


# Satelliittilaajakaistateknologioiden ja -palvelujen hyödyntäminen varau- tumisessa






<b>Julkaisun nimi</b> Satelliittilaajakaistatekniologioiden ja -palvelujen hyödyntäminen varautumisessa			
<b>Tekijät</b> Heikki Kokkinen (VTT), Markus Mettälä, Aleks Blomqvist (Traficom)			
<b>Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä</b> Liikenne- ja viestintävirasto Traficom			
Julkaisusarjan nimi ja numero <b>Traficomın tutkimuksia ja selvityksiä 11/2025</b> ISSN (verkkojulkaisu) 2669-8781 ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-311-967-3			
<b>Asiasanat</b> Avaruustekniologia, satelliittitekniologia, satelliittilaajakaista, LEO, MEO, GEO, varautuminen, varayhteydet			
<b>Tiivistelmä</b> Tämän selvityksen tarkoituksena on luoda yleiskuva satelliittilaajakaistatekniologioiden ja -palveluiden hyödyntämisestä Huoltovarmuuskeskuksen sidosryhmäorganisaatioiden varautumisessa. Selvitys on käyttökelpoinen myös muille organisaatioille, jotka haluavat hyödyntää satelliittilaajakaistatekniologioita ja -palveluita.  Satelliittipohjaisen viestinnän kaupalliset ratkaisut ovat kehittyneet vauhdilla viime vuosina, ja kehitys jatkuu edelleen nopeana. Tämä on saanut monet kuluttajat, yritykset ja viranomaiset pohtimaan satelliittilaajakaistapalvelujen mahdollisuuksia ja niiden hyödyntämistä. Nopeimmin kasvava satelliittipohjaisen viestinnän ala tukeutuu erityisesti LEO-satelliittien (Low Earth Orbit) infrastruktuuriin, josta on kehittymässä yhä tärkeämpi osa viestintäpalvelumarkkinoita. Kehitykseen liittyy mahdollisuuksia, mutta myös riskejä, joiden ymmärtäminen on tärkeää.  Satelliittilaajakaistapalveluja on saatavilla koko Suomessa. Keskeisimpiä palveluntarjoajia ovat mm. Starlink ja One-Web. Niiden kautta saavutetut tiedonsiirtonopeudet ovat varsin kilpailukykyisiä kiinteiden kuluttajaliittymien ja matkapuhelinliittymien kanssa. Traficomın kesällä 2023 tekemien Starlink-palvelun mittauksen mukaan mediaani latausnopeus oli noin 160 ja 200 Mbit/s ja mediaani lähetysnopeus noin 15 ja 17 Mbit/s Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Yhteysviiveet olivat muutamia kymmeniä millisekunteja.  Satelliittilaajakaistatekniologiat ja -palvelut tarjoavat organisaatioille uudenlaisen varautumiskeinon maanpäällisten tietoliikennenyhteyksien häiriötilanteisiin, kriittisen datan ja toimintojen saatavuuteen sekä niiden fyysisen sijainnin vaihtamiseen satelliittilaajakaistaverkon yli erityisesti poikkeusolojen ja normaaliolojen vakavan häiriötilanteen aikana. Satelliittilaajakaistan etuna varautumisessa on myös maa- ja merikaapeleista riippumattomat yhteydet Suomen rajojen ulkopuolelle.  Satelliittilaajakaistaan liittyviä riskejä ja uhkia ovat tällä hetkellä palveluntarjoajien pieni määrä ja liian hallitsevan markkinatoimijan muodostuminen. Lisäksi riskinä on järjestelmien herkkyyks satelliittipaikannuksen häiriöille.  LEO-satelliittilaajakaistajärjestelmät koostuvat useista toisiinsa liittyvistä komponenteista, jotka muodostavat laajan hyökkäyspinnan. Satelliittilaajakaistajärjestelmien ja maanpäällisten verkkojen kyberuhka-maisemat ovat varsin samankaltaisia, ja ne tulevat lähentymään entisestään toisiaan, kun satelliittijärjestelmät integroituvat maanpäällisten verkkojen kanssa.  Heikkouksia ovat maanpäällisiä yhteyksiä, etenkin valokuituyhteyksiä, matalampi tiedonsiirtonopeus ja kokonaiskapasiteetti, maanpäällisiin verkkoihin nähden pidemmät yhteysviiveet, palvelun katvealueet esimerkiksi sisätiloissa sekä antennin puutteellisesta suuntaamisesta sekä ympäröivistä esteistä johtuvat yhteyshäiriöt. GEO-satelliitit sijaitsevat korkealla päiväntasaajan yläpuolella. Suomen sijainnista johtuen nousukulmat etenkin Pohjois-Suomessa ovat varsin matalat. Monen satelliittilaajakaistajärjestelmän kehitys myös painottuu enemmän tiheimmin asutuille alueille kuten Keski-Euroopan leveysasteille, joka voi tarkoittaa rajallisempaa suorituskykyä Suomessa ja pohjoisilla leveysasteilla.  Tämä raportti perustuu kirjallisuustutkimukseen, Huoltovarmuuskeskuksen sidosryhmien haastatteluihin sekä keskusteluihin asiantuntijoiden ja satelliittipalveluvaltuutettujen kanssa. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom on tuottanut tämän selvityksen yhdessä Huoltovarmuuskeskuksen kanssa. Selvityksen on laatinut Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy yhdessä Traficomın ja Huoltovarmuuskeskuksen kanssa.			
<b>Yhteyshenkilö</b> Markus Mettälä Aleksi Blomqvist	<b>Raportin kieli</b> Suomi	<b>Luottamuksellisuus</b> Julkinen	<b>Kokonaissivumäärä</b> 60
<b>Jakaja</b> Julkinen		<b>Kustantaja</b> Liikenne- ja viestintävirasto Traficom	

