja tehokkaan ravinteiden ja maaperän hallinnan sekä biologisen monimuotoisuuden huomioimisen. Kaukokartoituksella on keskeinen rooli monissa viljelytoimissa, kuten satoennusteissa, kasvillisuuden terveyden seurannassa, peltojen rajauksessa ja viljelypanosten, kuten lannoitteiden, kohdennetussa käytössä.

Liikenne

- Liikenteessä kaukokartoitus on erityisesti mahdollistanut sään vaikutusten ja vaarallisten sääolosuhteiden entistä tarkemman ja pidemmälle ulottuvan ennustamisen. Se mahdollistaa myös poikkeavien ilmiöiden tunnistamisen ja vaikutusten ennustamisen (esim. tulivuorten tuhkapilvet). Tämä on auttanut liikenteen toimijoita paitsi parantamaan operatiivista turvallisuutta ja tehokkuutta, myös suunnittelemaan huoltojaan tehokkaasti. Kaukokartoituksella voidaan parantaa maanpäällisen liikenneinfran yleistä turvallisuutta tarjoamalla sen hallinnoijille tietoa riskialttiudesta, joka liittyy reittien varrella olevan kasvillisuuden, maanvyörymien ja tulvien seurantaan. Tulevaisuudessa voidaan jopa havaita millimetrin mittaisia maanliikkeitä, mikä kasvattaa kaukokartoituksen roolia esimerkiksi raiteiden muodonmuutosten ja infrastruktuurin kunnan seurannassa raiteiden varrella.
- Meriliikenteessä korostuvat sääennustukset. Sääennusteilla on korostunut rooli meriliikenteen riskien hallinnassa ja tehokkaassa reitityksessä. Sen lisäksi Suomessa kaukokartoituksella voidaan tuottaa meriliikenteelle elintärkeitä jääkarttoja.

Infrastruktuuri ja kaupunkisuunnittelu

- Kaukokartoitus mahdollistaa infrastruktuurin seuraamisen myös muilla sektoreilla kuin liikenteessä. Sen avulla voidaan tuottaa tietoa riskialttiudesta ja ilmastomuutoksen tulevista vaikutuksista. Se auttaa suunnittelemaan kestävämpiä infrastruktuureja ja optimoimaan huoltotoimia, erityisesti suuremmille infrastruktuureille. Kaupunkisuunnittelussa kaukokartoitustietoa voidaan hyödyntää parantamaan ympäristön kestävyttä ja resilienssiä.

Ilmasto ja ympäristö

- Kaukokartoitustiedolla on kasvava rooli ympäristö- ja ilmastopolitiikan suunnittelussa ja seurannassa. Kaukokartoituksen rooli ilmastomuutokseen liittyvässä tutkimuksessa on hyvin vakiintunut, ja se tarjoaa korvaamatonta dataa ilmastomallinnukseen. Kaukokartoitus parantaa myös ymmärrystämme ekosysteemien terveydestä ja niissä olevista nykyisistä ja mahdollisista uusista kuormitustekijöistä.

Hätätilanteiden hallinta

- Kaukokartoitus tarjoaa kattavan näkymän hätätilanteiden hallintaan, joka tukee suunnittelua, toimintaa ja jälkiseurantaa. Se mahdollistaa erityisesti laajojen, syrjäisten, ja epävakaiden alueiden seurannan, tarjoten ajantasaista ja luotettavaa tietoa humanitaaristen kriisitilanteiden hallintaan.

Energia ja raaka-aineet

- Kaukokartoitustietoa käytetään laajasti uusiutuvan energian projekteissa ennustettaessa energiantuotantoa eri aikajänteillä ja arvioitaessa tuotantoon liittyviä riskejä. Raaka-aineiden tuotannossa kaukokartoitustieto auttaa seuraamaan ympäristövaikutuksia ja monissa maissa sen avulla voidaan tunnistaa kaivostoiminnalle potentiaalisia alueita, havaita laittomia kaivos-toimintoja, ja lisätä turvallisuutta. On syytä huomauttaa, että Suomen geologian vuoksi kaukokartoitustieto ei ole merkityksellistä kaivannaisten etsimisessä ja toisaalta laittomat kaivostoiminnot ovat meillä epätodennäköisiä.

Kalastus ja vesiviljely

- Kaukokartoitukseen perustuvat palvelut voivat tuoda merkittävää lisäarvoa kalastus- ja vesiviljelysektorille tarjoamalla tietoa suolapitoisuudesta, lämpötilasta ja veden laadusta. Tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi kasvatuksen optimoinnissa. Kalastuksessa kaukokartoitus mahdollistaa myös kalakantojen liikkeiden ennustamisen, ja sillä on keskeinen rooli laittoman kalastuksen havaitsemisessa merellä.

Metsätalous

- Kaukokartoitus on nousemassa korvaamattomaksi työkaluksi metsien kestävyysseurannassa ja ylläpidossa. Hiilensidonnassa seurannasta, metsäkadon ja metsien heikkenemisen torjuntaan, kaukokartoitus edistää metsien suojelua maailmanlaajuisesti. Lisäksi kaukokartoitus auttaa metsätuhojen, kuten hyönteisten ja tautien, varhaisessa tunnistamisessa, mikä mahdollistaa nopean ja tehokkaan reagoinnin.

Vakuutus ja rahoitus

- Kaukokartoitukseen perustuen voidaan parantaa riskien yksityiskohtaista tunnistamista ja arviointia. Lisäksi kaukokartoitus mahdollistaa laaja-alaisen tuhojen, kuten luonnonkatastrofien arvioinnin, mikä auttaa vakuutusyhtiöitä tekemään tarkempia, nopeampia ja oikeudenmukaisempia korvauspäätöksiä.

Luvuissa 5.1–5.8 on pureuduttu Suomessa yhteiskunnallisesti merkityksellisten toimialojen näkökulmiin. Tiedot perustuvat tehtyihin haastatteluihin ja kirjallisiin kyselyihin. Luvuissa on havaittavissa tiettyä toistisuutta, koska tiedon tuottajien aineistojen merkitys jää vajaaksi ilman niitä hyödyntävien toimialojen mainitsemista ja toisinpäin. Liikennesektorin käyttämät palvelut ovat kuitenkin niin keskeisiä sääpalveluita, että ne on käsitelty Ilmatieteen laitosta ja sääpalveluita koskevassa kappaleessa. Tieverkostoon liittyvä kaukokartoitus on käsitelty osana infrastruktuuria ja kaupunkisuunnittelua.

5.1 Maanmittauslaitos

Maanmittauslaitoksen keskeisiin tehtäviin kuuluu huolehtia kiinteistönmuodostamis- ja tilusjärjestelytoiminnasta, harjoittaa tieteellistä tutkimus- ja kehittämistoimintaa sekä huolehtia paikantamisen perustasta ja peruspaikkatietojen tuottamisesta.

Maanmittauslaitos tuottaa koko yhteiskunnan kannalta keskeisiä taustapalveluita, joita muut organisaatiot tarvitsevat omien palveluidensa tuottamiseen. Myös kaukokartoituksessa korostuu yhteiskunnan muiden toimijoiden palveluiden mahdollistaminen. Kaukokartoitustieto on Maanmittauslaitoksen toiminnan perusta, ja se tukee käytännössä kaikkia organisaation prosesseja ja johtamista ja palvelutuotantoa. Ajantasainen paikkatieto ja kaukokartoitustieto ovat keskeisiä strategisia elementtejä, joita hyödynnetään päivittäin. Paikkatiedon tuotanto on yksi Maanmittauslaitoksen lakisääteisistä velvoitteista ja ydintekemisistä.

Selvityksen perusteella käytetyin Maanmittauslaitoksen tuottama kaukokartoitustieto on kansallinen laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelman (Kallio-ohjelman) aineisto. Maanmittauslaitos toteuttaa koko Suomen kattavat ilmakuvaukset ja laserkeilaukset yhteistyössä loppukäyttäjien kanssa suunnitellun ohjelman mukaisesti. Laserkeilausohjelmassa Suomi jaetaan alueisiin, jotka keilataan kuuden vuoden sykleissä (n. 55 000 km²/v). Vastaavasti ilmakuvausohjelmassa Suomi jaetaan alueisiin, jotka kuvataan kolmen vuoden sykleissä (n. 110 000 km²/v). Näiden ohjelmien avulla saadaan tarkkaa ja ajantasaista tietoa maan pinnasta ja sen muutoksista. Aineistojen merkittävyys korostui myös tässä selvityksessä - ne olivat eniten käytössä oleva kaukokartoitusaineisto. Perinteisiä optisia ortoilmakuvia hyödynnetään esimerkiksi maatalouden peltolohkorekisterin ylläpidossa ja metsätalouden metsävaratiedon tuotannossa. Laserkeilauksen avulla tuotetut korkeusmallit ovat keskeinen osa Maastotietokantaa, tarjoten tarkat korkeustiedot, jotka ovat välttämättömiä monissa sovelluksissa metsätaloudesta infrastruktuuripalveluihin. Laserkeilausteknologia ja ortoilmakuvat mahdollistavat esimerkiksi metsävaratiedon tulkinnan ilman laajamittausta maastotyötä.

Maanmittauslaitoksen toteuttama kaukokartoitus parantaa merkittävästi organisaation resilienssiä ja kykyä toimia kriisitilanteissa ja siten tukee yhteiskunnan muiden viranomaisten kykyä reagoida. Omalla tai vuokrakoneilla tehtävät virka-apukuvaukset tarjoavat kriisitilanteissa nopean ja tarkan tilannekuvan, mikä on olennaista tehokkaassa päätöksenteossa ja resurssien kohdentamisessa. Oma kalusto on kansallisesti tärkeä, sillä se mahdollistaa itsenäisen ja joustavan toiminnan ilman riippuvuutta ulkopuolisista toimijoista. Lisäksi satelliittidatan käyttö tarjoaa laajan ja ajantasaisen

näkymän laajoista alueista, mikä on erityisen hyödyllistä suurten kriisien hallinnassa. Drooniyrittäjiä voidaan myös hyödyntää, mikä lisää datan keruun joustavuutta ja nopeutta erityisesti pienialaisilla kohteilla. Maanmittauslaitos on esimerkiksi hyödyntänyt kaukokartoitusta isojen myrskyjen jälkeen – erityisesti hankalasti saavutettavissa kohteissa. Tällaiset tilanteet vaativat nopeaa reagointia ja resursseja, mikä voi olla haasteellista. Yhteistyö eri viranomaisten välillä on erityisesti laajoissa kriiseissä ensiarvoisen tärkeää. Esimerkiksi tulvien ennustamisessa ja mallintamisessa korostuu yhteistyö SYKEN kanssa. Yhteiskunnallisesti yksi kaukokartoituksen erityisen merkityksellistä sovelluksista on metsäpalojen seuranta ja hallinta. Ilmakuvaus tarjoaa arvokasta tietoa palojen leviämisestä ja vaikutuksista, mutta se vaatii nopeaa ja tarkkaa datan keruuta.

Kaukokartoituksen haasteet ovat moninaiset, mutta niiden ratkaiseminen on mahdollista yhteistyön, teknologian kehityksen ja riittävän rahoituksen avulla. Maanmittauslaitoksen rooli on keskeinen, ja sen on jatkuvasti kehitettävä menetelmiään ja resurssejaan vastatakseen näihin haasteisiin.

- Kaukokartoitus vaatii tarkkaa ajoitusta, erityisesti alihankkijoiden käytössä tai toimittaessa Puolustusvoimien kanssa samoilla alueilla. Kuvia voidaan tehdä vain rajattuina ajankohtina, mikä voi rajoittaa datan saatavuutta ja ajantasaisuutta.

- Markkinoilla on jäljellä vain muutamia suuria toimittajia, mikä luo toimintavarmuusriskejä.
- Jos yksi toimittaja kohtaa ongelmia, se voi vaikuttaa merkittävästi koko kaukokartoitusohjelman toimintaan.
- Suomi kilpailee samoista resursseista muiden maiden kanssa, joilla on sama ajallinen paine kuvausten toteuttamiselle.

- Maanmittauslaitoksen kyky itse toteuttaa laserkeilauksia ja ilmakuvaus pienentää riskiä. Ilmakuvauskoneen ikääntyminen on haaste; uuden koneen hankinta on kallista ja voi kestää jopa 5–10 vuotta.

- Venäjän aiheuttama häirintä, joka voi vaikuttaa datan keruuseen ja analysointiin, on kasvava uhka erityisesti Itä-Suomessa tehtäville kuvauksille. Toistaiseksi häirintä on ollut varsin pientä, mutta riskinä on vaikutuksen laajeneminen.

- Julkisen talouden rahoitus ja budjettileikkaukset ovat merkittävä riski, sillä ne voivat heikentää peruspaikkatuotantoa ja hidastaa IT-järjestelmien modernisointia. Tämä voi estää uusien teknologioiden ja AI-analyysien hyödyntämisen, jolla voitaisiin yhtään pidemmällä aikavälillä saada merkittäviä säästöjä

- Kaukokartoituksen laajempaa käyttöä rajoittavat osaaminen, prosessien muuttamisen liittyvät rajoitteet, kustannukset ja turvallisuuden huomioiminen.
- Osaamisen haasteet korostuvat tulevaisuudessa, koska Suomessa ei enää ole fotogrammetrian koulutusohjelmaa.
- Maanmittauslaitoksen pitää itse varautua kouluttamaan omat osaajansa.

Maanmittauslaitoksen tulevaisuuden suunnitelmat kaukokartoituksen käytössä keskittyvät entistä vahvemmin automaation lisäämiseen ja paikkatietoaineiston ajantasaistamiseen. KALLIO2-ohjelman myötä tavoitteena on saada lisää osallistujia ja rahoittajia, mikä mahdollistaa laajemman yhteistoimintamallin ja syvemmän yhteiskunnallisen vaikuttavuuden. Uudessa Kallio2-ohjelmassa Maanmittauslaitoksen omia tavoitteita ovat esimerkiksi maastotietokannan ylläpitäminen, digitaalinen korkeus- ja pintamallituotanto, 3D-rakennusmallin tuottaminen ja ylipäätään aineiston saataminen laajasti yhteiskunnan käyttöön. Ilmakuva- ja laseraineistot ovat edelleen keskeisiä, muita kaukokartoitusaineistoja ei tällä hetkellä suunnitella yhtä laajamittaisesti käytettäväksi.

5.2 Metsäsektori

Koko metsäsektorin, metsäteollisuuden ja julkisen sektorin, toiminnan edellytys on kaukokartoitus- ja paikkatietodatan laaja hyödyntäminen. Ilman näitä teknologioita kustannustehokas operatiivinen toiminta olisi mahdotonta.

Kaukokartoitus tarjoaa välttämättömän työkalun, joka mahdollistaa laaja-alaisen, luotettavan ja jopa valtakunnallisesti kattavan metsätiedon.

Kriisitalanteissa kaukokartoitus- ja paikkatietodata tarjoavat erinomaisen ja luotettavan tietolähteen päätöksenteon tueksi, joka on jatkuvasti käytettävissä. Nykyjärjestelmät parantavat toimintavarmuutta, ja kriisitalanteissa voidaan hyödyntää myös tarkempia aineistoja muista lähteistä. Kriiseissä voi tulla julkiseksi aineistoja, jotka ovat normaalisti salaisia ja päinvastoin. Näiden teknologioiden merkitys korostuu, kun operatiivinen toiminta kohtaa haasteita ja vaatii nopeaa ja tarkkaa tietoa päätöksenteon tueksi.

Metsäsektorin kaukokartoitusaineistojen käyttö jakautuu selkeästi kahteen osaan. Ensimmäinen on varsin vakiintunut, vaikka jatkuvasti kehittyvä, KALLIO-ohjelmaan pohjautuva metsävaratieto. Toisena osa-alueena on vahvemmin uusia sovellutuksia tuottavat muut kaukokartoitusmenetelmät.

5.2.1 Laserkeilaus ja ilmakuvauus

Metsäsektori hyödyntää Maanmittauslaitoksen kansallisen laserkeilauksen ja ilmakuvauusten tuottamia aineistoja metsävaratiedon tuottamiseen. Aineistojen pohjalta Metsäkeskus tuottaa yksityismetsistä kattavan metsävaratiedon, joka on kaikkien käytössä avoimena metsävaratietona. Aikaisemmin työ tehtiin maastomittauksin, mutta aineiston tuottaminen oli selvästi kalliimpaa ja se ei koskaan ollut edes alueellisesti kattavaa. Yksityismetsissä vuonna 2010 aloitettu projekti tuotti ensimmäisen valtakunnallisesti kattavan aineiston vuonna 2020. Aineisto on laajasti käytössä metsänomistajien, metsäteollisuuden ja viranomaisten piirissä. Metsähallitus tuottaa vastaavan metsävaratiedon valtion metsistä.

Kattavan metsävaratiedon rooli metsäteollisuudessa on erittäin suuri. Sitä hyödynnetään päivittäisessä puutavaran hankinnassa ja pidemmän aikavälin hankinnan suunnittelussa. Metsävaratietoa käytetään myös laitosten operatiivisen toiminnan ja jopa uusien laitosten sijoittelun suunnittelussa. Tiedon merkitys on korostunut Venäjän puuntuonnin loputtua,

kun korvaava pitää löytyä Suomesta. Digitaalinen puukauppa on saanut merkittävän sysäyksen koronapandemian myötä, mikä on lisännyt etänä tehtävää kaupankäyntiä. Kaukokartoitustietoon perustuen kaupungeissa ja muuten kauempana metsistään asuvat metsänomistajat voivat hoitaa omaisuuttaan luotettavasti ja faktapohjaisesti etänä.

Metsävaratietoa hyödynnetään myös viranomaistoiminnassa. Suomen Metsäkeskus hyödyntää metsävaratietoa yksityisille metsänomistajille tarkoitettujen Metka-tukien päätöksissä. Metsänomistajille suunnattu kannustejärjestelmä mahdollistaa valtiolle yhteiskunnallisesti tärkeiden tavoitteiden edistämisen, mikä voi olla tärkeää myös kriisin aikana. Ilman kattavaa metsävaratietoa tukijärjestelmä ei voisi toimia luotettavasti. Kaukokartoitusta hyödynnetään myös tutkimustyössä, valtakunnallisessa metsien inventoinnissa, kunnitusten metsätilastojen laskennassa ja maankäytön muutosten seurannassa.

Metsävara-aineisto on merkittävää myös metsäsektorin ulkopuolella. Sen on tunnistettu olevan tärkeää ainakin finanssisektorille. Kiinteistöomaisuuden rooli luotetuksessa lainojen vakuutena on merkittävä. On selvää, että metsäkiinteistöillä puusto on kiinteistön rahallisesti merkittävin osa. Pankeilla on merkittävä intressi seurata vakuusarvojen muutoksia, eli mahdollisia hakkuita, lainojen vakuutena olevilla kiinteistöillä.

5.2.2 Muut kaukokartoitusaineistot metsäsektorilla

Satelliittikaukokartoitusaineiston hyödyntäminen metsäsektorilla on kehittynyt merkittävästi viime vuosina. Satelliittikuvien avulla voidaan esimerkiksi tunnistaa metsätuhoja, kuten kirjanpainajatuhoja, mikä edistää metsänomistajien ja viranomaisten nopeaa reagointia. Käyttöä on edistänyt ilmaiseksi saatavilla oleva Sentinel-aineisto, mutta sen spatiaalinen resoluutio asettaa käytettävyydelle rajoitteita. Tarjolla on laajasti myös laadukasta ja soveltuvaa maksullista satelliittikaukokartoitusdataa.

Maksullisen datan ostaminen on yleistynyt, mutta sen jatkuva ja laajamittainen hankinta on kustannustehokkuuden kannalta haasteellista. Yleisesti ottaen satelliittikuvilla täydennetään kansallisen ilmakuvauusohjelman tietoja, koska satelliittiaineistoa on saatavilla paljon useammin. Tämä mahdollistaa jatkuvan ja kattavan seurannan, mikä parantaa metsien hoitoa ja kestävyttä pitkällä aikavälillä.

Satelliittikaukokartoituksella on myös merkittävä rooli tulevaisuudessa, erityisesti tulevat EU-sääntelyt korostavat ennallistamista ja biologista monimuotoisuutta.

Satelliittikuvia käytetään laajasti metsänkäyttöilmoitusten ja muutostulkintojen valvonnassa. Esimerkiksi Metsälain määrittämiä erityisen tärkeitä elinympäristöjä valvotaan satelliittikuvilta, ja harvennushakattuja kohteita pyritään tunnistamaan Sentinel-2 kuvista, vaikka niiden resoluutio ei aina riitä tarkkaan analyysiin.

Droonidata on tullut operatiiviseksi osaksi metsäsuunnittelua ja metsäsektorin toimintaa laajemminkin. Droonit tarjoavat tarkkaa ja ajantasaista tietoa, mikä täydentää satelliittikuvia erityisesti silloin, kun tarvitaan yksityiskohtaisempaa (korkeamman spatiaalisen resoluution) tietoa. Esimerkiksi mahdolliset rikkomistapaukset voidaan tarkastaa droonikuvauksilla yhteistyökumppaneiden avulla.

Säädata on keskeisessä roolissa hakkuukoneiden käytössä, sillä se auttaa määrittämään, milloin ja missä metsätyökoneita voidaan käyttää. Talviolosuhteet, maan routaisuus ja kelirikkoileimikot ovat kaikki tekijöitä, jotka vaikuttavat metsänhoitotöiden suunnitteluun ja toteutukseen.

Satelliittikaukokartoitusaineiston ja droonidatan hyödyntäminen metsäsektorilla tarjoaa monia etuja, kuten tarkemman ja ajantasaisemman tiedon, paremman valvonnan ja tehokkaamman metsänhoidon. Nämä teknologiat ovat keskeisiä työkaluja, jotka tukevat kestävää metsätaloutta ja auttavat vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin.

5.3 Yleistä Metsäsektorista

Puutteet kaukokartoitusaineiston saatavuudessa voisi lamauttaa operatiivisen metsätalouden suunnittelun. Tämä johtuu siitä, että maastokäyntien tarve kasvaisi huomattavasti, mikä ei olisi mahdollista nykyisten taloudellisten ja henkilöstöresurssien rajoitteiden vuoksi. Ilman satelliittikuvia metsänkäyttöilmoitusten ja metsälain valvonta pitäisi tehdä paikan päällä. On oletettavaa, että väärinkäytökset ja laittomat hakkuut yleistyisivät ilman riittävää kaukokartoitusperustaista seurantaa. Tämä johtaisi myös luonnonsuojelulain noudattamisen heikkenemiseen, mikä vaatisi lisää maastokäyntejä ja nostaisi puunhankinnan kustannuksia koko metsäsektorilla.

Kehittymisen kannalta merkittäviä haasteita ovat rahan vähyys ja resurssien puute. Inventointia varten ei aina ole riittävästi henkilöresursseja, mikä on kriittistä kaukokartoituksen opetusaineiston tuottamiseksi. Maastokoealojen mittausta ja puustotiedot ovat laadun

kannalta välttämätöntä, mutta toteutus vaatii paljon maastotyötä. Rahan puute rajoittaa myös maksullisten satelliittiaineistojen käyttöä. Esimerkiksi lisääntyvien metsätuhojen tulkinta maksullisilla satelliittikuvilla olisi tarpeellista, mutta se ei ole kattavasti mahdollista.

Kaukokartoituksen rooli tulee metsäsektorilla kuitenkin kasvamaan merkittävästi. Kallio2-ohjelma tulee toteutuessaan tarjoamaan merkittäviä kehittymismahdollisuuksia. Tulevaisuudessa paremmat sensorit ja kamerat ilmakuvauksessa ja satelliiteissa mahdollistavat entistä tarkemman ja kattavamman tiedon keräämisen. Tämä vähentää maastokäyntien tarvetta entisestään, sillä suunnitelmia voidaan tehdä etänä, ja maastokäynnit keskittyvät lähinnä koneoppimismallien opetusaineistojen keräämiseen, validointiin ja testaukseen. Tarkka laserkeilausaineisto, kuten suunnitteilla oleva 20 pistettä per neliometri, mahdollistaisi käytännössä suunnittelutoimenpiteiden toteutuksen puutasolla. Tämä tarkkuus parantaisi digitaalisten prosessien laatua ja tehokkuutta. Nopeampi sykli aineiston hankinnan ja analysoinnin osalta vähentäisi maastokäyntien tarvetta metsätalouden toimenpiteitä suunniteltaessa. Tavoitteena on pystyä hoitamaan mahdollisimman iso osa aikaisemmin metsässä hoidetuista tehtävistä täysin kaukokartoitusaineistoon pohjautuen. Kehityskohteena on esimerkiksi leimikoiden ja kauppojen suunnittelu täysin ilman maastokäyntejä. Pidemmällä aikavälillä tarkempi ennakkotieto mahdollistaneekin jopa metsäkoneiden autonomisen toiminnan. Myös ympäristön tilaan liittyvää kaukokartoitukseen perustuvaa tuotantoa halutaan laajentaa, ja useita kehityshankkeita on käynnissä. Drooni- ja lentokonekaukokartoitus ennen korjuuta parantaisi erityiskohteiden kartoitusta ja havaitsemista sekä korjuuvaurioiden, loppujäljen ja monimuotoisuuden kartoitusta. Tarkemmat aineistot mahdollistavat yksittäisten puiden, erityispuiden, kuoleiden puiden ja luontotyyppien tunnistamisen sekä tilan seurannan. Tämä parantaa myös lainvalvontaa ja metsätuhojen tunnistamista. Pidemmällä aikavälillä kehitteillä on erilaisia hankkeita, joilla tähdätään digitaalisten kaksosten luomiseen.

Kaiken kaikkiaan prosessiketju, jossa kaukokartoitusta hyödynnetään, pitenee ja laajenee jatkuvasti. Huoltovarmuuden näkökulmasta on tärkeää tunnistaa, että tarkempi laserkeilausaineisto ja kaupalliset satelliittikuvat parantavat metsäteollisuuden hyväksyttävyyttä, häiriöttömän puun hankintaa ja toimitusta asiakkaalle sekä riskien hallintaa. Kaukokartoitus tarjoaa myös kustannustehokkaita ratkaisuja logistiikkaan, teiden kunnon tunnistamiseen ja säätietojen hyödyntämiseen.

5.4 Maatalous

5.4.1 Viranomaistoiminta

Maataloudessa kaukokartoituksen hyödyntämisessä korostuvat tällä hetkellä maataloustukien liittyvät prosessit. Suomessa maataloustukien hallinnoista vastaa Ruokavirasto. Ruokavirasto hyödyntääkin kaukokartoitusta monipuolisesti prosesseissaan ja johtamisessaan. Euroopan Unionin yhteisen maatalouden nykyisen ohjelmakauden (CAP-27) myötä kaikille EU-jäsenmaille tuli velvoite seurata jatkuvasti ja kattavasti maataloustoimintaa ja siten tukiehtojen toteutumista. Tähän tarkoitukseen Ruokavirasto on kehittänyt pelto-monitorointijärjestelmän.

Ruokaviraston peltomonitorointijärjestelmä hyödyntää satelliittikuvia ja muuta kaukokartoitusaineistoa peltolohkojen tilan ja viljelytoimintojen seurannassa. Järjestelmä mahdollistaa reaaliaikaisen ja tarkemman valvonnan, mikä auttaa varmistamaan, että viljelijät noudattavat tukiehtoja ja ympäristövaatimuksia.

Järjestelmä perustuu kattavaan Sentinel-1 ja Sentinel-2 kuvien käyttöön ja analysointiin. Satelliittiseuranta on keskeinen osa nykyisen CAP-27 ohjelmakauden tukiehtojen tarkastusta. Menetelmä on välttämätön EU-komission vaatimusten täyttämiseksi ja sen avulla voidaan varmistaa tarkkuus ja luotettavuus tukiehtojen valvonnan. Kaukokartoitus on lisäksi olennainen osa tukien liittyvässä EU-raportoinnissa. Ilman satelliittiseurantaa jouduttaisiin turvautumaan maasto- ja ilmapäätöksiin, mikä olisi huomattavasti kalliimpaa ja vaatisi neuvotteluja EU-komission kanssa. Lisäksi puuttuminen johtaisi tuensaajien viljelyseurannan merkittävään lisääntymiseen. Pahimmillaan se vaarantaisi koko tukijärjestelmän. Kansallisilla tuilla ei voida korvata menetelmää, sillä satelliittiseuranta on välttämätön 700 miljoonan euron EU-rahoituksen varmistamiseksi. EU:n tukia ei voitaisi suoraa korvata kansallisilla tuilla, koska myös kansalliset järjestelmät on hyväksyttävä EU-komissiolla, ja myös niiden edellytyksenä todennäköisesti olisi satelliittiseurannan hyödyntäminen.

Kaukokartoitusaineistojen käyttö on välttämätöntä sekä edellä kuvatun regulaation että toiminnan tehokkuuden parantamiseksi. Satelliittivalvonta on pakollista EU-säädösten vuoksi, mutta se myös tehostaa toimintaa vähentämällä ELY-keskusten ja muiden resurssien tarvetta maastokäynneissä.

EU-komissio edistää digitalisaatiota, ja kaukokartoitus on tärkeä osa tätä strategiaa. Komissio on ilmaissut tyytyväisyytensä kaukokartoituksen käyttöön. Sen rooli tulee tulevaisuudessa vain kasvamaan. Vaikka satelliittivalvonta tuo haasteita, menetelmien on palveltava politiikan tekoa ja mahdollistettava kohdennetumpi tukien maksatus. Uuden CAP-suunnitelman kehittämisessä kaukokartoitus auttaa arvioimaan tukijärjestelmiä ja niiden valvontamahdollisuuksia. Tämä voi olla osa tulevia suunnitelmia, erityisesti kriisitilanteiden, kuten kuivuuden ja tulvien, hallinnassa. Kaukokartoitus on siis olennainen työkalu nyt ja tulevaisuudessa Ruokaviraston strategisessa johtamisessa, tarjoten kustannustehokkuutta, kattavuutta ja tukea digitalisaatiolle.