 Transport- och kommunikationsverket		<b>Utgivningsdatum</b> 6.3.2025	
<b>Publikation</b> Översikt över satellitbredbandsteknologiers och -tjänsters användningsmöjligheter vid beredskapen			
<b>Författare</b> Heikki Kokkinen (VTT), Markus Mettälä, Aleks Blomqvist (Traficom)			
<b>Tillsatt av och datum</b> Transport- och kommunikationsverket Traficom			
Publikationsseriens namn och nummer <b>Traficoms forskningsrapporter och utredningar 11/2025</b> ISSN (elektronisk publikation) 2669-8781 ISBN (elektronisk publikation) 978-952-311-967-3			
<b>Ämnesord</b> Rymdteknologi, satellitteknologi, satellitbredband, LEO, MEO, GEO, beredskap, reservförbindelser			
<p>Denna utredning skapar en översikt över satellitbredbandsteknologiers och -tjänsters användningsmöjligheter vid beredskapen hos Försörjningsberedskapscentralens intressentorganisationer. Utredningen är speciellt riktad till organisationer som producerar samhällskritiska funktioner, t.ex. energi-, livsmedels- och vattenförsörjning, informationsnät och medie-, transport- och logistiksektorer samt finanssektorer men är även användbar för andra organisationer som vill utnyttja satellitbredbandsteknologier och -tjänster.</p> <p>De kommersiella lösningarna för satellitbaserad kommunikation har utvecklats snabbt under de senaste åren och sen snabba utvecklingen fortsätter. Detta har fått många konsumenter, företag och myndigheter att fundera på möjligheterna med satellitbredbandstjänster och hur de kan utnyttjas. Det området för satellitbaserad kommunikation som utvecklas snabbast stöder sig speciellt på LEO-satelliternas (Low Earth Orbit) infrastruktur. Dessa håller på att utvecklas till en allt viktigare del av marknaden för kommunikationstjänster. Det finns möjligheter med utvecklingen men också risker, vilka är viktiga att förstå.</p> <p>Satellitbredbandstjänster finns tillgängliga i hela Finland. De centrala tjänsteleverantörerna är bl.a. Starlink och OneWeb. Deras dataöverföringshastigheter är ganska konkurrenskraftiga med fasta konsumentabonnemang och mobilabonnemang. Enligt mätningarna som Traficom gjort år 2023 för Starlink-tjänsten var medianen för nedladdningshastigheten cirka 160 och 200 Mbit/s och median uppladdningshastighet cirka 15 och 17 Mbit/s i Södra och Norra Finland. Fördröjningarna var några tiotals millisekunder.</p> <p>Satellitbredbandsteknologier och -tjänster erbjuder organisationer en ny beredskapsmetod vid störningar i markbundna telekommunikationsförbindelser, för tillgången till kritiska data och funktioner samt för byte av förbindelsernas fysiska placering över satellitbredbandsnätet speciellt under undantagsförhållanden och vid allvarliga störningar under normala förhållanden. Satellitbredbandets fördel vid beredskap är också förbindelser som är oberoende av jord- och sjökablar utanför Finlands gränser.</p> <p>Risker och hot mot satellitbredbandet är för tillfället det lilla antalet tjänsteleverantörer och uppkomsten av en för dominerande marknadsaktör. Risken är också hur utsatt systemen är för störningar i satellitpositioneringen.</p> <p>Satellitbredbandssystemen LEO består av flera sammankopplade komponenter som utgör en omfattande angreppsytta. Cyberhotlandskapen för satellitbredbandssystem och markbundna nät är ganska liknande och de kommer att vara ännu mer liknande när satellitsystemen integreras med markbundna nät.</p> <p>Svagheterna omfattar lägre dataöverföringshastighet jämfört med markbundna förbindelser och speciellt förbindelser av optisk fiber, längre fördröjningar jämfört med markbundna nät, skuggområden för tjänsten till exempel inomhus samt avbrott i förbindelser som beror av skuggområden och bristfällig riktning av antennen samt av omgivande hinder. GEO-satelliterna finns högt ovanför ekvatorn. På grund av Finlands geografiska position är lutningsvinklarna ganska små speciellt i Norra Finland. Utvecklingen av många satellitbredbandssystem koncentreras till tätt bebyggda områden, t.ex. till centraleuropeiska breddgrader, vilket kan betyda en mer begränsad prestationsförmåga i Finland och på de nordiska breddgraderna.</p> <p>Denna rapport baserar sig på litteraturforskning, intervjuer med Försörjningsberedskapscentralens intressentgrupper samt på diskussioner med experter och leverantörer av satellittjänster. Transport- och kommunikationsverket Traficom har producerat denna utredning tillsammans med Försörjningsberedskapscentralen. Utredningen har utarbetats av Teknologiska forskningscentralen VTT Ab tillsammans med Traficom och Försörjningsberedskapscentralen.</p>			
<b>Kontaktperson</b> Markus Mettälä Aleks Blomqvist	<b>Språk</b> Finska	<b>Sekretessgrad</b> Offentlig	<b>Sidoantal</b> 60
<b>Distribution</b> Transport- och kommunikationsverket Traficom		<b>Förlag</b> Transport- och kommunikationsverket Traficom	

# Traficomın tutkimuksia ja selvityksiä 11/2025

 Finnish Transport and Communications Agency		<b>Date of publication</b> 6.3.2025	
<b>Title of publication</b> Utilizing Satellite Broadband Technologies and Services in Preparedness			
<b>Author (s)</b> Heikki Kokkinen (VTT), Markus Mettälä, Aleksi Blomqvist (Traficom)			
<b>Commissioned by, date</b> Finnish Transport and Communications Agency			
Publication series and number <b>Traficom Research Reports 11/2025</b> ISSN (e-publication) 2669-8781 ISBN (e-publication) 978-952-311-967-3			
<b>Keywords</b> Space technology, satellite technology, satellite broadband, LEO, MEO, GEO, preparedness, backup connections			
<p>The purpose of this report is to provide an overview of the utilization of satellite broadband technologies and services in the preparedness efforts of the National Emergency Supply Agency's (NESA) stakeholder organizations. The report is also useful for other organizations looking to leverage satellite broadband technologies and services.</p> <p>Commercial satellite-based communication solutions have rapidly evolved in recent years, and this development continues at a fast pace. As a result, many consumers, businesses, and authorities have started considering the possibilities and applications of satellite broadband services. The fastest-growing sector in satellite-based communication relies particularly on Low Earth Orbit (LEO) satellite infrastructure, which is becoming an increasingly significant part of the communications services market. This development presents opportunities but also involves risks that must be understood.</p> <p>Satellite broadband services are available throughout Finland, with key providers including Starlink and OneWeb. The data transfer speeds achieved through these services are highly competitive with fixed consumer connections and mobile networks. According to measurements conducted by Traficom in the summer of 2023, the median download speed for Starlink service was approximately 160 to 200 Mbit/s, while the median upload speed ranged from 15 to 17 Mbit/s in southern and northern Finland. Latency was in the range of a few tens of milliseconds.</p> <p>Satellite broadband technologies and services offer organizations a new means of ensuring operational continuity during disruptions to terrestrial communication networks, securing access to critical data and services, and enabling operational relocation over the satellite broadband network—especially during serious disruptions in normal conditions. One of the advantages of satellite broadband for preparedness is its independence from land and undersea cables for connections beyond Finland’s borders.</p> <p>However, there are risks and threats associated with satellite broadband. Currently, the market has a limited number of service providers, which could lead to an overly dominant player. Additionally, satellite systems are vulnerable to disruptions in global navigation satellite systems (GNSS).</p> <p>LEO satellite broadband systems consist of multiple interconnected components, creating a broad attack surface. The cybersecurity threats affecting satellite broadband systems are similar to those impacting terrestrial networks, and these threat landscapes will become even more aligned as satellite systems integrate more closely with terrestrial networks.</p> <p>Some weaknesses of satellite broadband include lower data transfer speeds and overall capacity compared to terrestrial fiber connections, longer latencies than terrestrial networks, service coverage gaps (e.g., indoors), and connection disruptions caused by improper antenna alignment or surrounding obstructions. GEO satellites, positioned high above the equator, present challenges at northern latitudes due to low elevation angles. Furthermore, many satellite broadband systems are primarily implemented for densely populated regions, such as Central Europe, which may result in more limited performance in Finland and other northern latitudes.</p> <p>This report is based on a literature review, interviews with NESA stakeholders, and discussions with experts and satellite service providers. The Finnish Transport and Communications Agency Traficom produced this study in collaboration with the National Emergency Supply Agency. The report was prepared by VTT Technical Research Centre of Finland Ltd in partnership with Traficom and NESA.</p>			
<b>Contact-person</b> Markus Mettälä Aleksi Blomqvist		<b>Language</b> Finnish	
		<b>Confidence status</b> Public	
		<b>Pages, total</b> 60	
<b>Distributed by</b> Finnish Transport and Communications Agency			
<b>Published by</b> Finnish Transport and Communications Agency			

## Sisällysluettelo

Sisällysluettelo .....	4
1 Johdanto .....	8
2 Satelliittilaajakaistajärjestelmä, erilaiset käyttötapaukset ja standardisointi .....	9
2.1 Satelliittilaajakaistajärjestelmän yleiskuvaus .....	9
2.2 Erilaisia käyttötapauksia .....	11
2.2.1 Kuluttajien käyttötapaukset.....	11
2.2.2 Liikkuva käyttö .....	11
2.2.3 Yritysten ja viranomaisten käyttötapaukset .....	11
2.3 Satelliittilaajakaistateknologioiden kehitys ja standardointi .....	12
2.3.1 ETSI.....	12
2.3.2 ITU .....	12
2.3.3 CEPT .....	13
2.3.4 3GPP .....	13
3 Suomen erityispiirteet satelliittilaajakaistan hyödyntämisessä.....	13
4 Saatavilla olevia satelliittilaajakaistapalveluita .....	17
4.1 LEO-palvelut .....	18
4.1.1 Starlink (SpaceX).....	18
4.1.2 Eutelsat OneWeb .....	18
4.1.3 Amazon Project Kuiper.....	19
4.1.4 Telesat .....	19
4.1.5 Iridium .....	19
4.2 MEO-palvelut .....	20
4.2.1 SES I3b mPOWER .....	20
4.3 GEO-palvelut.....	21
4.3.1 Viasat.....	21
4.3.2 Eutelsat Konnect.....	21
4.3.3 SES.....	22
4.3.4 Space Norway .....	22
4.4 HEO-palvelut.....	22
4.4.1 Space Norway .....	22
4.5 Multi-orbit palvelut.....	22
4.5.1 SES.....	22
4.5.2 Intelsat.....	23
4.5.3 Inmarsat.....	23
4.5.4 Hispasat .....	23
4.6 Palveluiden hinnat .....	23
4.7 Julkisen sektorin tavoittelemat satelliittilaajakaistajärjestelmät.....	25
4.7.1 IRIS <sup>2</sup> .....	25
4.7.2 GovSatCom .....	25
4.8 Laitteet.....	26
4.9 Satelliittilaajakaistajärjestelmien suorituskyky .....	29
4.10 Kapasiteetin riittävyys .....	30
5 Huoltovarmuuskriittisten organisaatioiden tarpeet satelliittilaajakaistayhteyksille	31
5.1 Esimerkkejä eri sektorien tarpeista satelliittilaajakaistalle .....	33
5.2 Energiasektori .....	36

5.3	Elintarvike- ja vesihuoltosektori .....	38
5.4	Kuljetukset ja toimitusketjut .....	41
5.5	Digitaalinen turvallisuus ja tiedon huoltovarmuus sektori .....	43
5.6	Finanssisektori .....	44
6	Järjestelmien kybervaikuttaminen, häirintä ja toteutuksiin liittyvät riskit sekä niiden hallinta.....	46
6.1	Tietoliikenneyhteyksien uhkamallinnus .....	47
6.2	Laajakaistasatelliittijärjestelmiin kohdistuvat uhat, kyberturvallisuus ja tietoturva .....	47
6.2.1	LEO-satelliittijärjestelmän hyökkäyspinta .....	50
6.2.2	LEO-satelliittijärjestelmän hyökkäyspolkuja .....	51
7	Tulevaisuuden kehitysnäkymät.....	52
7.1	Arvio satelliittiteknologian kehityssuunnista .....	52
7.2	Kehitykseen vaikuttavat tekijät.....	55
8	Viitekehys satelliittilaajakaistan hyödyntämisen arvioinnin tueksi .....	58
8.1	Organisaation ydinprosessien tunnistaminen ja niistä tulevat tarpeet tietoliikenneyhteyksille .....	58
8.2	Satelliittilaajakaistan hyödyntäminen kriittisten järjestelmien vaatimien tietoliikenneyhteyksien varmistamisessa.....	59
8.3	Satelliittilaajakaistayhteyksien käytössä huomioitavia toteutus- ja turvallisuusnäkökulmia .....	60

## Käytetyt lyhenteet

<b>3GPP</b>	Third Generation Partnership Project
<b>5G, 6G</b>	5 <sup>th</sup> Generation, 6 <sup>th</sup> Generation mobile network
<b>ASBM</b>	Arctic Satellite Broadband Mission
<b>AWS</b>	Amazon Web Services
<b>B2B</b>	Business to business
<b>BB</b>	Broad Band
<b>BSS</b>	Broadcast Satellite Service
<b>CA</b>	Canada
<b>CAD</b>	Canadian Dollar
<b>CEPT</b>	The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
<b>CER</b>	Critical Entities Resilience
<b>CIA</b>	Confidentiality, Integrity and Availability
<b>D2D</b>	Direct to Device
<b>DDoS</b>	Distributed Denial of Service
<b>DESI</b>	Digital Economy and Society Index
<b>DORA</b>	Digital Operational Resilience Act for the financial sector
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcasting
<b>DVB-S</b>	DVB-Satellite
<b>ERTMS</b>	European Rail Traffic Management System
<b>ES</b>	Spain
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>EU</b>	The European Union
<b>FR</b>	France
<b>FSS</b>	Fixed Satellite Service
<b>GB</b>	Great Britain
<b>GEO</b>	Geostationary orbit
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GovSatCom</b>	The European Union Governmental Satellite Communications
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSO</b>	Geostationary orbit
<b>HEO</b>	High Elliptical Orbit
<b>ICT</b>	Information and Communications Technology
<b>IMT</b>	International Mobile Telecommunications
<b>INMARSAT</b>	International Maritime Satellite Organization
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>IRIS<sup>2</sup></b>	Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite
<b>ISMS</b>	Information security management systems
<b>ISO/IEC</b>	International Standardization Organization / International Electrotechnical Commission
<b>ITU-R</b>	International Telecommunications Union Radio sector
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit
<b>LU</b>	Luxembourg

<b>MDA</b>	A company name
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit
<b>MSS</b>	Mobile Satellite Service
<b>NATO</b>	North Atlantic Treaty Organization
<b>NB</b>	Narrowband
<b>NGSO</b>	Non-Geostationary Orbit
<b>NETS</b>	A company name
<b>NIS 2</b>	Network and information systems and services
<b>NO</b>	Norway
<b>NORAD</b>	North American Aerospace Defense Commandille
<b>NSR</b>	A brandname of Analysys Mason
<b>NTN</b>	Non-Terrestrial Network
<b>OHB</b>	OHB Technology AG
<b>OWASP</b>	The Open Worldwide Application Security Project
<b>PoP</b>	Point of Presence
<b>QCI</b>	Quantum Communication Infrastructure
<b>SES</b>	A company name
<b>SpaNeS</b>	Space Networking Systems
<b>SVPL</b>	Sähköisen viestinnän palveluista säädetty laki
<b>SWOT</b>	Strengths Weaknesses Opportunities Threats
<b>TC SES</b>	Technical Committee Satellite Earth Stations and Systems
<b>TV</b>	Television
<b>UCS</b>	Union of Concerned Scientists
<b>US</b>	The United States of America
<b>V2S</b>	Vehicle to Satellite
<b>VIRVE</b>	Viranomaisverkko
<b>VLEO</b>	Very Low Earth Orbit
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>VSAT</b>	Very Small Aperture Terminal
<b>WB</b>	Wide Band



## 1 Johdanto

Monet kuluttajat, yritykset ja viranomaiset ovat kiinnostuneita satelliittilaajakaistapalvelujen mahdollisuuksista ja hyödyntämisestä, koska satelliittipohjaisen viestinnän kaupalliset ratkaisut ovat kehittyneet vauhdilla viime vuosina, ja kehitys jatkuu edelleen nopeana. Low Earth Orbit (LEO) -satelliiteilla luotu tietoliikenneinfrastruktuuri kasvaa kaikkein nopeimmin, ja siitä on kehittymässä yhä tärkeämpi osa viestintäpalvelumarkkinoita. Kehitykseen liittyy mahdollisuuksia ja riskejä, joiden ymmärtämisessä tämä raportti auttaa. Geostationary Orbit (GEO) -satelliittien tarjoamia palveluja on ollut pitkään saatavilla muun muassa laajakaistapalveluihin, televisiolähetysten jakelussa ja meriliikenteessä. Tämä raportti keskittyy erityisesti LEO-satelliittijärjestelmiin ja niiden avulla tarjottaviin laajakaistapalveluihin.