Ruokaviraston kaukokartoituksen käytössä on useita haasteita ja rajoitteita, jotka vaikuttavat sen tehokkuuteen ja luotettavuuteen. Nykyisin käytetään pelkästään Copernicus-ohjelman dataa. Menetelmä on täysin riippuvainen yksittäisen satelliittien toiminnasta. Esimerkiksi vuonna 2021 hajonnut Sentinel-1B satelliitti aiheutti merkittävää haittaa järjestelmälle. Resurssien ja rahoituksen rajoitteet rajoittavat analyysimenetelmiä muiden satelliittikonstellaatioiden tuottamalle datalle. Kaikki rinnakkaiset järjestelmät vaatisivat analyysien uudelleen rakentamista, koska eri satelliittikonstellaatioiden tuottama data ei ole suoraan vertailukelpoista. Lisäksi useimpien muiden satelliittikonstellaatioiden tuottama data on maksullista. Kaukokartoituksen resilienssi perustuu kykyyn sopeutua näihin haasteisiin ja kehittää jatkuvasti uusia menetelmiä ja teknologioita. Vaikka haasteita on, strateginen panostus resursseihin ja osaamiseen parantaisi kaukokartoituksen tehokkuutta, luotettavuutta ja kriisinkestävyyttä tulevaisuudessa.

Tulevaisuudessa kaukokartoituksen hyödyntäminen kehittyy monin tavoin. Ympäristön tilan seuranta voitaisiin hyödyntää enemmän, ja kasvipeitteisyyden seuranta ja valvonta voidaan tehdä kattavammin. Sääpalveluiden käyttö nykyisten analyysimenetelmien tukena parantaa ennustettavuutta ja reagoitokykyä. Droonien hyödyntäminen ympäristökohteiden, kuten saarikohteiden ja kosteikkojen, tarkastamisessa lisää tarkkuutta ja kattavuutta. Kaukokartoituksen käyttö lisääntyy, kun enemmän ohjelmistoja ja analyysijärjestelmiä on käytössä. Ympäristötuet voivat myös hyötyä kaukokartoituksesta, sillä sen avulla voidaan kohdentaa tukea tarkemmin ja tehokkaammin. Vaikka kriisitilanteissa ei tällä hetkellä hyödynnetä kaukokartoitusta, sen avulla voitaisiin tulevaisuudessa kohdentaa kriisitukea nopeammin ja luotettavammin esimerkiksi kuivuuden tai tulvien sattuessa. Tämä saattaa olla osa tulevia CAP-suunnitelmia, joissa kaukokartoitus auttaa arvioimaan tukijärjestelmiä ja niiden valvontamahdollisuuksia.

5.4.2 Viljelijät

Kaukokartoitus tarjoaa runsaasti arvokkaita tietoaineistoja myös viljelijöille. Kasvava kiinnostus tekoälyn (AI) hyödyntämiseen maatalous- ja elintarvikesektorilla edistää kaukokartoituksen käytön laajentumista. Esimerkiksi tekoäly voi parantaa satoennusteita analysoimalla kaukokartoituksella kerättyä dataa ja integroimalla sen muihin tietoaineistoihin. Tekoäly voi yksinkertaistaa kasvien fenotyyppien määrittämistä, automatisoida tuholaisten tai taudinaiheuttajien havaitsemisen ja varmistaa tasaisen tuotelaadun.

Kaikkien maatalan toimintojen samanaikainen hallinta on vaativaa, mutta maatalan hallintajärjestelmät (FMS) on luotu helpottamaan viljelijöiden taakkaa.

FMS-järjestelmä on digitaalinen työkalu tai ohjelmistopaketti, joka on suunniteltu optimoimaan ja valvomaan maatalan toimintoja ja tuotantotoimintaa kattavasti.

Ohjelmistot automatisoivat erilaisia maatalan tehtäviä, kuten kirjanpitoa, taloushallintoa, tietojen tallennusta ja erilaisia maatalatoimintoihin liittyviä operatiivisia analyyskejä. Se auttaa myös virtaviivaistamaan tuotantoprosesseja ja työaikatauluja.

FMS-ratkaisut räätälöidään vastaamaan yksittäisten maatilojen erityisvaatimuksia, sillä jokaisella tilalla on oma ainutlaatuinen toimintakokonaisuutensa. Useimmat FMS-järjestelmät integroivat kaukokartoitusdataa työprosesseihinsa tavalla tai toisella. Tämä integrointi mahdollistaa erilaisten maatalaprosessien seurannan ja visualisoinnin, kuten kasvien kasvun ja tuotantopanosten käytön. FMS-järjestelmät ovat kasvattaneet suosiotaan viljelijöiden keskuudessa, ja markkinoilla on saatavilla lukuisia kaupallisia vaihtoehtoja. Kuitenkin maatalalaitteiden yhteensopivuus näiden järjestelmien kanssa on yleinen haaste erilaisten digitaalisten standardien vuoksi.

Tämä yhteensopimattomuus voi joskus estää FMS-järjestelmien käyttöönottoa, mikä rajoittaa tuotannon tehokkuuden lisäämistä älykkäiden viljelymenetelmien avulla. Kuitenkin oikein toteutettuna kaukokartoitusdatan tehokas käyttö voi tuoda monia etuja, kuten kustannusten pienentyminen, satojen kasvu, sadon laadun parantuminen, kannattavuuden kasvu ja operatiivisten riskien hallinta.

5.5 Ympäristösektori

Ympäristösektori on yhteiskunnan toiminnan keskeinen osa, sillä se integroituu moniin yhteiskunnallisiin prosesseihin ja rakenteisiin.

Tämä sektori edistää kestävästä kehitystä ja ekologista tasapainoa, mikä on välttämätöntä taloudellisen vakauden ja sosiaalisen hyvinvoinnin ylläpitämiseksi.

Ympäristösektorin toimet, kuten luonnonvarojen hallinta, ilmastonmuutoksen torjunta ja biologisen monimuotoisuuden säilyttäminen, ovat keskeisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat yhteiskunnan toimintakykyyn erityisesti pitkällä aikajänteellä. Häiriö- ja poikkeustilanteissa on tärkeää ylläpitää valmiutta havaita, seurata ja ennakoita ympäristömuutoksia ja ilmastonmuutosta. Tämä valmius auttaa yhteiskuntaa torjumaan näistä muutoksista aiheutuvia uhkia ja sopeutumaan niihin. Suomen osallistuminen kansainvälisiin ympäristö-, ilmasto- ja biodiversiteettisopimuksiin on keskeistä rajat ylittävien ympäristömuutosten vaikutusten hallinnassa.

Kansallisella tasolla ympäristöuhkat, kuten ilmastomuutos ja luontokato, voivat aiheuttaa vaaraa ihmisille, merkittäviä omaisuus- ja ympäristövahinkoja sekä heikentää taloudellisen toiminnan edellytyksiä. Toimivat havainnointi- ja seurantajärjestelmät mahdollistavat haitallisten ympäristömuutosten ja ilmastomuutoksen havaitsemisen ja ennakoimisen, jotta niiden negatiivisia vaikutuksia voidaan ehkäistä ja aiheutuneet vahingot korjata mahdollisimman nopeasti. Huoltovarmuuden kannalta on tärkeää, että ympäristön tilan seuranta ja tietorekistereitä sekä säähavaintoverkostoa pidetään yllä. Näiden avulla varaudutaan myös ympäristöonnettomuuksien havaitsemiseen ja hallintaan. Seurantatietojen avulla voidaan nopeasti mallintaa ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia onnettomuustilanteissa. Sää- ja olosuhdehavaintoja hyödynnetään muuttuvan ilmaston seurantaan ja tulevan ilmaston arvioinnissa.

Suomen Ympäristökeskus (SYKE) on keskeinen toimija ympäristön seurannassa ja tutkimuksessa Suomessa.

SYKE:n ydinprosesseihin kuuluvat ympäristönseuranta ja -tarkkailu (vedenlaatu, kasvillisuuden fenologia, maanpeite, uhanalaiset luontotyypit, lumi/jää), raportointi ympäristön tilasta, indikaattoritieto kansallisille ja kansainvälisille organisaatioille (mm. HELCOM, YK, EU), tulvaseuranta ja -dokumentointi, viestintä (esim. sinilevätiedotus) sekä ympäristötiedon tuottaminen (mm. maanpeiteaineistot ja kasvillisuuden korkeusaineistot). Tämä seuranta on välttämätöntä ympäristön tilan arvioimiseksi ja kestävästä kehityksen edistämiseksi.

Kaukokartoitus on yksi merkittävä työkalu ympäristön seurannassa. Kaukokartoituksella saavutetaan ympäristön seurannassa korostetun tärkeä laaja kattavuus, minkä saavuttaminen muutoin olisi kustannuksellisesti mahdotonta. Konkreettisesti tämä parantaa esimerkiksi tulva- ja lumitietojen laatua ja kattavuutta. Tiedon määrän kasvu, kehittyneiden koneoppimismallien hyödyntäminen ja laskentakapasiteetin merkittävä kasvu mahdollistavat entistä tarkemman ja kattavamman analyysin ympäristön tilasta. Lisäksi kaukokartoitusdataa hyödynnetään maastotöiden ja luontokartoitusten suunnittelussa. Kaukokartoitus mahdollistaa laaja-alaisten aineistojen tuottamisen sekä säännöllisen tiedon keräämisen, tiedon keräämisen hankalasti saavutettavilta alueilta sekä alueiden seuraamisen ajan yli. Se auttaa ennakoimaan lyhyen aikavälin ilmiöitä ympäristössä. Satelliittidata ja -analyysit mahdollistavat poikkeavien tilanteiden (mm. tulva, haitallinen leväkukinta) tilannekuvan ja -dokumentoinnin tarjoamisen aluehallinnolle tai muulle tilannetta johtavalle viranomaiselle. SYKE:n lisäksi ympäristön seurantaa tekee esimerkiksi Luonnonvarakeskus (LUKE). LUKE hyödyntää kaukokartoitusta kasvipeitteiden ominaisuuksien arvioimiseen, turvemaiden ja suoalueiden- ja tyyppien tunnistukseen, maaston kantavuuden mallinnukseen ja biodiversiteetin määrittämiseen.

Ympäristöseurannassa hyödynnetään monipuolisesti erilaisia kaukokartoitustekniikoita. Satelliittikuvaus sekä optinen- että tutkakuvaukset, ovat keskeisissä rooleissa. Lisäksi käytetään drooneja, johon Syke on hankkinut omaa laitteistoa. Droonilla tehtävässä lähikartoituksessa hyödynnetään esimerkiksi automatisoituja spektrimittauksia. Maanmittauslaitoksen ilmakehän ja laserkeilausaineisto ovat myös tärkeitä, ja niitä käytetään muun muassa tulvakuvauksiin, siihen kehitetyn toimintamallin mukaisesti.

Ilmatieteen laitokselta saadaan tulkittua säätutkadataa sekä tarvittaessa valmiiksi tehtyjä satelliittianalyyskejä, kuten FC-FloDA-analyysijä, jota hyödynnetään tulvan peittämien alueiden kartoituksessa.

Vaikka kaukokartoitus on ollut käytössä jo lähes 30 vuotta, niin usein sen asema ei ole vielä vakiintunut. Tämä johtuu osittain siitä, että toimintatapojen muutos on hidasta ja vaikeaa, erityisesti EU-tason seuranta-velvoitteiden vuoksi. Lisäksi on haasteita siinä, miten EU:n ohjeistukset sallivat kaukokartoituksen hyödyntämisen. Pilvipalveluihin siirtyminen ja Euroopan avaruusjärjestön (ESA) kaltaisten organisaatioiden tarjoamat mahdollisuudet ovat kuitenkin avanneet uusia näkymiä kaukokartoituksen hyödyntämiselle myös EU-tasolla. Vaikka kaukokartoituksen käyttö kasvaa ja laajenee,

sen hyödyntämistä hidastaa ymmärryksen puute siitä, miten kaukokartoitus voisi edistää toimintaa ja prosesseja. Kaukokartoituksen asiantuntijat ja substanssitoiminnan ammattilaiset eivät aina löydä yhteistä kieltä, mikä vaikeuttaa kaukokartoitusteknologian integrointia ja sen täysimääräistä hyödyntämistä. Vaikka kaukokartoitus ei suoraan tuota tietoa johdon päätöksenteon tueksi, sen tuottama data on arvokasta ympäristön tilan seurannassa ja analysoinnissa.

Kasvipeitteiden ominaisuuksien arvioiminen, turvemaiden ja suoalueiden tunnistaminen, maaston kantavuuden arviointi sekä biodiversiteetin mallinnus ovat keskeisiä tutkimusalueita ympäristön ja luonnonvarojen hallinnassa.

Kaukokartoitus, jossa hyödynnetään satelliitti- ja ortoilmakuvia, on näissä tutkimuksissa keskeisessä roolissa. Kasvipeitteiden ominaisuuksien arviointi kaukokartoituksen avulla mahdollistaa laajojen alueiden tarkastelun ja muutosten seurannan ajassa, mikä on tärkeää ekosysteemien terveyden ja toiminnan ymmärtämisessä. Turvemaiden ja suoalueiden tunnistaminen satelliittikuvien avulla on merkittävää, koska nämä alueet toimivat suurina hiilivarastoina ja niiden hallinta on tärkeää ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Maaston kantavuuden arviointi kaukokartoituksen avulla tarjoaa tarkkaa tietoa maaperän rakenteesta ja sen muutoksista, mikä on erityisen tärkeää metsätaloudessa ja maataloudessa. Biodiversiteetin mallinnus kaukokartoituksen avulla auttaa ennustamaan, miten erilaiset toimenpiteet ja ympäristömuutokset vaikuttavat lajien monimuotoisuuteen ja siten koko yhteiskunnan resilienssiin.

Kaukokartoituksen käytössä on merkittäviä riskejä, kuten toimijoiden diversiteetin väheneminen ja globaalisti keskitetysti tuotetun datan haasteet. Esimerkiksi muualla tuotettu maankäyttötieto ei välttämättä vastaa kansallisia tarpeita, eivätkä globaalit mallit huomioi lokaaleja ilmiöitä. Suomen luonto ja ympäristö poikkeavat niin paljon muusta Euroopasta, että käytettyjen mallien täytyy olla sovitettu Suomen olosuhteisiin ja mallien opetusaineiston täytyy olla suomalaista.

Kaukokartoituksen luotettavan hyödynnettävyyden varmistamiseksi on tärkeää ylläpitää maanhavainnointiosaamista Suomessa, sillä massadatan laadun tuntemattomuus voi johtaa huonoihin tuloksiin koneoppimismalleissa.

Suomen ei tule olla riippuvainen ulkomailla kehitetyistä analyyseistä, vaan on varmistettava, että käytettävät mallit ja opetusdata ovat paikallisiin olosuhteisiin sovitettuja ja korkealaatuisia.

Kaukokartoituksen merkitys tulee kasvamaan ympäristön seurannassa, erityisesti kun se integroituu paremmin eri toimialojen prosesseihin. SYKE:n laaja hankekanta keskittyy kaukokartoitusprosessien kehittämiseen. Tämä koskee sekä tiedon tuotantoa että hyödyntämistä. Samalla automatisoinnin rooli prosessin eri vaiheissa kasvaa. Toiminnan näkökulmasta seurantaprosessien ja huoltovarmuustoiminnan integrointi, uusien satelliittien ja sensoreiden käyttö sekä laserkeilauksen ja ilmakuvien hyödyntäminen ovat keskeisiä kehitysalueita. Tarkka satelliittidata ja droonikuvaus parantavat toimintaa erityisesti ekosysteemien ja niiden rakenteiden seurannassa. SYKE tulee jatkamaan kaukokartoituksen ja muiden innovatiivisten menetelmien kehittämistä ja hyödyntämistä, jotta ympäristön seuranta olisi entistä tarkempaa ja tehokkaampaa.

Tämä työ on keskeistä kestävän kehityksen ja ympäristönsuojelun edistämiseksi Suomessa.

Julkisen sektorin ja huoltovarmuuden kannalta on tärkeää tehdä yhteistyötä ja hyödyntää synergiaetuja. Työtä tehdään usein silloin, mutta yhteinen tekeminen ja osaamisen kartoittaminen ovat laajoja ilmiöitä tarkastelevalla ympäristösektorilla avainasemassa. Kaukokartoituksen integrointi yhteiskunnalliseen toimintaan vaatii panostusta, jotta teknologian potentiaali voidaan hyödyntää täysimääräisesti. Ei riitä, että toimijat tuntevat omat prosessinsa, vaan pitää ymmärtää riippuvuussuhteet muihin tiedon tuottajiin ja hyödyntäjiin.

5.6 Ilmatieteen laitos ja sääpalvelut

Ilmatieteen laitos on keskeinen toimija satelliittikaukokartoituksessa. Tunnettavuudessa tehtäväkentässä korostuvat sääpalvelut, mutta yhteiskunnallisesti merkittävä rooli ei rajoitu niihin. Ilmatieteen laitoksen Arktinen avaruuskeskus (FMI-ARC) Sodankylässä ja EUMETCAST GEO satelliittivastaanotto Kumpulassa vastaanottavat ja käsittelevät satelliittidataa. Sodankylän pohjoinen sijainti mahdollistaa polaarirataisten satelliittien datan tehokkaan vastaanoton.

FMI-ARC toimii osana EU:n Sentinel-satelliittien maa-asemaverkostoa, kattaen havaintojen arkistoinnin ja jakelun. Keskuksen mittausohjelma tuottaa tietoa maanpinnan, ekosysteemin, ilmakehän ja lähiavaruuden välisestä vuorovaikutuksesta.

Arktisen avaruuskeskuksen infrastruktuuri on tärkeä tutkimustoiminnalle arktisissa olosuhteissa. FMI-ARC:n kautta saatava satelliittidata tukee myös laajaa tutkimustoimintaa, joka kattaa muun muassa ilmastomuutoksen seurannan ja arktisten alueiden ympäristön tilan arvioinnin.

Lisäksi Ilmatieteen laitos tekee tiivistä kansainvälistä yhteistyötä, mikä mahdollistaa datan ja osaamisen jakamisen globaalisti, edistäen näin yhteistä ymmärrystä ja valmiuksia ilmaston ja sään ilmiöiden hallinnassa.

Ilmatieteen laitos edistää Suomen kannalta keskeisiä teemoja kansainvälisissä projekteissa, erityisesti Euroopan avaruusjärjestön (ESA) ja Euroopan unionin avaruushjelmaviraston (EUSPA) kanssa.

Tämä yhteistyö varmistaa, että Suomi hyötyy uusimmista kaukokartoitusteknologioista ja -tiedoista. EUMETCAST GEO satelliitit tarjoavat jatkuvaa seurantaa sääolosuhteista ja erityisesti voimakkaista sääilmiöistä.

Operatiivisiin palveluihin kuuluvat sään ennustaminen ja säämallinnus, maastopalojen operatiivinen havainnointi, merijään operatiivinen kartoitus, tulvien havainnointi (avoimet alueet, metsäiset alueet) ja laajuuden arviointi sekä avaruussää. Tutkimuksen osalta sääpalvelut kattavat ilmaston muutoksen tutkimuksen, ilmalaadun monitoroinnin, ilmakehän koostumuksen kartoituksen, lumen määrän ja vesiaron kartoituksen, veden kierron ja hydrologian, maaperän routautumisen ja sulannan, hiilen kierron sekä kasvillisuusindeksit ja kasvukauden seurannan. Operatiivisten satelliittipalveluiden tuotanto Eurooppalaiseen Copernicus-palveluun sisältää Pohjoisen pallonpuoliskon lumen vesiaron ja lumipeitteen laadun sekä Pohjois-Euroopan metsäpalojen satelliittihavainnoinnin.

Luotettava mittaustieto on keskeisessä roolissa nykyaisessa sääennustamisessa ja ilmastotutkimuksessa. Ilmatieteenlaitoksen tuottamat ajantasaiset ja tarkat mittaustiedot ovat globaalisti saatavilla satelliittien kautta, mikä mahdollistaa ennusteet ja tutkimukset myös maantieteellisesti vaikeasti saavutettaville alueille. Copernicus-ohjelman ansiosta Suomi on maailmanlaajuisesti edelläkävijä kaukokartoituksessa - ml. parantuneiden sääennustusten tarkkuudessa ja pidemmän aikajakson ennusteissa.

Sääpalveluita hyödynnetään yhteiskunnassa hyvin laajasti operatiivisen toiminnan tukena. Esimerkkeinä on kaikkien liikennemuotojen liikennesuunnittelu, uusiutuvan energian yritykset (erityisesti tuuli- ja aurinkovoima), maatalous ja metsätalous. Varsinaisen liikennesään lisäksi jääkartoilla on tärkeä rooli meriliikenteessä. Kaukokartoituskuvilta tuotettavat tarkat jääkartat auttavat navigoimaan turvallisesti arktisilla alueilla, mikä on tärkeää sekä kaupalliselle että tutkimusliikenteelle. Sääennusteilla on keskeinen rooli myös sähköntuotannossa. Sähköntuottajat hyödyntävät sääennusteita laajasti sähkömarkkinoiden hallinnassa ja optimoinnissa. Sääolosuhteet vaikuttavat

merkittävästi sähkön kysyntään ja tarjontaan, kuten lämmitys- ja jäähdytystarpeisiin sekä tuuli-, vesi- ja aurinkovoiman tuotantoon. Tarkat sääennusteet auttavat sähkömarkkinoiden toimijoita ennustamaan näitä vaihteluita ja mukauttamaan kaupankäyntistrategioita. Ennusteet integroidaan myös kehittyneisiin malleihin, jotka ennustavat sähkön hintoja, ja ne tukevat operatiivista suunnittelua sekä riskienhallintaa, erityisesti äärimmäisten sääilmiöiden osalta. Tämä auttaa ylläpitämään tasapainoista ja tehokasta sähkömarkkinaa.

Kaukokartoituksen käytössä on kuitenkin haasteita ja rajoitteita. Ala kehittyy nopeasti, mikä vaatii jatkuvaa laitteiden ja osaamisen päivittämistä. Datojen yhdistäminen eri lähteistä on edelleen haastavaa, ja tekoälyn hyödyntäminen ei aina pysy kehityksen perässä. Datan edustavuus ja tarkkuus ovat kriittisiä tekijöitä, ja uusien menetelmien kehittäminen vaatii lisää resursseja ja osaajia. Lisäksi ilmanlaadun seuranta ja EU:n vaatimukset edellyttävät tarkkoja selvityksiä ja raportteja, mutta ohjeistus ei aina tue kaukokartoituksen täysimääräistä hyödyntämistä – vastaavasti kuin ympäristösektorilla. Joissain regulaatioissa kaukokartoitustiedon käyttäminen ei ole mahdollista, koska raportointivaatet on määritelty siten, että in situ -mittaukset ovat ainoa mahdollisuus.

Kaukokartoitusaineiston puuttuminen vaikuttaisi merkittävästi Ilmatieteenlaitoksen prosesseihin ja johtamiseen. Sääennusteet, jotka ovat suuresti riippuvaisia kaukokartoituksesta, menettäisivät tarkkuutensa ja ennustejakso lyhenisi. Tämä heikentäisi kykyä ennustaa ja reagoida sääilmiöihin tehokkaasti. Lisäksi saasteiden kaukokulkeutumisen havainnointi ei toimisi, mikä vaikeuttaisi ilmanlaadun seurantaa, ympäristön tilan arviointia ja yllättävien ilmiöiden vaikutusten arviointia ja ennustamista. Metsäpalojen ja muiden luonnonkatastrofien ennakoointi ja seuranta kärsisivät, samoin kuin rajan takaisen tilanteen seuraaminen.

Jäättilanteen seuranta ei toimisi ollenkaan ilman kaukokartoitusta, mikä vaikeuttaisi meriliikenteen ja kalastuksen suunnittelua. Tutkimustyö monilla aloilla, kuten ilmastotutkimuksessa ja ympäristön seurannassa, olisi huomattavasti rajoittuneempaa. Resurssien kohdentaminen yllättävien tapahtumien kuten Islannin tulivuoren purkauksen, Ukrainan sodan ja Nordstreamin kaasuputkien räjäytyksen kaltaisten tilanteiden seuraamiseen olisi myös haastavampaa ilman kaukokartoitusaineistoa.

Kaukokartoitus tukee organisaation strategisia tavoitteita monin tavoin. Uudet satelliitit ja alan kehittyminen määrittävät tulevien vuosien tavoitteita ja painotuksia. Keskeisten strategisten tavoitteiden saavuttaminen ei olisi mahdollista ilman kaukokartoitusta. Kaukokartoituksen rooli tulevaisuuden suunnitelmissa on merkittävä. Koneoppimisen ja datan hyödyntäminen ovat

keskeisiä tekijöitä, ja niiden avulla voidaan parantaa ennusteiden tarkkuutta ja kehittää uusia menetelmiä ympäristön tilan seurantaan.

Ilmatieteen laitoksella on runsaasti omaa osaamista kaukokartoitustietojen hyödyntämiseen. Toiminnassa hyödynnetään omia ja muiden tuottamia aineistoja sekä niiden pohjalta johdettuja valmiita tuotteita, kuten ilmanlaatuun liittyviä analyyseja.

Vaikka organisaatiolla on osaamista ja resursseja, lisäämisen tarve on jatkuva. Erityisesti kalibrointi- ja validointiosaamista tarvitaan paljon, jotta kaukokartoitustiedot voidaan hyödyntää tehokkaasti ja tarkasti. Tämä on tärkeää myös huoltovarmuuden kannalta (jatkuvuuden varmistaminen). Resurssien riittävyys on kriittinen tekijä, ja jatkuva koulutus ja osaamisen kehittäminen ovat välttämättömiä.

Merkittävimmät esteet kaukokartoituksen käytön kasvulle liittyvät henkilöresurssien riittämättömyyteen. Ala kehittyy nopeasti, ja nykyisillä resursseilla ei voida seurata ja hyödyntää kaikkia mahdollisuuksia. Lisäksi kaupallisen datan käyttö tarjoaisi mahdollisuuksia kehittää palveluita, mutta se ei ole kustannuksien takia aina mahdollista. Esimerkiksi jäättilanteen seurannassa olisi tarvetta maksulliselle tutkadalalle, ja metaanin seurantaan tarvittaisiin kaupallisia satelliitteja. Maksullinen satelliittidata on kallista, mikä rajoittaa sen käyttöä.

Ilmatieteen laitoksen tuottama kaukokartoitustieto on keskeinen työkalu kansallisessa riskienhallinnassa. Mitä parempaa kaukokartoitusdataa on käytettävissä, sitä tarkempia ennusteita ja parempia päätöksiä voidaan tehdä. Tämä parantaa kansallista kykyä ennakoida ja hallita erilaisia riskejä, kuten sääilmiöitä, ympäristökatastrofeja ja saasteiden leviämistä. Esimerkiksi metsäpalojen ja tulvien ennakoointi ja seuranta on huomattavasti tehokkaampia, kun käytössä on ajantasaista ja tarkkaa kaukokartoitusdataa. Kaukokartoitus parantaa resilienssiä ja kykyä hallita kriisitilanteita tarjoamalla jatkuvan tilannekuvan. Tämä helpottaa toimintaa ja pienentää riskejä, sillä organisaatio pystyy reagoimaan nopeasti muuttuviin olosuhteisiin. Esimerkiksi tulivuorenpurkaus päivantasaajalla voi vaikuttaa ilmastoon ja ympäristöön laajasti, ja tällaiset tapahtumat on otettava huomioon riskienhallinnassa. Turvallisuuslaitoksille on erityisen tärkeää ymmärtää, mitä ympärillä tapahtuu ja saada käyttöön kansallisesti relevanttia informaatiota.

Kaukokartoituksen käytössä on myös riskejä, kuten datan manipulointi. On tärkeää, että organisaatio pystyy itse ymmärtämään oman alueensa dataa ja varmistamaan sen luotettavuuden. Sääpalvelualan toimijoiden kansainvälinen yhteistyö on myös avainasemassa, sillä globaalisti saatavilla oleva osaaminen täydentää kansallista tietämystä.

Kaukokartoituksen käyttö tulee lisääntymään tulevaisuudessa, ja tarve datalle, laskentateholle ja analyysimenetelmille kasvaa. Tämä johtaa parempiin tuloksiin ja tehokkaampaan toimintaan eri aloilla, kuten maataloudessa, logistiikassa ja ympäristön seurannassa. Organisaatiot kehittävät uusia sovellutuksia ja teknologioita, jotka hyödyntävät Ilmatieteenlaitoksen tuottamia tietoja palveluita entistä monipuolisemmin. Loppuasiakkaita tuetaan yhä enemmän satelliittidatalla, ja sääosaamista jaetaan kehittyville maille nykyisistä satelliiteista. Suomessa tulisi olla käytössä vahva satelliittipohjainen tilannekuva ja datamittauspohjainen digitaalinen kaksonen, jotta voidaan havaita ja reagoida sekä pitkän aikavälin muutoksiin että yllättäviin tilanteisiin. Ilmatieteenlaitoksen monipuolinen kaukokartoitustutkimus väistämättä lisää ja monipuolistaa organisaation osaamista ja parantaa kykyä reagoida uusiin haasteisiin ja mahdollisuuksiin.