Tässä raportissa tarkastellaan satelliittilaajakaistateknologioiden ja -palvelujen hyödyntämistä huoltovarmuusorganisaatioiden varautumisessa. Satelliittilaajakaistateknologialla tarkoitetaan tässä raportissa satelliittipohjaisia järjestelmiä, jotka tarjoavat käyttäjälle tiedonsiirtonopeudeltaan kymmenien tai parhaimmillaan pitkälti yli sadan Mbit/s tasoisia yhteyksiä. Varautumista tarkastellaan Huoltovarmuuskeskuksen seuraavien painopistealueiden kannalta: energia-, elintarvike- ja vesihuolto, kuljetukset ja toimitusketjut, digitaalinen turvallisuus, finanssiala ja tiedon huoltovarmuus. Varautumista tehdään yhteiskunnassa myös esimerkiksi pelastustoimissa, ensihoidossa, poliisissa, rajavalvonnassa ja puolustautumisessa. Tämä raportti ei suoraan kuvaa varautumissuunnitelmia, mutta raporttia voi soveltaa oman organisaation varautumisen suunnittelun tukena. Raportti perustuu valittujen kriittisten toimijoiden haastatteluihin, olemassa olevaan kirjallisuuteen sekä kirjoittajien omaan analyysiin.

Varautumisessa on olennaista luotettava ja ajantasainen tilannetietoisuus, jonka mahdollistajana erilaiset tietoliikenneteknologiat ovat merkittävässä roolissa. Luotettavuuden kannalta nojautuminen pelkästään yhteen teknologiaan ei yleensä ole optimaalinen ratkaisu. Maanpäällisten tietoliikenneverkkojen tueksi satelliittitietoliikenne tarjoaa yhden potentiaalisen vaihtoehdon lisää. Puhe on edelleen tärkein sisältö kriittisessä viestinnässä, mutta käyttäjien tottumukset laajakaistapalveluihin sekä kehittyvät tarpeet luovat kysyntää laajakaistaisiin palveluihin myös kriittisessä kommunikaatiossa. Laajakaistayhteyksiä hyödyntäen saadaan luotua yksityiskohtainen ja moniulotteinen tilannekuva organisaation tärkeistä toiminnoista, jotka voivat olla myös hajautettuna maantieteellisesti sekä hyödyntää esimerkiksi datan keräykseen kameroista ja erilaisista sensoreista, joita voi olla suuri määrä. Järjestelmien ohjaamiseen ja tilannekuvan muodostamiseen tarvittava tiedonsiirtomäärä on kuitenkin monessa käyttötapauksessa vielä varsin rajallinen.

Raportti on organisoitu päätasolla seuraavasti. Johdannon jälkeen luvussa 2 kuvataan satelliittilaajakaistajärjestelmä, Huoltovarmuuskeskuksen

painopistealueiden käyttötapauksia ja standardointia. Luvussa 3 esitellään Suomen erityispiirteitä satelliittilaajakaistateknologian kannalta. Luku 4 esittelee satelliittilaajakaistapalveluita, laitteita ja niiden suorituskykyä. Luvussa 5 paneudutaan huoltovarmuuskriittisten toimijoiden tarpeisiin satelliittilaajakaistayhteyksille. Luku 6 keskittyy satelliittiteknologioiden riskeihin sisältäen kyberturvallisuuteen liittyvät asiat ja yhteyksien tahallisen häirinnän. Luku 7 arvioi teknologian tulevaa kehitystä. Luvussa 8 esitetään kysymyslista huoltovarmuusorganisaatioille satelliittilaajakaistan hyödyntämisen arvioinnin tueksi.

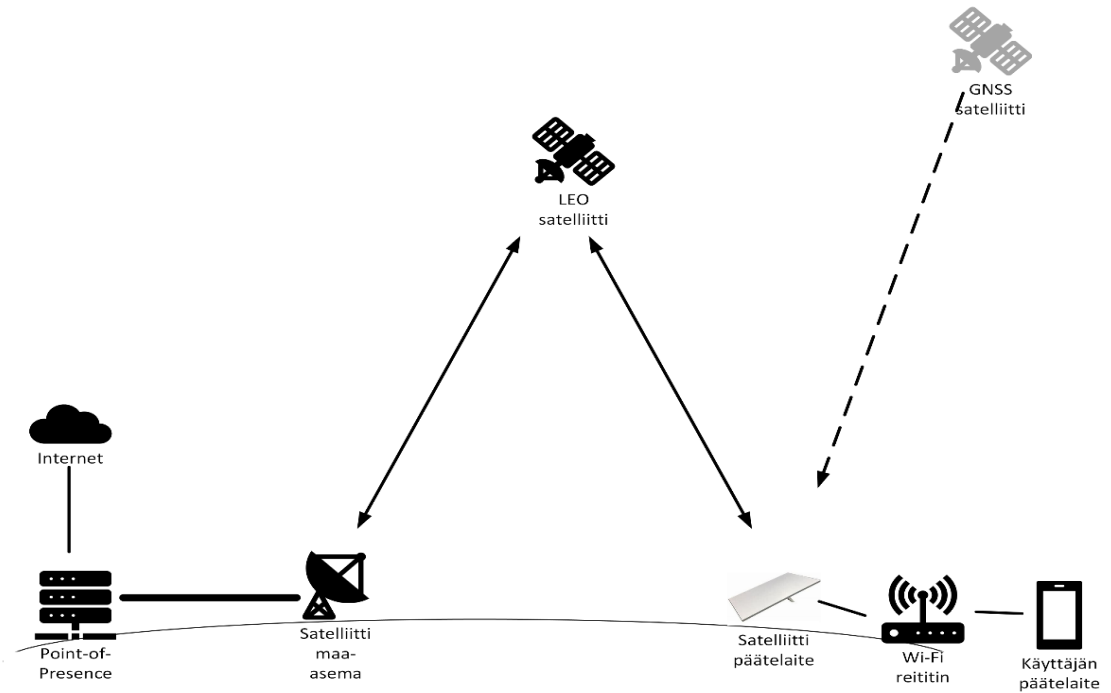
## **2 Satelliittilaajakaistajärjestelmä, erilaiset käyttötapaukset ja standardisointi**

Tässä luvussa esitellään satelliittilaajakaistajärjestelmän käyttö pääpiirteittäin sekä tyypillisiä käyttötapauksia.

### **2.1 Satelliittilaajakaistajärjestelmän yleiskuvaus**

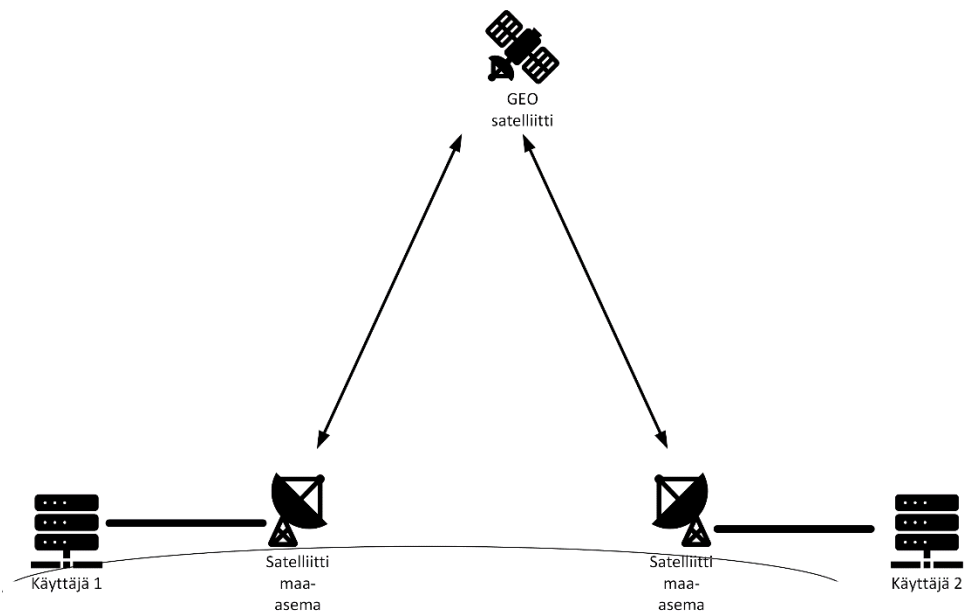
Tyypillisessä LEO-satelliittilaajakaistaratkaisujen käytössä käyttäjän päätelaite on yhteydessä Wi-Fi:n avulla erilliseen satelliittipäätelaitteeseen, joka tarvitsee toimiakseen paikkatiedon Global Navigation Satellite Service (GNSS) -palveluista, joihin kuuluu esimerkiksi Global Positioning System (GPS). Satelliittipäätelaite kommunikoi kiertoradalla olevan satelliitin kanssa, ja satelliitti kommunikoi maan pinnalla olevan satelliittimaa-aseman kanssa. Satelliittimaa-asemasta on yhteydet Point-of-Presence (PoP) -pisteeseen, josta tapahtuu liittyminen julkiseen internetiin. Satelliittipäätelaitteeseen ja käyttäjän sijaintiin nähden satelliittimaa-asema ja PoP-piste sijaitsevat usein eri maassa. Huomionarvoista on, että satelliittimaa-asema ja PoP-piste saattavat myös sijaita eri maassa, ja myös niiden välissä saattaa olla kaapeliyhteyksiä maalla ja merellä.