Yleisesti sääpalveluista on huomattava, että alalla toimii myös vahvoja yksityisiä toimijoita. Foreca on merkittävä toimija Suomen sääpalveluiden kentällä, tarjoten kattavia ja tarkkoja sääennusteita sekä kuluttajille että yrityksille. Heidän palvelunsa pohjautuvat samoihin lähtöaineistoihin ja ilmastomalleihin kuin Ilmatieteenlaitoksella. Ennusteita ja reagointinopeutta parannetaan omalla analytiikkaosaamisella ja tietojärjestelmillä. Foreca palvelee laajaa asiakaskuntaa, mukaan lukien mediatilat, liikenne- ja energiayhtiöt sekä teollisuusyritykset, mikä tekee siitä keskeisen osan Suomen sääpalveluiden infrastruktuuria.

5.7 Energiasektori

Kaukokartoitus on merkityksellinen sekä sähköverkkojen hallinnassa että uusiutuvan energian tuotannon ennustamisessa. Kaukokartoitus on keskeisessä roolissa energiasektorin prosesseissa. Lentokoneilla ja helikoptereilla otetut ortoilmakuvat auttavat kartoittamaan alueita tarkasti, ja laserkeilausteknologiaa käytetään maaston ja kasvillisuuden tarkkaan kartoitukseen. Toisin kuin lähes kaikki muut sektorit, niin energiasektori ei hyödynnä Maanmittauslaitoksen tarjoamia aineistoja, vaan alalla toteutetaan itse kuvaukset omiin tarpeisiin. Nykyinen infrastruktuuri on kokonaisuudessaan laserkeilattu ja ortoilmakuvattu.

Kaikista rakenteista on saatavilla tarkka pistepilvianeisto ja kuva-aineisto, joka auttaa omaisuusrekisterin ylläpidossa ja ylläpidon suunnittelussa. Aineistosta voidaan tunnistaa kasvuston uhka voimajohdoille, ja siitä voidaan tunnistaa käsittelyä vaativat kohteet. Kaukokartoituksella varmistetaan, ettei alueelle ole tullut uusia rakenteita tai maanmuokkausta, jotka olisivat voimajohtojen turva-alueiden sisäpuolella. Rajatummilla alueilla, erityisesti sähköasemilla, droonit voivat lentää autonomisesti vakioireittejä ja kuvata

säännöllisesti koko infrastruktuurin, mikä helpottaa valvontaa ja kunnossapitoa. Kaukokartoituksen avulla luodaan 3D-pintamalleja, jotka auttavat kunnossapidon priorisoinnissa ja uusien johtojen reittien suunnittelussa. Lisäksi kaukokartoitus ja keilaus tarjoavat tietoa johtojen riippuvuudesta ja lämpötilamuutoksista, mikä auttaa optimoimaan olemassa olevan verkon käyttöä.

Energiatuotannon näkökulmasta kaukokartoitus on erityisen hyödyllinen uusiutuvan energian, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, kehittämisessä ja optimoinnissa. Päivittäisissä prosesseissa säädäntä merkitys on erityisen korostunut sähköpörssin toiminnassa, sillä sääolosuhteet vaikuttavat suoraan uusiutuvan energian tuotantoon ja siten sähkön hintaan. Lämpötila, tuulisuus, aurinkoisuus ja sateet vaikuttavat kaikki sähkön tarjontaan ja kysyntään, mikä heijastuu sähköpörssin spot-hintoihin.

Kaukokartoitus tukee energiasektoria monin tavoin myös strategisessa johtamisessa. Se auttaa suunnittelemaan ja hallinnoimaan sähkön siirtoa valtakunnallisesti, erityisesti vihreän siirtymän hankkeissa kuten tuulipuistoissa. Joka vuosi rakennetaan 500–600 km uutta kantaverkkoa, ja kaukokartoitus mahdollistaa tämän laajamittaisen investoinnin tehokkaan toteuttamisen. Suunnitteilla olevat voimajohtokäytävät laserkeilataan, mikä tarjoaa tarkan ja kattavan kuvan maastosta ja helpottaa voimajohtojen reittien suunnittelua. Kaukokartoitus on välttämätöntä uusien johtojen suunnittelussa, erityisesti pitkien, yli 200 km johtojen osalta. Ilman kaukokartoitusta paikallisten mittausten tekeminen olisi liian kallista, aikaa vievää ja luotettavuus olisi alhaisempaa.

Tuulivoimaloiden sijoittelu ja tehokkuuden maksimointi vaativat tarkkaa tietoa maaston ja tuuliolosuhteiden vaihteluista, joita voidaan kartoittaa kaukokartoituksen avulla. Lisäksi aurinkovoimaloiden suunnittelussa ja ylläpidossa kaukokartoitus auttaa arvioimaan optimaalista paneelien sijoittelua ja seuraamaan mahdollisia varjostavia esteitä.

Kaukokartoitusaineiston puuttuminen vaikuttaisi merkittävästi organisaation prosesseihin ja johtamiseen. Uusien johtojen suunnitteluun tarvittava manuaalisesti kerätty tieto olisi epätarkempaa ja kalliimpaa, mikä hidastaisi suunnittelutyötä ja lisäisi virheiden määrää, aiheuttaen näin lisäkustannuksia. Suunnitteluprosessit on rakennettu toimimaan kaukokartoitusdatalla. Energiaverkon suunnittelussa kaukokartoitusaineiston puuttuminen estäisi käytännössä koko suunnittelun käynnistämisen, koska aineistoa tarvitaan jo potentiaalisten reittien kartoitukseen. Rakenteiden kunnan osalta saataisiin vähemmän ajantasaista tietoa, mikä heikentäisi kunnossapidon tehokkuutta.

Energiasektorin organisaatioilla on monipuolista osaamista kaukokartoituksen hyödyntämisestä, mutta aineiston tuottamisessa organisaatiot ovat riippuvaisia ulkoisista lähteistä. Säädatan osalta ollaan riippuvaisia julkisen sektorin säädatasta, oli varsinaisen sääpalvelun tuottaja sitten Ilmatieteen laitos tai yksityinen yritys (esim. Foreca). Optisen kuvauksen ja laserkeilauksen palvelutarjoajat eivät kaikki ole kotimaisia, mikä voi joissain tilanteissa vaikuttaa resurssien riittävyyteen ja tehokkuuteen. Aivan vastaavasti kuin Maanmittauslaitoksenkin kohdalla kilpailu resursseista on EU:n laajuista ja Suomen sijainti ja haastavat olosuhteet eivät helpota kilpailutilannetta.

Kaukokartoitus auttaa organisaatiota riskienhallinnassa monin tavoin. Kasvuston osalta voidaan huolehtia, että puusto ei kaadu johtojen päälle ja johtoukeat pysyvät kunnossa. Kunnossapitotietojen perusteella voidaan pitää verkko kunnossa ja pienentää aikatauluriskiä uusien suunnitteluprojektien osalta. Vikojen hallinnassa kaukokartoituksella ei vielä ole merkittävää roolia, mutta se voi parantaa organisaation resilienssiä ja kykyä hallita kriisitilanteita, esimerkiksi käyttämällä drooneja suurissa vikatilanteissa.

Sähköverkkojen seurannassa satelliittidatan hyödyntäminen tulee kasvamaan, ja siihen yhdistetään tekoälyanalytiikkaa, mikä lisää reaaliaikaisuutta ja parantaa sähköverkon häiriösietoisuutta. Toiveena on saada enemmän tietoa satelliittidatasta, mikä mahdollistaisi 2–3 kertaa vuodessa muutostietojen saamisen vähintään seurannan kannalta kriittisistä ja seurannan kannalta sopivista kohteista. Satelliittien avulla voitaisiin tuottaa reaaliaikaista tietoa suurissa häiriötilanteissa, kuten silloin, kun pylviäit on kaatunut paljon. Droonien osalta kehityskohteena on pidemmän kantaman ratkaisut korvaamaan helikoptereista ja lentokoneista tehtävää kuvausta ja automaattisia ratkaisuja erilaisiin ad-hoc tarpeisiin. Kantaverkkoa ei voida kaapeloida maan alle, joten kaukokartoitusta tarvitaan ylläpitämään sen toimintavarmuutta myös tulevaisuudessa. Kaiken kaikkiaan kaukokartoitusta hyödynnetään kasvavissa määrin. Tällä hetkellä on käynnissä paljon erilaisia kehityshankkeita.

Energian tuotannossa tarkentuva säädata tulee parantamaan ennustetarkkuutta lyhyissä ja erityisesti pidemmissä ennusteissa. Lisäksi kaukokartoitusta voidaan hyödyntää tuotannon infrastruktuurin seurannassa aivan samoin kuin mitä tahansa muutakin infrastruktuuria. Tarve laajamittaiselle seurannalle korostuu, kun tuotanto hajautuu uusiutuvan energiatuotannon kasvun myötä. Tarkemmilta satelliiteilta voidaan esimerkiksi seurata aurinkopaneelien kulmia, varjostuksia ja kuntoa (liikaantumista ja vaurioitumista).

5.8 Poliisi- ja pelastustoimi

Kaukokartoitustieto on keskeinen osa poliisi- ja pelastushallituksen prosesseja, tarjoten tarkkaa ja ajantasaista tietoa operatiivisen toiminnan tueksi. Tämä tieto tukee pelastustoimen pääprosesseja ja toimittaa arvokasta tietoa toiminnan suunnitteluun, tehtävien hoitamiseen ja raportointiin. Poliisi- ja pelastushallitus hyödyntääkin kaukokartoitustietoa monipuolisesti. Kaukokartoitus tukee muun muassa Sisäministeriön yhteistä karttapalvelua sekä poliisin ja pelastustoimen kenttäjohtamisjärjestelmien karttatuohtantoa. Tämä mahdollistaa tarkemman ja visuaalisemman paikkatiedon hyödyntämisen operatiivisessa suunnittelussa ja toiminnassa. Lisäksi kaukokartoitus helpottaa suunnittelua, operaatioiden johtamista, dokumentaatiota ja reaaliaikaisen tilannekuvan välittämistä. Satelliittipohjainen metsäpalojen havainnointi, säätiedot, vesialueen öljyvahingot, myrskyvahingot, tulvat, paikkatietoaineistot ja metsävaratiedot ovat kaikki keskeisiä elementtejä, jotka tukevat pelastustoiminnan prosesseja ja niiden hoitamista. Näiden tietojen avulla voidaan parantaa tilannekuvaa ja tehostaa pelastustoimen operatiivista toimintaa.

Kaukokartoitusaineisto hankitaan useista lähteistä. Ilmakuvat saadaan Maanmittauslaitokselta. Säättietojen hankinnassa hyödynnetään Ilmatieteen laitoksen palveluita. Laajempien alueiden ilmakuvaukseen käytetään Puolustusvoimien ja Rajavartiolaitoksen lennokki- ja lentokonekalustoa. Organisaation omassa toiminnassa käytetään droonikalustoa ja pienlentokoneita, joilla tuotetut still- ja videokuvat ovat tärkeitä. Lisäksi yhteistyö muiden viranomaisten ja vastuullisten yksityisten toimijoiden kanssa on tärkeää aineiston hankinnassa.

Kaukokartoitusaineistojen käytön laajentamiseen liittyy useita rajoitteita. Yksittäisen tiedostojen koko ja aineiston kokonaistilavuus voivat aiheuttaa haasteita niiden siirtämisessä TUVE-verkossa ja mobiilikäytössä. Lisäksi rahoitus, työajan käyttö ja osaamisvaatimukset voivat rajoittaa aineistojen hyödyntämistä suhteessa saavutettaviin lisähyötyihin. Yhteiskunnan kriittisen infran ja toimintojen tulee olla riittävän hyvin suojattuja, ja aineistojen julkaiseminen vaatii tarkkaa harkintaa. Viranomaistoiminnassa aineistojen tulee olla vapaasti hyödynnettävissä palvelujen kehittämiseen.

Ilmasta kerättyä kaukokartoitusaineistoa ei ole helppoa korvata muilla menetelmillä tai aineistoilla. Vaikka osa aineistosta voisi olla korvattavissa satelliittikuvilla, jos ne olisivat kohtuuhintaisia, ei tämä ole aina tarkoituksenmukaista. Suunnitteluvaiheessa kartta-aineisto voi osittain korvata kaukokartoitusaineiston, mutta operatiivisessa vaiheessa henkilöstön suorittama tiedonhankinta, tarkkailu ja raportointi ovat välttämättömiä.

Fyysinen havainnointi ja erilaisten optiikoiden käyttö voisivat osittain korvata kaukokartoitusaineiston, mutta eivät täysin. Poliisin karttatuotanto tukeutuu vain kotimaisiin palveluihin. Käytössä on esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen sääportaalin tiedot sekä ilmakuvaukset, jossa voidaan omien kuvausten lisäksi tukea Puolustusvoimien ja Rajavartiolaitoksen suorituskykyyn. Toiminta ei ole tuotannon muissakaan vaiheissa riippuvainen ulkomaisista palveluista, vaan kotimaiset palvelut tukevat toimintaa riittävästi.

Poliisi- ja pelastushallitus tutkii aktiivisesti mahdollisuuksia hyödyntää erityisesti satelliittiaineistoja eri käyttötarkoituksiin. Toimialalla on tunnistettu useita potentiaalisia sovelluskohteita. Näitä ovat muun muassa säteily- ja kemikaalimitaukset, liikenne- ja ihmisvirtojen analysointi sekä etsintä- ja pelastamistehtävien tehostaminen kaukokartoituksen avulla. Rakennetun ympäristön 3D-mallintaminen on yksi keskeinen alue, jossa uudenlaisten kaukokartoitusaineistojen käyttöä suunnitellaan. Tämä mahdollistaisi tarkempien ja ajantasaisempien mallien luomisen, mikä tukisi sekä operatiivista toimintaa että strategista suunnittelua. Vaikka virallisia päätöksiä käyttöönotosta ei ole vielä tehty, tunnustetaan teknologian potentiaali ja sen tuomat hyödyt.

5.9 Infrastruktuuripalvelut ja kaupunkisuunnittelu

Erilaisten kaukokartoitusaineistojen käytössä infrastruktuuripalveluissa ja kaupunkisuunnittelussa on pitkä historia. Toimialalla hyödynnetään erityisesti maanmittauslaitoksen ja yksityisten yritysten lentokoneella kuvaamia optisia ilmakuvia ja laserkeilausaineistoja. Ilmakuvia käytetään muun muassa kaupunkisuunnittelussa, ympäristön tilan seurannassa, ympäristö- ja rakennusvalvonnassa, kartoituksessa sekä metsävarojen arvioinnissa. Laserkeilausaineistojen avulla tuotetaan ja ylläpidetään 3D-kaupunkimalleja. Niitä hyödynnetään myös infrastruktuurisuunnittelussa ja -rakentamisessa, kuten massojen laskennassa. Osa kunnista hyödyntää drooneja maastomittauksiin, 3D-kaupunkimallien ylläpitoon ja infrastruktuurihankkeiden tukemiseen sekä edullisempia drooneja viestintätarkoituksiin, kuten tapahtumien kuvaukseen.

Kaukokartoitusmenetelmät ovat strategisesti merkittäviä kunnille, koska ne mahdollistavat tarkan ja ajantasaisen tiedon keräämisen laajoilta alueilta. Tämä tieto on kriittistä kaupunkisuunnittelun, ympäristön seurannan ja infrastruktuurin kehittämisen kannalta. Aineistoja käytetään suunnittelussa hyvin monipuolisesti. Esimerkiksi Helsingin kaupunki hyödyntää 3D-kaupunkimalleja lentoreittien suunnittelussa.

Kaukokartoitusmenetelmät tarjoavat monia hyötyjä kunnille. Ne tehostavat tiedonkeruuta ja parantavat hankkeiden seurantaan. Ortoilmakuvista voidaan havaita kriittiseen infrastruktuuriin, kuten sähkönjakeluun, liittyviä kohteita. Toistuvat kuvaukset paljastavat alueiden ja infrastruktuurin kehityksen ja tilannekuvan. Lisäksi droonien käyttö mahdollistaa tarkkojen ja reaaliaikaisten tietojen keräämisen, mikä on hyödyllistä esimerkiksi kuntien omistamien metsien suunnittelussa, esim. virkistysalueiden kehittämisessä ja metsätuhojen hallinnassa.

Satelliittiaineistoja ei kuntasektorilla käytetä yllä mainittujen sektoreiden ulkopuolella kovinkaan laajasti. Haasteet ovat samankaltaisia kuin muillakin sektoreilla: Monet kunnat kamppailevat taloudellisten vaikeuksien kanssa, mikä rajoittaa investointeja uusiin teknologioihin ja aineistoihin. Kuntien budjetit ovat usein tiukkoja, ja resurssit kohdennetaan ensisijaisesti välttämättömiin palveluihin, mikä tekee kaukokartoitusaineistojen laajamittaisesta käytöstä haastavaa. Lisäksi kaukokartoitusaineistojen hyödyntäminen vaatii erityisosaamista ja teknistä tietämystä, jota kaikilla kunnilla ei välttämättä ole, mikä johtaa aineistojen vähäiseen käyttöön. Myös kehittyneiden ohjelmistojen ja laitteistojen puute vaikeuttaa aineistojen käsittelyä ja analysointia, mikä tekee niiden hyödyntämisestä hankalaa ja kallista. Kunnat eivät toistaiseksi ole kriittisesti riippuvaisia kaukokartoitusmenetelmistä, vaikka niiden on tunnistettu helpottavan tiedonsaantia ja tehostavan hankkeita merkittävästi.

6. Kaukokartoitus kriittisten toimintojen turvaajana

6.1 Kaukokartoituksen rooli kriisiajan johtamisessa

Kaukokartoituksella voi poikkeusoloissa olla erilainen rooli kuin normaalisti. COVID-19 pandemian aikana läntiset yhteiskunnat kokivat poikkeuksellisen koko yhteiskuntaa koskevan kriisin. Yhteiskunnan normaali-toiminnot muuttuivat ja tiedon kerääminen muutoksista oli joissain tilanteissa kätevintä tehdä kaukokartoitusmenetelmillä. Sen lisäksi että se oli tietyissä tilanteissa toiminnallisesti paras, niin se oli myös helppoa toteuttaa liikkumisrajoitusten aikana.

Society and Environment lehdessä julkaistussa tutkimuksessa havaittiin, että kaukokartoitustiedot ovat poikkeusoloissa arvokkaita monille toimijoille, kuten päätöksentekijöille hallinnon eri tasoilla, terveysviranomaisille, humanitaarisille järjestöille, katastrofivalvontayksiköille, kaupallisille yrityksille sekä ilmasto-, ympäristö- ja muilla aloilla työskenteleville tutkijoille ja taudin leviämistä tutkiville epidemiologeille [5].

Kaukokartoituksella seurattiin esimerkiksi jokien lämpötilojen muutoksia, jotka indikoivat teollisuustuotannon muutoksia. Sataman täyttöasteet indikoivat vastavasti kalastuksen statusta. Kaukokartoitusaineisto oli usein osa laajempaa paikkatietoanalyysiä, missä muina lähtötietoina olivat esimerkiksi ilmanlaadun muutokset ja valosensorit.

Tutkijat huomauttivat, että kaukokartoitus ei ole "hopealuoti", joka ratkaisee kaikki tiedon puutteet. Tämä johtuu osittain siitä, että monet kuvatut menetelmät ovat edelleen uusia, eikä satelliiteista pääteltyjen indikaattoreiden ja niiden edustamien todellisten ilmiöiden välistä suhdetta ole tutkittu riittävästi. Esimerkiksi muutos kauppakeskusten läheisyyteen pysäköityjen autojen määrässä viittaa taloudellisen toimeliaisuuden muutoksiin, mutta tarkka määrällinen suhde on vielä selvittämättä. Monissa sovelluksissa kaukokartoituskuvat voivat vain arvioida muuttuvia olosuhteita, mutta eivät voi suoraan mitata kiinnostavia muuttujia, kuten maatalouden tuotoksia, työpaikkojen menetystä tai talouskasvun todellisia muutoksia. Kaukokartoitusta

tulisi ilman perusteellista tutkimusta pitää täydentävänä tietolähteenä, jota voidaan käyttää synergistisesti muiden vakiintuneiden mittausmenetelmien kanssa kohdistettujen indikaattoreiden saamiseksi. Tutkijat kuitenkin huomauttivat, että kaukokartoitus on parhaimmillaan erittäin hyödyllinen työkalu eri sovelluksissa, erityisesti katastrofitilanteissa, kuten COVID-19-pandemian aikana nähtiin.

6.2. Toimialakohtaiset näkökulmat

Alla olevaan kaavioon on koottu toimialoittain yhteenveto kaukokartoituksen potentiaalisista sovelluksista kriisiaikoina.

Maatalous

- Kaukokartoitusta voidaan käyttää erilaisten kriisien maatalousmaille aiheuttamien vahinkojen arvioinnissa, mikä auttaa suunnittelemaan toipumis- ja kuntoutustoimia. Lisäksi kriisien aikana ruokahuollon ennustettavuuden merkitys korostuu, joten jo rauhan aikana tehtävä kasvuston terveyden seuranta ja satoennusteet muodostuvat aiempaa tärkeämmiksi [6].

Liikenne

- Kuljetusverkostojen seuranta auttaa ylläpitämään toimitusketjuja ja varmistamaan erityisesti kriittisten kuljetusten perillemenon. Liikenneverkostoon voi kohdistua kriisiaikoina muutoksia monista syistä. Teiden, siltojen ja muun kriittisen infrastruktuurin vahinkoja voidaan arvioida kaukokartoitustiedoilla, mikä auttaa korjausten suunnittelussa ja liikenteen uudelleenohjauksessa. Liikenneinfrastruktuurin seurannassa korostuu eri sensorilähteistä saatavien tietojen yhdistäminen ja edistynyt analytiikka (esim. drooneilla tehtävä optinen kuvaus ja laserkeilaus yhdistetään tutkasatelliiteista saatavaan aineistoon) [7].

Infrastruktuuri ja kaupunkisuunnittelu

- Kaukokartoituksella on tärkeä rooli laajemminkin infrastruktuurin hallinnassa kriisien aikana [8]. Se auttaa nopeasti tunnistamaan ja arvioimaan infrastruktuurille aiheutuneet vauriot ja priorisoimaan korjaustyöt. Oikein käytettynä kaukokartoitus auttaa ennakoivien suojoitoimenpiteiden suunnittelussa. Kriisinhoidon aikana se auttaa kohdentamaan resursseja tehokkaasti tunnistamalla eniten kärsineet alueet ja vahinkojen laajuuden. Liikenneinfrastruktuurin uudelleen suunnittelua hyödynnetään evakuointisuunnittelussa. Kriisivaiheen päätyttyä kaukokartoituksella voidaan seurata elpymisen edistymistä ja infrastruktuurin uudelleen rakentamista.

Ilmasto ja ympäristö

- Kaukokartoituksella voidaan seurata erilaisten kriisien ympäristövaikutuksia, kuten saastumista ja elinympäristöjen tuhoutumista, ja auttaa suunnittelemaan suoje-lutoimia. Maan käytön ja elinympäristöjen muutosten seuranta voi auttaa suojelemaan uhanalaisia lajeja ja ekosysteemejä. Kauko-kartoitus voi olla osa varsin monimutkaista vaikutusten arviointia [9].

Hätätilanteiden hallinta

- Kaukokartoitusaineistolla voidaan hätä-tilanteissa täydentää kenttähenkilöstön käyttämää tilannekuvaa ja ennustaa palon ja savun leviämistä (perustuen esim. tuulimal-leihin ja maaperän kosteustietoihin) [10].

Metsätalous

- Metsätaloudessa, etenkin syvemmän kriisin aikana, satelliittikaukokartoituksen rooli oletettavasti kasvaisi. Kriisin aikana tarvitaan entistä nopeammin tietoa uudeltaisista muutoksista metsävaratiedoissa ja toisaalta kriisillä saattaa olla vaikutuksia puutavaran kysynnälle. Muutoksista erityisesti metsä-palon riskin voidaan olettaa kasvavan ja jos metsään kohdistuu kovaa käyttöpainetta tai sitä vahingoitetaan, niin myös tuholaisriskit kasvavat. Näiden seuraamiseen satelliittikaukokartoitus on erityisen sopiva [11].

6.3. Investoinnit kaukokartoitukseen

Investoinnit teknologiaan voivat merkittävästi parantaa yhteiskunnan keskeisten prosessien resilienssiä. Teknologian avulla voidaan kehittää ja ottaa käyttöön edistyneitä järjestelmiä, jotka parantavat kriittisten infrastruktuurien toimintavarmuutta ja joustavuutta. Esimerkiksi automaatio ja tekoäly voivat ennakoita ja reagoida nopeasti häiriötilanteisiin, mikä vähentää toimintakatkoksia ja parantaa palveluiden jatkuvuutta. Lisäksi digitaalisten työkalujen ja alustojen hyödyntäminen tehostaa viestintää ja koordinoitua, mikä on olennaista kriisitilanteissa. Näin ollen teknologiaan nyt tehtävät investoinnit eivät ainoastaan paranna nykyhetken operatiivista tehokkuutta, vaan voivat myös vahvistaa yhteiskunnan kykyä selviytyä ja toipua odottamattomista haasteista. Digitaaliset teknologiat parantavat kriittisten prosessien ja infrastruktuurin ilmasto-resilienssiä tarjoamalla nopean ja tarkan arvion toiminnan ja omaisuuden kunnosta sekä tukemalla päätöksentekoa ja sopeutumista [12]. Toisaalta monet nykyiset järjestelmät ovat alttiimpia systeemisille iskuille ja ketjureaktioille, koska niiden käytännöt painottavat liikaa järjestelmän tehokkuutta resilienssin kustannuksella.

Tästä hyvänä esimerkkinä oli COVID-19 aikainen logis-tiikan kriisi. Huippuunsa viritetty varastojen optimointi, joka keskittyy kustannusten minimointiin ja toimitus-varmuuden maksimointiin, oli osasyynllinen logistiikan kriisiin vuosina 2020–2022. Monet yritykset olivat optimoineet varastonsa niin tiukasti, että niillä ei ollut riittävästi joustovaraa reagoida yllättäviin muutok-siin kysynnässä ja toimitusketjuissa. Kun pandemia ja muut häiriöt, kuten Suezin kanavan tukkeutuminen, aiheuttivat odottamattomia viivästyksiä ja kysynnän vaihteluita, yritykset eivät pystyneet nopeasti sopeu-tumaan tilanteeseen. Tämä johti varastovajeisiin ja toimitusongelmiin, jotka pahensivat logistiikan kriisiä entisestään. Muutoskykyisimmät järjestelmät voivat olla hieman vähemmän tehokkaita, mutta ne toipuvat paremmin systeemisistä häiriöistä. Muutoskyvyn ja krii-sinkestävyyden huomioiminen rakentaminen ei tarkoita kokonaan tehokkuuden hylkäämistä, vaan pikemminkin järjestelmien pitkän aikavälin kestävyuden maksimoi-mista tulevien häiriöiden edessä. Uudet teknologiat mahdollistavat toimijoille uudenlaisia keinoja kommu-nikoida, visualisoida erilaista tietoa ja olla laajasti vuoro-vaikutuksesta koko ekosysteemin kanssa [13].

Näistä syistä myös tässä selvityksessä haluttiin selvittää kaukokartoitusteknologiaan tehtyjä investointeja. Vaikka siitä ei toki voi varmasti päätellä, että investoinnit kohdistuvat parantamaan prosessien häiriön kestävyyttä, niin selvityksessä oletetaan jonkinlaista relaatiota investointien ja resilienssin välille.

Kaikki sektorit olivat tehneet investointeja osaamiseen. Osaamista on kerrytetty sekä omaan organisaatioon, että valituille kumppaneille. Osa organisaatioista on kartuttanut syvällistä tietotaitoa tekemällä kansainvälistä huippututkimusta. Osaamisen kasvattaminen on yksi tärkeä osa resilienssiä. Pelkästään valmiiden tulosten hyödyntäminen ei mahdollista muutosvalmiutta, joka voi johtua sekä aineistojen puutteista että prosessien ja palveluiden muutoksista. Muita selkeästi isompia ja konkreettisempia investointeja kaukokartoitukseen ovat tehneet Ilmatieteen laitos ja Maanmittauslaitos. Organisaatiot ovat tehneet investointeja sekä alla kuvattuun fyysiseen infrastruktuuriin että osittain sen avulla tehtyyn tutkimukseen.

Ilmatieteen laitos on tehnyt merkittäviä investointeja satelliittivastaanottoon, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen ja tarkan datan keräämisen ilmakehän ja maanpinnan tilasta:

- **Satelliittivastaanottoasema Sodankylässä:**

Keskeisessä roolissa globaalin sää- ja ilmastotiedon keräämisessä ja analysoinnissa. Aseman avulla saadaan arvokasta tietoa muun muassa ilmanlaadusta, otsonikerroksen tilasta ja ilmastomuutoksen vaikutuksista.

- **Maanpäällinen kaukokartoituksen referenssiverkosto:** Koostuu useista mittausasemista, jotka tarjoavat tarkkaa ja luotettavaa dataa maankäytöstä, kasvillisuudesta ja ilmastomuutoksen vaikutuksista. Esimerkiksi Sodankylä-Pallas mittausasema on avainasemassa erityisesti kaukokartoitusdatasta jalostettavien mallinnustuotteiden kehittämisessä. Tämä verkosto tukee satelliittihavaintoja ja auttaa parantamaan ilmastomallien tarkkuutta.

- **Uudet satelliittihankkeet:** Osallistuminen uusin satelliittihankkeiden suunnitteluun lisää osaamista ja resursseja kaukokartoitukseen. Näiden hankkeiden avulla kehitetään innovatiivisia menetelmiä, jotka yhdistävät erilaisia havaintosarjoja arktisen ilmastomuutoksen mallinnuksessa. Uudet satelliitit mahdollistavat entistä tarkemman ja kattavamman datan keräämisen, mikä on olennaista ilmastomuutoksen vaikutusten ymmärtämisessä ja ennustamisessa.