GNSS-palvelut tarjoavat satelliittipäätelaitteelle sijainti- ja synkronointiinformaatiota, joka on sen toiminnan kannalta välttämätöntä. Synkronointia käytetään mm. maasta satelliittiin lähetyskohtien ajoittamiseen. Sijaintitietoa käyttäen satelliitti ja satelliittipäätelaite voivat kohdistaa antennikeilansa oikein, ja LEO-järjestelmissä satelliittipäätelaitteen sijaintitietoa käytetään käyttöpaikan ja maan tunnistamiseen (geofencing ja varmistamaan, että satelliittiyhteydet muodostetaan ainoastaan alueilla, joilla sillä on lupa toimia. Kokonaisuutta on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 1).



Kuva 1. LEO-satelliittilaajakaistan laitteet ja yhteydet

Tämän lisäksi raportin kirjoitushetkellä on kehitteillä Direct-to-Device (D2D) -palveluja, joissa kiertoradalla oleva satelliitti kommunikoi suoraan käyttäjän päätelaitteen kanssa. GEO-satelliittien osalta järjestelmäkuva voi vastata LEO-satelliittijärjestelmää, mutta yleisempi käytötapaus on, että satelliittimaa-asemat kommunikoivat GEO-satelliitin välityksellä keskenään. Käyttäjien tietoliikennejärjestelmät on liitetty satelliittimaa-asemiin.



Kuva 2. GEO-satelliittilaajakaistan laitteet ja yhteydet

## **2.2 Erilaisia käyttötapauksia**

Satelliittilaajakaistarakaisujen erilaisia käyttötapauksia voidaan ryhmitellä mm. seuraaviin ryhmiin: Huoltovarmuuskriittiset käyttötapaukset (Luku 5), ja tässä luvussa kuvatut kuluttajien käyttötapaukset, liikkuva käyttö sekä yritysten ja viranomaisten käyttötapaukset.

### **2.2.1 Kuluttajien käyttötapaukset**

Kuluttajien satelliittilaajakaistan käyttötapaukset ovat hyvin samankaltaisia kuin muidenkin kodin laajakaistayhteyksien, eli sitä voidaan hyödyntää lähes kaikkeen kommunikaatioon. Poikkeuksena ovat hyvin lyhyttä viivettä (< 10 ms) vaativat palvelut, joita kiertoradoilla olevat satelliitit eivät pysty etäisyydestä syntyvän signaalin kulkuviiveen vuoksi tarjoamaan. Työnantajaorganisaatioiden näkökulmasta työntekijöiden etätyökäytössä olevat satelliittilaajakaistapalvelut voivat tarjota maanpäällisten tietoliikenneverkkojen häiriötilanteissa vaihtoehtoisen reitin internetiin ja organisaation kriittisiin järjestelmiin. Satelliittilaajakaistapalvelut voivat myös tarjota yhteyden kiinteiden ja mobiililaajakaistapalveluiden rinnalla alueilla, joilla kiinteät ja mobiililaajakaistapalvelut eivät ole saatavilla. Erityisesti Starlinkin satelliittilaajakaistan kilpailukykyisen hinnoittelun, palvelun saatavuuden ja laadun ansiosta siitä ja muista vielä kehittyvistä satelliittilaajakaistapalveluista saattaa tulla aito kilpailija maanpäällisille kiinteille ja mobiileille laajakaistayhteyksille erityisesti harvaan asutuilla alueilla. SpaceX:n kehittämä Starlink satelliittilaajakaistapalvelu on selvä markkinajohtaja, ja palvelua on tarjottu Suomessa vuodesta 2022. Palvelua on kuvattu tarkemmin luvussa 4.1.1. Maaseudun ja syrjäisten seutujen laajakaistapalvelu on eräs yleisimmistä käyttötarkoituksista, koska näillä alueilla maanpäällisten laajakaistaverkkojen kattavuus on heikompi.

### **2.2.2 Liikkuva käyttö**

Toistaiseksi satelliittipalvelujen liikkuva käyttö on ollut yleistä meri- ja lentoliikenteessä. On myös oletettavaa, että satelliittilaajakaistapohjaiset ajoneuvoyhteydet tulevat yleistymään. Ajoneuvot soveltuvat satelliittilaajakaistan käyttöön hyvin koska satelliittilaajakaistaterminaalit ovat kookkaita ja arvokkaita. Lisäksi ajoneuvoissa on usein saatavilla riittävä sähkönsyöttö. Satelliittilaajakaistaa voi käyttää sekä ensisijaisena että varayhteytenä liikkuvan liikenteen kriittisessä viestinnässä. Ensisijaisena yhteytenä se sopii parhaiten sellaisissa sijaintipaikoissa, joissa muuta yhteyttä ei ole saatavana. Esimerkiksi merenkulussa satelliittiyhteyksiä käytetään navigoinnin ja merenkulun lakisääteisten palveluiden lisäksi tarjoamaan internet-yhteyksiä laivan teknisille järjestelmille, henkilöstölle ja matkustajille.

### **2.2.3 Yritysten ja viranomaisten käyttötapaukset**

Maantieteellisistä erityispiirteistä johtuen on useita alueita, joihin maanpäällisten verkkojen peittoa on vaikea tai lähes mahdotonta rakentaa, tai

se on pienestä asiakaspotentiaalista johtuen liian kallista, esimerkiksi hyvin harvaan asutuilla alueilla, maastossa ja merellä. Tällaisilla alueilla voi kuitenkin sijaita yritysten ja viranomaisien kannalta tärkeitä toimintoja. Yritykset hyödyntävät satelliittilaajakaistaa useimmin puheen ja videon siirtoon sekä erilaisten mittaus- ja ohjaustietojen välitykseen kentällä olevista toiminnoista. Viranomaisilla ja esimerkiksi turvallisuus- ja terveydenhuoltosektorin toimijoilla on myös tarvetta varmistaa riittävät toimintamahdollisuudet ja yhteydet kaikilla maantieteellisillä alueilla. Satelliittilaajakaistapalvelut voivat tarjota tiedonsiirtoratkaisun maanpäällisten verkkojen katvealueilla.

## **2.3 Satelliittilaajakaistateknologioiden kehitys ja standardointi**

Vuoden 2024 satelliittilaajakaistajärjestelmät perustuvat pääasiassa laitevalmistajien omiin teknologioihin ja eivät siten ole täysin standardoituja. Standardoituja satelliittijärjestelmiä on lähinnä käytössä video broadcasting-palveluihin (DVB-S/S2) ja ensimmäisissä Direct-to-Device palveluissa. Standardointityö on satelliittilaajakaistateknologioille perinteisesti keskittynyt televisiolähettyksiin, joissa dominoiva standardi on DVB-S/S2.