- **OMI-mittalaite (Ozone Monitoring Instrument):** Yksi tärkeimmistä Ilmatieteen laitoksen hallinnoimista instrumenteista, joka mittaa otsonin määrää ilmakehässä. Tämä laite on osa kansainvälistä yhteistyötä, jossa Ilmatieteen laitos vastaa mittausten hallinnasta. OMI-mittalaite tuottaa arvokasta dataa, joka auttaa seuraamaan otsonikerroksen tilaa ja sen muutoksia, mikä on kriittistä ympäristön ja ihmisten terveyden kannalta.

- **Datan ja arkistoinnin kehittäminen:** Kerätty data tallennetaan ja arkistoidaan huolellisesti, jotta se on saatavilla tulevaisuuden tutkimuksia ja analyysyjä varten. Tämä varmistaa, että historiallinen data on käytettävissä ilmastomuutoksen pitkän aikavälin vaikutusten tutkimiseen.

- **Droonit:** Yhä tärkeämpi osa Ilmatieteen laitoksen kaukokartoitusstrategiaa. Niiden avulla voidaan kerätä tarkkaa ja ajantasaista dataa vaikeapääsyisiltä alueilta, kuten arktisilta alueilta ja tiheistä metsistä. Droonit täydentävät satelliitti- ja maanpäällisiä havaintoja, tarjoten monipuolista ja kattavaa tietoa ympäristön tilasta ja muutoksista.

Myös Maanmittauslaitos on tehnyt merkittäviä investointeja kaukokartoitusteknologiaan ja -infrastruktuuriin. Monien miljoonien eurojen investoinnit kuvastavat sitoutumista kaukokartoituksen kehittämiseen. Tässä investoinnin eri osa-alueet:

- **Oma lentokone, laserkeilain ja ilmakuvajärjestelmä:** Mahdollistavat tarkan ja kattavan maastotiedon keräämisen. Vuokrakone täydentää omaa kalustoa ja lisää joustavuutta operaatioihin.

- **Aineiston prosessointi ja varastointi:** Tapahtuu Maanmittauslaitoksen omissa tiloissa, mikä varmistaa ajantasaisen ja luotettavan datan.

- **CSC:n tarjoamat lisäresurssit ja -kapasiteetti:** Julkishallinnon yhteinen pistepilvialueiston laskenta- ja prosessointiympäristö tehostaa datan käsittelyä ja analysointia.

Erityisesti Maanmittauslaitos ja Ilmatieteen laitos, mutta osittain myös muut valtion organisaatiot ovat investoineet myös alan tutkimukseen. Jatkuvat investoinnit ja osaamisen kehittäminen ovat välttämättömiä, jotta voidaan vastata muuttuviin haasteisiin ja hyödyntää kaukokartoituksen tarjoamia mahdollisuuksia täysimääräisesti erilaisissa tilanteissa.

7. Kriittisen huoltovarmuustiedon avoimuus kaukokartoituksessa

Julkinen kaukokartoitusaineisto on yhteiskunnallisesti hyödyllinen, mutta samalla se tuo mukanaan riskejä. Kaikkea, mitä voi käyttää hyvään, voidaan käyttää myös pahaan. Tärkeintä on ymmärtää riskit ja minimoida ne, joista on suurin haitta. Yhteistyötä vaaditaan yhteiskunnan kaikkien osien kanssa. Yleisesti kyselyn vastauksissa todettiin, että periaatteessa riski kaukokartoitusaineiston väärinkäyttämiseen on olemassa, mutta se kohdistuu enemmän oman toimialan ulkopuolisiin kohteisiin. Julkisesti saatavilla olevien kaukokartoitusaineistojen avulla on mahdollista tunnistaa eri toimialoilla olennaista infrastruktuuria, kuten suuria tuotantolaitoksia. Vaikka tämä voi aiheuttaa riskejä, harvoin tuotanto on kuitenkaan kriittisesti riippuvainen yhdestä kohteesta. Tämä vähentää selvästi mahdollisuutta aiheuttaa merkittävää haittaa pistemäisellä toiminnalla.

Kriittistä infrastruktuuria ovat esimerkiksi erilaiset laitokset (ml. tutkimuslaitokset), kuljetusvälineet ja laitteet, jotka ovat hajallaan ympäri maata. Tietynlainen riski voi kohdistua näihin, jos niiden sijainnit saadaan selville kaukokartoituksen avulla. Kriittistä infrastruktuuria ei kuitenkaan voi tunnistaa pelkästään kaukokartoitusaineistojen pohjalta. Lisäksi on hyvä huomata, että suurin osa oleellisesta siviili-infrastruktuurista on sellaista, että tiedot niiden sijainnista ovat muutenkin julkisesti saatavilla, tai niiden sijainnin tiedon saatavuus ei muodosta riskiä toiminnalle.

Vaikka kaukokartoitustieto ei usein yksinään olekaan riittävä tietolähde kriittisen toiminnan tai infrastruktuurin tunnistamiseen, niin kaukokartoitustiedoilla voidaan kuitenkin täydentää muuten saatavilla olevia tietoja. Alla on esimerkki potentiaalisista toiminnoista, joilla voidaan kerätä lisätietoa kriittisestä infrastruktuurista ja toiminnoista:

- Kootaan satelliittikuvat, mahdollisesti hyvin tarkalla resoluutiolla, ja yhdistetään julkisesti saatavilla oleviin tietoihin, kuten karttoihin, infrastruktuurisuunnitelmiin ja julkisesta infrastruktuurista avoimena datana saatavilla oleviin tietoihin. Tämä koonti auttaa luomaan kattavan yleiskuvan kriittisestä infrastruktuurista.

- Paikkatietoanalyysillä voidaan täydentää lähtötietoja ja löytää kriittisen infrastruktuurin keskittymiä ja erilaisia solmukohtia.

- Satelliittikuvien mahdollistamalla seurannalla ja aikasarjoilla voidaan seurata muutoksia ja toimintaa. Näin voidaan tunnistaa esimerkiksi huoltotoimintojen tiheyttä, turvallisuuteen liittyvää valvontaa ja muita ihmisen läsnäoloon liittyviä aktiviteetteja.

- Yhdistämällä edellä mainittu kokonaisuus erilaisilla ja tasoisilla hakkeroinneilla hankittuihin tietoihin voidaan saada arvokasta lisätietoa kriittisen infrastruktuurin toimintatilasta ja turvallisuusprotokollista. Hakkeroinnin kokonaisuuteen on hyvä lukea myös avoimen lähdekoodin tiedustelu (OSINT) sosiaalisesta mediasta, uutisraporteista ja julkisista tiedoista voidaan yhdessä satelliittitietojen kanssa tietojen tarkkuuden varmistamiseksi ja parantamiseksi.

- Tässä kaikessa voidaan hyödyntää kehittyneitä koneoppimismalleja, joilla voidaan käsitellä ja analysoida valtavia määriä tietoa sekä satelliittikuvista että muista lähteistä. Nämä teknologiat voivat tunnistaa kuvioita ja poikkeavuuksia, jotka ihmisanalytikoilta saattaisivat jäädä huomaamatta.

- Yhdistämällä nämä erilaiset tietolähteet voidaan saada yksityiskohtaisia tietoja kriittisen infrastruktuurin haavoittuvuuksista ja toimintatilasta.

Suomessa on yhteiskunnan avoimuuden ja tehokkuuden nimissä julkistettu paljon aineistoa yhteiskunnallisesti kriittisestä infrastruktuurista. Nykyinen hallitus on hallitusohjelmassaan tunnistanut tähän liittyvän huolen "Suomi varautuu hybridiuhkiin ennakoivasti. Hallitus uudistaa kansallisen kyber-turvallisuusstrategian vastaamaan muuttunutta

toimintaympäristöä. Kriittisen infrastruktuurin tietojen avoin jakaminen arvioidaan uudelleen huomioiden kansallinen turvallisuus” [14]. Tavoitteena on löytää tasapaino yhteiskunnan toimivuuden ja kansallisen turvallisuuden välillä tietojen julkisuuden osalta. Satelliittikaukokartoituksen osalta millään valtiolla, edes Yhdysvalloilla, ei ole tosiasiallista mahdollisuutta rajoittaa kriittisen infrastruktuurin kuvaamista ja sen saattamista julkiseen levitykseen. Valtiot voivat kontrolloida omien kansallisten organisaatioiden ja yritystenkin toimintaa lähinnä luvanvaraisuuteen perustuvien toimien kautta, mutta muiden maiden toimintaan ei ole mahdollista vaikuttaa.

Selvityksen perusteella organisaatiot eivät vielä kokeneet suurta huolta oman organisaationsa kriittisen infrastruktuuritiedon leviämisestä kaukokartoituksen kautta. Suomalainen yhteiskunta on varsin avoin ja suurin osa tiedoista on joka tapauksessa jo saatavilla.

8. Tulevaisuus

Maailman talousfoorumin (WEF) julkaisemassa tutkimuksessa arvioidaan, että pelkästään satelliittikaukokartoitustietojen yhteiskunnalle tuottama potentiaalinen lisäarvo on 266 miljardia dollaria vuonna 2023 [15]. Tämän arvon odotetaan kasvavan yli 700 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä, jolloin kumulatiivinen vaikutus globaaliin bruttokansantuotteeseen (BKT) vuosina 2023–2030 on 3,8 biljoonaa dollaria. Noin 94 % mahdollisesta kokonaisarvosta vuoteen 2030 mennessä tulee sovelluksista maataloudessa, sähkö- ja hyödykepalveluissa, julkisen sektorin prosesseissa ja palveluissa, hätäpalveluissa, vakuutus- ja rahoituspalveluissa, kaivosteollisuudessa, öljy- ja kaasuteollisuudessa sekä toimitusketjuissa ja kuljetuksessa. On kuitenkin syytä huomata, että markkinatutkimuksia viimeisten kahden vuosikymmenen ajalta on yleistä löytää optimistisia näkymiä kaukokartoitusteollisuuden kehittymisestä. Kaukokartoituksen kyky vastata yhä useampiin tärkeisiin kysymyksiin antaa vaikutelman, että ala on lähestymässä kasvun käännekohtaa. Erityisesti tarjontapuolen näkymät ovatkin pääosin positiivisia: uudet kaukokartoitussatelliitit, edistyneet sensorit ja nopeasti kasvavat laskentakyvvykkydet mahdollistavat kaukokartoitustietojen hyödyntämisen kasvun. Kuitenkin kaukokartoituksen potentiaaliiseen kysyntään vastaaminen on edelleen haaste. Keskeisiä esteitä ovat rajallinen tietoisuus kaukokartoitussovelluksista, erikoistuneen osaamisen puute, hajanaiset standardit ja vaikeudet tunnistaa omiin käyttötarkoituksiin lisäarvoa tuottavat palvelut monimutkaisilla kaukokartoitusmarkkinoilla. Asiantuntijoiden näkemykset kaukokartoitusteollisuuden tulevaisuudesta ovat kuitenkin hyvin optimistisia. Erityisesti tekoälyn uskotaan tarjoavan hyvän pohjan palveluiden tuottamiselle ja käytön laajentumiselle. Kehittyvien tekoälymallien odotetaan paitsi tehostavan valtavien aineistojen analysointia, myös mahdollistavan uusia tapoja ei-ammattilaisille tunnistaa uusia käyttötarkoituksia. Mikäli kaukokartoitusteollisuuden yhteiskunnalle tuottama lisäarvo kolminkertaistuu, on syytä olettaa, että yhteiskunnan riippuvuus siitä kasvaa.

Monipuolinen erilaisten kaukokartoitusmenetelmien hyödyntäminen on edelleen varsin vähäistä. Esimerkiksi Tutkadataa käytettiin rajoitetusti. Tutkadatalla olisi merkittäviä potentiaalisia sovelluksia Suomelle tärkeissä metsä- ja maataloudessa esimerkiksi metsärakenteen, lehtialan indeksin, latvuston alapuolisen pintaveden sekä lumen ja jään karakterisoinnissa [6]. Sen toistaiseksi vähäinen käyttö voi johtua aiemmista palveluntarjoajista (esim. RADARSAT-2, ALOS-2/4), jotka keräsivät dataa vain tilauksesta. Copernicus-ohjelman Sentinel-1 on ensimmäinen tutkasatelliitti,

jonka keräämä aineisto on saatavilla ilmaiseksi ja kattavasti. Tarjolle on kuitenkin tullut ja on tulossa paljon uusia kaupallisia ja ilmaisia tutkasatelliitteja. Samoin hyperspektridataa on käytetty rajoitetusti. Suurin osa tähän mennessä kerätystä hyperspektridatasta (esim. Nasan Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer [AVIRIS] tai Nasan Hyperion [poistettu käytöstä vuonna 2017]) on kerätty vain tilauksesta, mikä on johtanut rajoitettuun kattavuuteen. Italian avaruusjärjestön vuonna 2019 laukaisema PRercursores IperS-pettrale della Missione Applicativa (PRISMA) sekä kaksi saksalaista hyperspektrisatelliittitehtävää—DLR Earth Sensing Imaging Spectrometer (DESI, laukaisu vuonna 2018) ja Environmental Mapping and Analysis Program (EnMAP, laukaisu vuonna 2022) - tarjoavat lisälähteitä hyperspektridatalle. Näiden lisäksi markkinoille on tulossa kaupallisia satelliitteja esim. Suomalainen KuvaSpace on kehittämässä sadan satelliitin järjestelmää, joista ensimmäinen saatiin kiertoradalle elokuussa 2024 [16]. On odotettavissa, että erityisesti ympäristön seurannassa ja maatalouden eri sovelluksissa hyperspektridatan käyttö lisääntyy.

Koneoppimismenetelmiä käytetään kasvavassa määrin toistuvien kuvien ja luokittelujen löytämiseen kaukokartoitus- ja paikkatiedoista. Tämä tekoälyn haara on erittäin sopiva ja houkutteleva kaukokartoitustietojen analysointiin ja tulkintaan, koska se tarjoaa menetelmiä, jotka voivat ”oppia” datasta, tunnistaa kaavoja ja tehdä päätöksiä vähäisellä ihmisen puuttumisella. Tällä hetkellä organisaatioiden tuottamien analyysien laatu on todella riippuvainen maastosta kerätystä opetusdatasta. Suomessa olosuhteet vaihtelevat niin paljon, että opetusaineistoja tulee olla todella paljon ja vanhojen opetusaineistojen käyttäminen ei tuota laadukkaita tuloksia.

Yhteiskunnallisesti merkittävin kaukokartoitusaineisto on Maanmittauslaitoksen tuottama laserkeilaus- ja ilmakeilaus-aineisto. Ilmakeilaus-aineiston korvaaminen satelliittiaineistolla on helpompaa, mutta toistaiseksi ei ole näköpiirissä vielä satelliitteja, joiden laserkeilausten tarkkuus vastaisi millään tavalla nykyisin käytettyjen analyysien tarkkuusvaatimuksia.