### **2.3.1 ETSI**

European Telecommunications Standards Institute (ETSI) on Euroopassa tärkeä satelliittistandardointiorganisaatio. Työtä tehdään teknisessä työryhmässä nimeltä Technical Committee Satellite Earth Stations and Systems (TC SES). Työryhmä keskittyy kehittämään standardeja, jotka mahdollistavat tehokkaat ja luotettavat satelliittipalvelut mukaan lukien satelliittilaajakaistan. Digital Video Broadcasting (DVB) standardoi modulaatio- ja koodausmenetelmät satelliittibroadcast-palvelulle. Tämänhetkinen standardi on DVB-S2X. Sitä käytetään laajasti satelliittilaajakaistapalveluissa alasuuntaiseen tiedonsiirtoon. Tämä toimii myös referenssinä 3rd Generation Partnership Project (3GPP) tekemälle työlle satelliittilaajakaistan integroimiseksi mukaan matkaviestinverkkoteknologiaan. Edellä mainitut DVB-spesifikaatiot standardoidaan ETSI:ssä.

### **2.3.2 ITU**

International Telecommunications Union Radiocommunication sector (ITU-R) määrittää sääntelyn maailmanlaajuiset periaatteet radio-ohjesäännöissä. Niissä hallinnoidaan radiotaajuuksien käyttöä, ja erityisesti GEO-satelliittien osalta ITU vaikuttaa taajuuksien kautta satelliittien kiertoratoihin. Radio-ohjesäännöt sisältävät satelliittikäyttöön sallitut taajuusalueet eriteltyinä kiinteisiin (FSS), broadcast (BSS) ja liikkuviin satelliittipalveluihin (MSS). ITU-R sääntelee myös joitain satelliittilaajakaistan teknisiä raja-arvoja, kuten maa-aseman parametrejä, sallittuja tehotiheyksiä maanpinnalla ja signaalien häiriönpoistotekniikoita.

### 2.3.3 CEPT

The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) toimii keskeisessä roolissa Euroopan satelliittilaajakaistan toimintaedellytysten mahdollistamisessa. CEPT harmonisoi satelliittilaajakaistan taajuusalueita Euroopassa. Se valmisteleo radiotaajuuksiin ja satelliittilaajakaistaan liittyviä selvityksiä, joita käytetään materiaalina Euroopan komission ja ITU:n päätöksenteossa. CEPT arvioi eri radiojärjestelmien, mukaan lukien satelliittilaajakaistan, keskinäisiä häiriövaikutuksia, jotta ne voisivat toimia samoilla tai vierekkäisillä taajuuksilla.

### 2.3.4 3GPP

Valtaosa satelliittijärjestelmistä toimivat valmistajien oman teknologisen kehitystyön puitteissa ja eivät siten ole täysin standardoituja. Satelliittilaajakaistajärjestelmiin liittyvää standardointityötä tehdään kuitenkin eräillä kansainvälisillä foorumeilla. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) on globaali matkapuhelinjärjestelmien teknisillä spesifikaatioillaan standardointia tukeva yhteistyöjärjestö. 3GPP on keskeisessä asemassa satelliittilaajakaistan standardoinnissa. Se kehittää teknisiä spesifikaatioita, jotka mahdollistavat satelliitti- ja ilma-aluspohjaisten verkkojen (Non-Terrestrial Networks, NTN) integroinnin osaksi 5G ja 6G -järjestelmiä. Tämä työ kattaa satelliittien käytön eri kiertoradoilla. 3GPP:n tekniset spesifikaatiot määrittelevät kuinka nämä satelliittiverkot voivat toimia yhdessä maanpäällisten verkkojen kanssa tarjoten laajempaa ja luotettavampaa peittoa erityisesti alueilla, joilla maanpäällisten verkkojen peitto on rajallista<sup>1</sup>. Varautumisessa satelliittilaajakaistan merkitys on kuitenkin ensisijaisesti usein nykyisten yhteyksien varmistaminen maanpäällisen verkon laajentamisen sijaan.

## 3 Suomen erityispiirteet satelliittilaajakaistan hyödyntämisessä

*"Suomen pohjoisen sijainnin osalta on huomioitava, että useimpien kaupallisten laajakaistasatelliittipalveluiden LEO-konstellaatiot painottavat palveluita Suomea tiheämmin asutuille alueille kuten Keski-Eurooppaan, ja tarjolla oleva kapasiteetti ja saatavuus ovat ainakin vielä toistaiseksi vähäisempiä Suomen leveysasteilla."*

Suomi on pinta-alaltaan laaja ja harvaanasuttu maa. Harvaan asuttuja, laajoja alueita on erityisesti pohjoisessa ja koillisessa. Etäisyydet asutuskeskusten välillä ovat pitkiä. Suomella on lounaassa laaja saaristo. Talvella lämpötila voi laskea hyvin matalaksi, ja lumitilanteen takia pääsy syrjäisiin

---

<sup>1</sup> 3GPP. Non-Terrestrial Networks (NTN). May 14, 2024.

kohteisiin usein vaikeutuu. Välillä kohteita huoltavat huoltomiehet joutuvat kulkemaan moottorikelkalla syrjäisimpiin kohteisiin.

Tietoliikenneinfrastruktuurin osalta Suomessa on maailmanlaajuisestikin katsottuna huippuluokan maanpäällinen matkaviestinverkko peiton, kapasiteetin, palvelujen edullisen hinnoittelun ja palvelun laadun osalta. Suomessa on monilla alueilla kuitenkin maantieteellisiä erityispiirteitä, kuten jyrkkiä maastokohteita, vesistöjä ja metsiä, joilla on vaikutusta maanpäällisten verkkojen rakentamiseen, kaapelointeihin ja verkkojen kuuluvuuteen.

Suomessa toimii koko maan kattava maanpäällinen viranomaisverkko Virve, joka on käytössä viranomaisilla sekä osalla huoltovarmuusorganisaatioista. Seuraavan sukupolven viranomaisverkko Virve 2 toteutetaan kaupallisia matkaviestinverkkoja hyödyntäen. Virve 2 -verkon varayhteytenä voidaan harkita käytettäväksi myös satelliittiyhteyksiä. Nykyiset huoltovarmuskriittiset toimijat käyttävät Virve-verkon puhe- ja viestipalveluita osana kriittistä viestintää ja mobiiliverkkojen varayhteytenä. Virve ja Virve 2 -verkkojen mahdollinen satelliittikomponentti (esim. IRIS<sup>2</sup>) tulee olemaan yksi mahdollinen vaihtoehto huoltovarmuskriittisille toimijoille. Yksityiskohtaisia tietoja, kuten käyttöönottoajankohtaa, saatavuutta tai hinnoittelua ei kuitenkaan vielä ole tiedossa satelliittipalvelun osalta.

Valtioneuvoston kansallinen avaruusstrategia<sup>2</sup> vuosille 2024-2030 osoittaa, että Suomessa on merkittävää kiinnostusta nostaa viranomaisverkkojen ja muiden kriittisten verkkojen luotettavuutta käyttäen satelliittilaajakaistaa. Ilmatoon ja avaruuteen liittyvät asiat kuvataan Valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista<sup>3</sup>. Päätös edellyttää huoltovarmuusorganisaatioiden varmistavan, että ilmatoon ja avaruuteen liittyviin läpileikkaaviin huoltovarmuusriskeihin ja -vaikutuksiin varaudutaan kokonaisvaltaisesti ja koordinoitusti. Yhteiskunnan toimintaan ja viranomaistyöhön tarvittavat avaruuspohjaisten palvelujen on oltava kaikissa tilanteissa huoltovarmuus-, turvallisuus- ja puolustustoimijoiden käytettävissä.

Suomen pohjoisen sijainnin osalta on huomioitava, että useimpien kaupallisten laajakaistasatelliittipalveluiden LEO-konstellaatiot painottavat palveluita Suomea tiheämmin asutuille alueille kuten Keski-Eurooppaan, ja tarjolla oleva kapasiteetti ja saatavuus ovat ainakin vielä toistaiseksi vähäisempiä Suomen leveysasteilla. Union of Concerned Scientists (UCS) satelliittitietokannan<sup>4</sup> mukaan vuonna 2023 satelliittien kokonaismäärä oli arvioilta noin 7500, ja tietokannan taulukosta laskettuna noin 20 % (eli noin

---

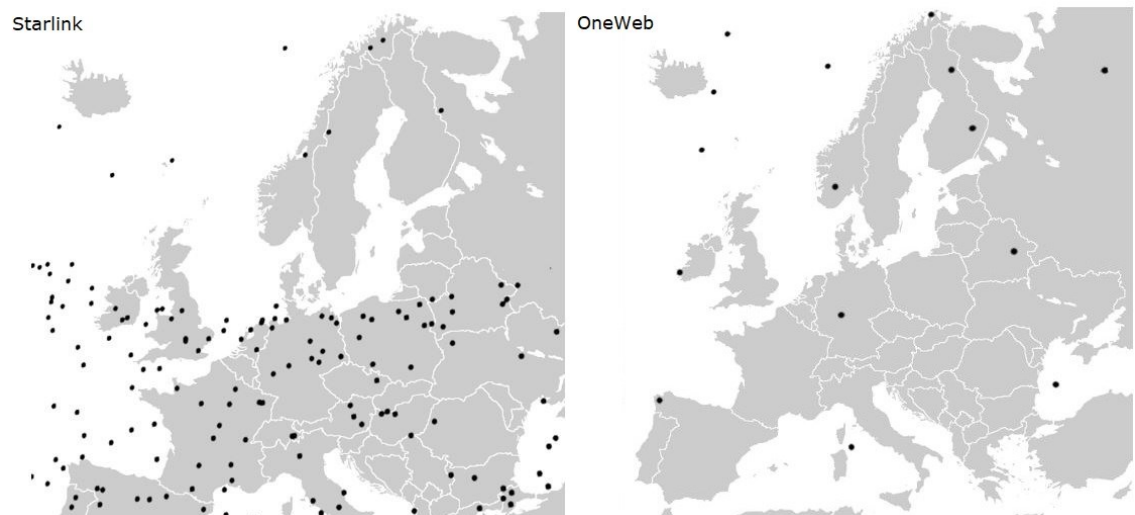
<sup>2</sup> Valtioneuvosto. (2025). Kansallinen avaruusstrategia 2030. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-881-9>

<sup>3</sup> Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista. 568/2024. 24.10.2024.

<sup>4</sup> UCS Satellite database. May 1, 2023. <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>.

1500) niistä oli tietoliikennesatelliitteja, jotka pystyisivät palvelemaan Etelä-Suomen pohjoispuolella.

Tällä hetkellä merkittävimpien LEO-satelliittilaajakaistapalvelujen Starlinkin ja OneWebin pääkiertoradan satelliitit näkyvät alla olevassa kuvassa mustien pisteiden tihentyminä. Eutelsat OneWeb on yrityksille ja julkiselle sektorille satelliittipalveluja tarjoava yritys, joka on tarkemmin kuvattu luvussa 4.1.2. Starlinkillä on myös korkean inkliinaation satelliitteja, jotka tarjoavat palvelua Suomen alueella, mutta satelliitteja on selvityksen kirjoitushetkellä merkittävästi enemmän Keski-Euroopan yllä. OneWebin LEO-satelliittien kiertoradat kulkevat lähes maapallon napojen kautta (Polar Orbit), minkä ansiosta niiden peittoalue Suomessa on suhteellisesti hieman parempi kuin Keski-Euroopassa. OneWebin satelliitit kiertävät suunnilleen pituuspiirien suuntaisesti pohjois-etelä suunnassa. LEO-satelliittien kiertoradan korkeus on 160 – 2 000 km.



Kuva 3. Starlink LEO-satelliittien (vasemmalla) ja OneWeb LEO-satelliittien (oikealla) hetkellisiä sijainteja joulukuussa 2024<sup>5</sup>.

GEO-satelliitit sijaitsevat korkealla päiväntasaajan yläpuolella. Suomen sijainnista johtuen nousukulmat Pohjois-Suomessa ovat matalat, minkä vuoksi päätelaitteen antennin ja palvelua tarjoavan satelliitin väliin jää helposti esteitä kuten puita tai rakennuksia, jotka aiheuttavat katveja. Ongelma korostuu erilaisiin kulkuvälineisiin asennetuissa päätelaitteissa.

Suomen digitaalinen valmius Digital Economy and Society Indexillä (DESI) määritettynä on erittäin korkea. Suomessa on myös pitkät perinteet ja huipputason osaamista tietoliikenneteknologioissa. Suomen

---

<sup>5</sup> Satellitemap.space. 7.12.2024. <https://satellitemap.space/?constellation=starlink>.



tietotekniikkapalveluiden markkina on kuitenkin pieni verrattuna Euroopan suurimpiin talousalueisiin.

Suomi on liikenteen, logistiikan ja kansainvälisten tietoliikennekaapeleiden kannalta Keski-Euroopasta, Baltiasta ja osin myös muista Pohjoismaista erillään sijaitseva maa. Idässä maaraja on pitkä Venäjän kanssa, etelässä on Suomenlahti, lännessä Itämeri ja Pohjanlahti. Maareitti Suomen suurimpien kaupunkien ja Ruotsin suurimpien kaupunkien välillä vaatii pitkän kiertotien tai meriyhteyden. Tällä hetkellä satelliittijärjestelmien maa-asetat ja PoP-pisteet sijaitsevat ulkomailla.

### **Suomen erityispiirteet satelliittilaajakaistan hyödyntämisessä**

Etäisyydet asutuskeskusten välillä ovat pitkiä, iso osa pinta-alasta on harvaanasuttuja alueita ja Suomella on laaja saaristoalue.

Talvella lämpötila voi laskea hyvin matalaksi, ja lumitilanteen takia pääsy syrjäisiin kohteisiin usein vaikeutuu.

Suomessa toimii kansainvälisellä tasollakin mitattuna laadukkaat matkaviestinverkot ja valokuituyhteyksien saatavuus kehittyy koko ajan. Verkot rakentuvat markkinaehtoisesti, joten niiden saatavuus ja palvelutaso on rajoittuneempaa haja-asutusalueilla.

Suomen pohjoisen sijainnin osalta on huomioitava, että useimpien kaupallisten laajakaistasatelliittipalveluiden LEO-konstellatit painottavat palveluita Suomea tiheimmin asutuille alueille kuten Keski-Eurooppaan, ja tarjolla oleva kapasiteetti ja saatavuus on merkittävästi vähäisempää Suomen korkeudella.

GEO-satelliitit sijaitsevat korkealla päiväntasaajan yläpuolella. Suomen sijainnista johtuen nousukulmat Pohjois-Suomessa ovat matalat, minkä vuoksi päätelaitteen antennin ja palvelua tarjoavan satelliitin väliin jää helposti esteitä kuten puita tai rakennuksia, jotka aiheuttavat katveja. Ongelma korostuu erilaisiin kulkuvälineisiin asennetuissa päätelaitteissa.

Tällä hetkellä satelliittijärjestelmien maa-asetat ja PoP-pisteet sijaitsevat ulkomailla.