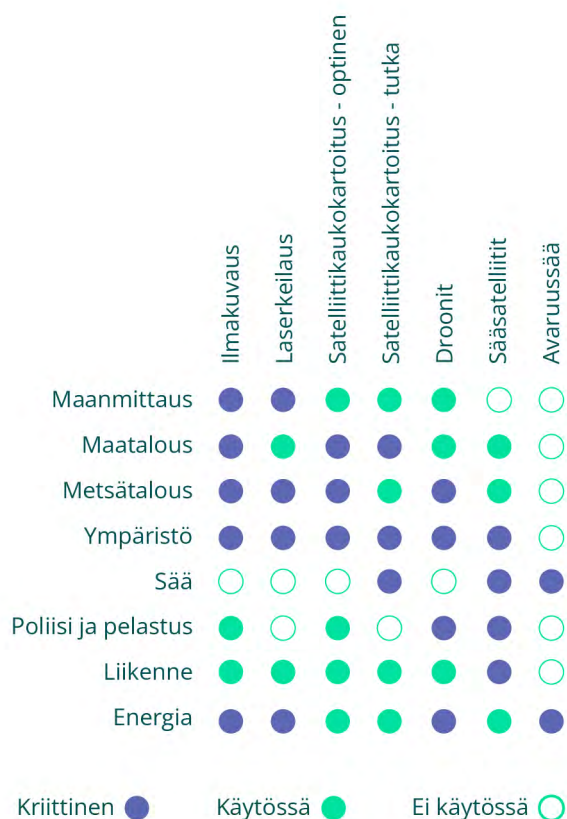
Ilmaston muutoksen seurauksena suuret ja äärimmäiset sääilmiöt ovat yleistyneet ja voimistuneet. Muutos yhdessä eksponentiaalisen väestönkasvun ja väestörakenteen muutosten (esim. kaupungistuminen ja rannikkoalueiden väestönkasvu) kanssa, lisäävät vaarallisten sääilmiöiden yhteiskunnalle ja taloudelle haitallisia vaikutuksia. Kaupungistuminen ja muuttuva globaali talous ovat myös lisänneet tarvetta

tarkemmille, alle kilometrin resoluutiolla tuotettaville ennusteille sekä häiritsevistä että hyödyllisistä sääilmiöistä. Teknologiset innovaatiot johtanevat erityisesti yksityisten sääpalveluyritysten kasvavaan rooliin. Sääennusteiden tarkkuutta parantaa ja ennusteiden aikajännettä pidentävät samat ajurit kuin kaukokartoituksen kehittymistä ylipäättään: kehittyvä laskentakapasiteetti, parantuvat algoritmit ja tekoälyn monipuolinen hyödyntäminen. [17]

9. Yhteenveto

Kaukokartoituksen merkitys yhteiskunnassa on kasvanut merkittävästi, sillä monilla sektoreilla on kriittisiä prosesseja, jotka ovat siitä riippuvaisia. Tämä riippuvuus voi johtua operatiivisen toiminnan tehokkuusvaatimuksista tai sääntelyvaatimuksista, ja molemmissa tapauksissa vaikutukset voivat olla laajoja ja merkittäviä. Usein kriittisyys johtuu siitä, että vastaavaa laaja-alaista seurantaa ei voida toteuttaa yhtä kustannustehokkaasti tai laadukkaasti muilla menetelmillä. Kaukokartoitukseen kohdistuu suuria odotuksia, mutta niin on toisaalta ollut jo pitkään. Näihin odotuksiin ei kuitenkaan ole vielä täysin pystytty vastaamaan. Kaikki merkit viittaavat joka tapauksessa siihen, että kaukokartoituksen merkitys tulee kasvamaan tulevaisuudessa.

Kaavio 4. Yhteenveto kaukokartoitusmenetelmien käytöstä sektoreittain



Kaavioon 4 on koottu yhteenveto eri sektoreiden kaukokartoitusmenetelmien käytöstä ja niiden kriittisyydestä. Tämä auttaa hahmottamaan, mitkä menetelmät ovat välttämättömiä kullekin sektorille ja missä määrin eri teknologioita hyödynnetään.

Kaukokartoitusaineistojen käyttö eri sektoreilla osoittaa niiden monipuolisuuden ja tärkeyden. Yhteenvetona voidaan todeta, että ilmakuvaus, laserkeilaus ja satelliittikaukokartoitus (optinen ja tutka) ovat laajasti käytössä useilla sektoreilla, ja niiden kriittisyys vaihtelee soveluksen mukaan. Droonit ja sääsatelliitit ovat myös merkittäviä työkaluja erityisesti ympäristö-, metsä- ja pelastussektoreilla. Huomionarvoista on, että ympäristösektorilla kaikki mainitut menetelmät ovat kriittisiä, mikä korostaa kaukokartoituksen merkitystä ympäristön seurannassa ja suojelussa.

9.1 Suositukset

Kirjallisen kyselyn ja haastatteluiden perusteella on alle koostettu suosituksia koskien kaukokartoitustiedon käyttöä yhteiskunnassa. Suositukset perustuvat suoraan kyselyistä ja haastatteluista saatuihin kommentteihin. Niitä ei siis ole päätelty asiakastarpeiden perusteella.

- Satelliittiaineistojen hankintaan ja jakelun pitäisi perustaa vastaava kansallinen yhteistyömalli kuin Kallio-ilmakuvayhteistyö. Tutkimus- ja kehitystyön näkökulmasta avoimet aineistot kuten Copernicus- ohjelman tuottamat aineistot ovat ensiarvoisen tärkeitä, mutta kaupallisten ja analysoitujen aineistojen joustava saatavuus olisi tärkeää.
- Suomessa tulee varmistaa riittävä osaaminen ja infrastruktuuri kaukokartoitusten tekemiseen. Kansallisten toimijoiden ylläpito ilmakuvausten ja laserkeilauksen alalla sekä EU:n yhteisen satelliittiohjelman ylläpidon varmistaminen on merkittävää.
- Suomessa tulee säilyttää osaaminen kriittisen avaruusinfrastruktuurin ylläpitämiseen ja operointiin.
- Kansainvälisten tietoliikenneyhteyksien toimivuus pitää varmistaa. Ongelmat verkoyhteyksissä ja kaukokartoitusaineistojen saatavuudessa voivat viivästyttää toimintaa ja jopa estää yhteiskunnallisesti kriittisten prosessien toiminnan. Erityisesti julkisen sektorin toiminta tulee huomioida.

- Tilannetietoisuutta GNSS-häirinnän suhteen pitää parantaa. Kaakkois-Suomessa havaittu häirintä uhkaa tällä hetkellä vähintään alueellisesti kaikkein käytetyimmän aineistojen tuotantoa (MML:n kansallisen laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelman).

- Tietoturva ja tietosuojat sekä palvelujen saatavuus tulee varmistaa riittävällä tavalla.

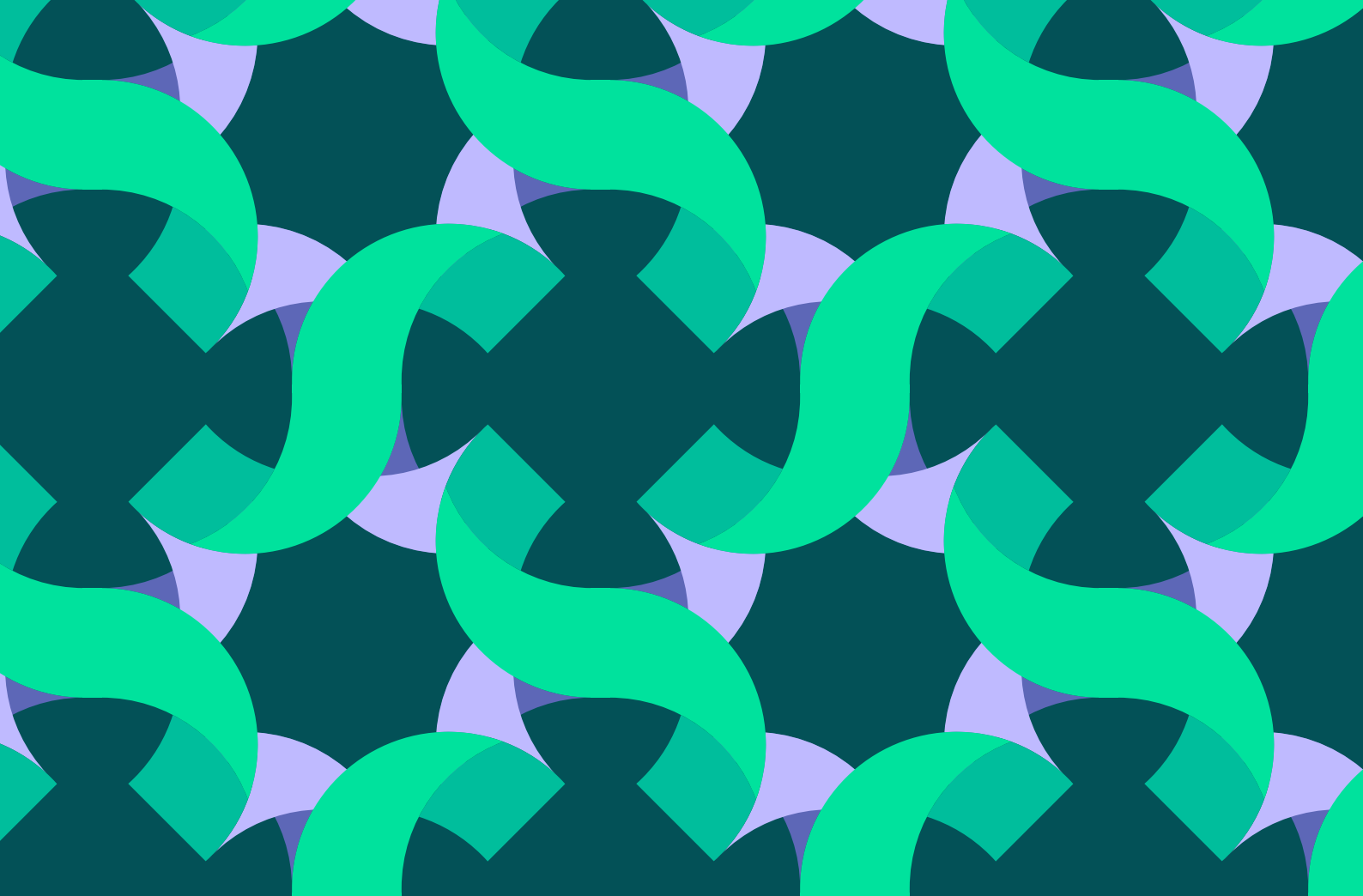
- Suomeen tulee rakentaa vahva satelliititipohjainen tilannekuvajärjestelmä ja tulevaisuudessa myös mittauksiin perustuva ympäristön digitaalinen kaksonen.

- Riippuvuuksia yksittäisistä ulkomaisista datalähteistä tulee tarkastella kriittisesti. Resilienssin näkökulmasta olisi hyvä olla useampia datalähteitä, sillä nyt lähes kaikki käytetty data tulee suoraan tai välillisesti ESA:n CDSE:n (Copernicus Data Space Ecosystem) kautta. Samassa on hyvä huomioida, että kaikki rinnakkaiset järjestelmät vaativat myös omien algoritmien rakentamisen.

- Organisaatioiden tulee tarkastella riippuvuuksiaan yksittäisiin kaukokartoitusaineistoihin ja tarpeen mukaan valmistautua korvaavien järjestelmien käyttöön.

Lähdeluettelo

- [1] Kokonat oy. Avaruuspalveluiden merkitys huoltovarmuudelle, Selvitys Huoltovarmuuskeskukseen. (2024). Pdf-dokumentti. Viitattu 5.11.2024
<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/29d-94b7a341ece8fc37a909286e4ce5a797ad9f3/avahuolto-selvitys.pdf>
- [2] Dubovik, Oleg, et al. "Grand challenges in satellite remote sensing." *Frontiers in Remote Sensing* 2 (2021): 619818
- [3] Valtioneuvoston turvallisuusjohtamisen toimintamallin kehittäminen-hanke. Valtioneuvosto. Viitattu 6.11.2024.
<https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=PLM006:00/2024>.
Huom. varsinainen viitattu luonnos:
<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?proposalId=74a2a012-95e7-43b9-b4cd-1811e71d077d&attachmentId=22664>
- [4] EUSPA Market Report 2024. EUSPA. doi: 10.2878/73092. Viitattu 21.10.2024.
[https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/documents/EUSPA Market Report 2024.pdf](https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/documents/EUSPA%20Market%20Report%202024.pdf)
- [5] Louw, Albertus S., et al. "The role of remote sensing during a global disaster: COVID-19 pandemic as case study." *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 27 (2022): 100789
- [6] Subcommittee on U.S. Earth Observation Committee on Environment. 2023 Earth Observations Assessment Report: Agriculture & Forestry. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.11.2024. <https://usgeo.gov/uploads/EOA%20Agriculture-Forestry%20Report%20%28July%202024%29.pdf>
- [7] Tsegas, Geroge, and Dimitrios Vamvatsikos. "Development of a Decision Support System for increasing the Resilience of Road Infrastructure based on combined use of terrestrial and airborne sensors and advanced modelling tools." *System* 1 (2021): 28
- [8] Joyce, Karen E., et al. "Remote sensing and the disaster management cycle." *Advances in geoscience and remote sensing* 48.7 (2009): 317-346
- [9] Davison, Charles W., Carsten Rahbek, and Naia Morueta-Holme. "Land-use change and biodiversity: Challenges for assembling evidence on the greatest threat to nature." *Global Change Biology* 27.21 (2021): 5414-5429
- [10] ARSET - Satellite Observations and Tools for Fire Risk, Detection, and Analysis. NASA, Viitattu 13.11.2024.
<https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arset-satellite-observations-and-tools-fire-risk-detection-and>
- [11] Fassnacht, Fabian Ewald, et al. "Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions." *Forestry: An International Journal of Forest Research* 97.1 (2024): 11-37
- [12] Carluccio, S., and Á. Ní Bhreasail. "Tools and approaches for resilience: Bringing users and developers together to improve practice." *The Resilience Shift* (2019)
- [13] Argyroudis, Sotirios A., et al. "Digital technologies can enhance climate resilience of critical infrastructure." *Climate Risk Management* 35 (2022): 100387
- [14] Vahva ja välittävä Suomi Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvosto. Pdf-dokumentti. Viitattu 29.11.2024.
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165042>
- [15] World Economic Forum. Amplifying the Global Value of Earth Observation, Insight Report May 2024. Pdf-dokumentti. Viitattu 2.12.2024.
<https://www.weforum.org/publications/amplifying-the-global-value-of-earth-observation/>
- [16] Press Release. Kuva Space. Viitattu 3.12.2024. <https://kuvaspace.com/en/resources/kuva-space-successfully-launches-its-hyperspectral-microsatellite-hyperfield-1-with-spacex-to-demonstrate-its-commercial-services>
- [17] Brunet, Gilbert, et al. "Advancing weather and climate forecasting for our changing world." *Bulletin of the American Meteorological Society* 104.4 (2023): E909-E927



Huoltovarmuuskeskus