Taulukko 1. Suomen erityispiirteet satelliittilaajakaistan hyödyntämisessä

## 4 Saatavilla olevia satelliittilaajakaistapalveluita

*"Suomessa on selvityksen kirjoitushetkellä 2024 joulukuussa saatavilla Starlink ja OneWeb Low Earth Orbit (LEO) satelliittilaajakaistapalveluja."*

Satelliittipohjaisen viestinnän kenttä on kehittynyt nopeasti viime vuosien aikana. Kentällä tapahtuu jatkuvasti muutoksia esimerkiksi eri palveluntarjoajien konstellatioiden kehittyessä ja laukaistujen satelliittien määrän kasvaessa nopeasti. Satelliittioperaattoreiden liiketoimintoja integroidaan ja omistussuhteet muuttuvat. Konkurssiriski on myös olemassa palvelujen kehitysvaiheessa. Pieneen tarjoajien määrään sisältyy useita uhkia, kuten monopoliaseman syntyminen, palveluntarjoajan tekemät Suomen kannalta epäedulliset muutokset ja resilienssiä tarjoavien useiden rinnakkaisten vaihtoehtojen puuttuminen. Tämä luku kuvaa eri satelliittijärjestelmien ja saatavilla olevien palvelujen tilannetta selvityksen kirjoitushetkellä loppuvuodesta 2024. Lukijan on syytä pitää mielessä, että kentän kehitys on nopeaa ja tilanne muuttuu nopeasti.

Suomessa satelliittilaajakaistapalveluita on ollut saatavilla GEO-satelliiteista ainakin vuodesta 2011, jolloin Sonera (nykyisin Telia) aloitti Eutelsat Tooway satelliittipalvelut. Suomessa yleisimmin vastaanotettavia GEO-satelliitteja ovat SES:n Astra, Eutelsat:n Hot Bird, SES:n Sirius ja Space Norwayn Thor.

Suomessa on selvityksen kirjoitushetkellä 2024 joulukuussa saatavilla Starlink ja OneWeb Low Earth Orbit (LEO) satelliittilaajakaistapalveluja. Suomessa palvelujen saatavuuden kannalta laukaistujen satelliittien määrän lisäksi oleellista on niiden kiertoradat ja missä määrin ne palvelevat pohjoisia alueita joihin Suomi kuuluu. Valtaosa Starlinkin satelliiteista ei kulje Suomen yli, vaan ne keskittyvät tarjoamaan palvelua Keski-Euroopan leveysasteille, jossa asiakaspotentiaali on suurempi. OneWebin LEO-satelliittien kiertoradat kulkevat lähes maapallon napojen kautta, mutta satelliittien kokonaismäärä on toistaiseksi rajallinen verrattuna Starlinkin satelliittien määrään. LEO-satelliittipalveluissa Starlinkin laukaisemien satelliittien määrä onkin merkittävästi suurempi kuin sen kilpailijoilla.



## 4.1 LEO-palvelut

Satelliittilaajakaistapalveluja toteutetaan ensisijaisesti matalilla kiertoradoilla olevien LEO-satelliittien avulla.

### 4.1.1 Starlink (SpaceX)

SpaceX:n (US) kehittämä Starlink satelliittilaajakaistapalvelu on selvä markkinajohtaja, ja palvelua on tarjottu Suomessa vuodesta 2022. Starlinkillä arvioidaan olevan 2.7 miljoonaa tilaajaa 75 maassa vuonna 2024. LEO-satelliittien elinikä on noin 5 vuotta. Starlinkin Gen 1 satelliitteja laukaistaan 5039 kappaletta vuosina 2023-2027 ja 4630 kappaletta 2028-2032. Gen 2 satelliitteja on kiertoradalla 2269 kappaletta vuosina 2023-2027. Gen 3 satelliitteja laukaistaan 3540 kappaletta vuosina 2023-2027 ja 2160 kappaletta vuosina 2028-2032<sup>6</sup>. Starlinkin maa-asemien sijainnit eivät ole julkisesti tiedossa.

Starlinkin satelliittivalmistus ja SpaceX:n satelliittien kantoraketti Falcon 9 ovat tukeneet Starlinkin nopeaa kehitystä ja markkinan valtausta. Starlink laajentaa palvelua kuluttajasektorin ulkopuolella yrityksille, ajoneuvo- ja viranomaispalveluihin. SpaceX on yksityinen yritys, jossa suurinta määräysvaltaa käyttää yksittäinen henkilö noin 50 % omistusosuudella. Muita osakkeenomistajia ovat institutionaaliset sijoittajat ja rahastoja mukaan lukien Google sekä suuri joukko yksityisiä sijoittajia. Starlinkillä on tällä hetkellä hallitseva markkina-asema satelliittilaajakaistapalveluissa. Hallitsevaan markkina-asemaan liittyy aina riskejä liiketoimintaa ja varautumista suunnittelevan loppukäyttäjän näkökulmasta. Starlink on pystynyt mullistamaan satelliittitietoliikennepalvelutarjonnan suurella määrällä satelliitteja, valtavalla kapasiteetilla, kuluttajille suunnatuilla palveluilla ja edullisilla hinnoilla. Laajakaistapalveluiden lisäksi Federal Communications Committee (FCC) myönsi SpaceX:lle luvan operoida Direct-to-device palvelua T-Mobile matkapuhelinoperaattorin kanssa Yhdysvalloissa 26.11.2024<sup>7</sup>.

### 4.1.2 Eutelsat OneWeb

Eutelsat OneWeb (GB & US) ja Inmarsat Maritime edistävät satelliittilaajakaistateknologiaa yhteistyössä. Inmarsat yhdistyi Viasatin kanssa vuonna 2023. Eutelsat ja OneWeb yhdistyivät 2023 lopulla. OneWebillä on vuoden 2024 loppuun mennessä 654 LEO-satelliittia kiertoradalla. Näiden lisäksi on tulossa 100 uutta LEO-satelliittia 2026 alkaen Eutelsatin kautta ja osana IRIS<sup>2</sup> hanketta 264 satelliittia noin vuonna 2030. OneWeb LEO-laajakaistapalvelu aloitti Suomessa vuonna 2021. OneWebin painopiste on Business-to-business (B2B) -segmentissä. Joulukuussa 2024 OneWeb ei tarjoa suoraan kuluttajapalveluita, mutta sillä on tukkumyyntikumppaneita, jotka

---

<sup>6</sup> Euroconsult. Satellites to be built and launched 2023.

<sup>7</sup> Via Satellite. FCC approves Starlink Direct-to-Cell service with T-Mobile. November 27, 2024.

voivat tarjota laajakaistapalveluita kuluttajille. OneWebin konstellaation valinnasta johtuen OneWebillä on enemmän satelliitteja arktisella alueella kuin esimerkiksi Starlinkillä. OneWebin maa-asema sijaitsee Ruotsissa ja Norjassa, ja Point-of Presence (PoP) -pisteet Amsterdamissa ja Lontoossa. Viranomaisverkon ylläpitotoimittaja Airbus tarjoaa OneWeb-palvelua kyber-turvallisen tietoliikennesatelliittipalvelun vaatimaan viranomaiskäyttöön<sup>8</sup>.

#### **4.1.3 Amazon Project Kuiper**

Amazon Project Kuiper (US) on kirjoitushetkellä kehitysvaiheessa ja kehittää satelliittilaajakaistateknologiaa investoimalla 3236 satelliitin LEO-konstellaatioon ja sitä tukevaan infrastruktuuriin. Project Kuiperin on tarkoitus avata palvelu vuonna 2025. Project Kuiper maa-asemat tai point-of-presence tiedot eivät ole julkisesti saatavilla. Amazon Kuiperin käyttö kiinnostaa erityisesti organisaatioita, jotka käyttävät Amazon Web Services (AWS) pilvipalveluita. Tätä tukee myös AWS ground station -palvelu, joka mahdollistaa satelliittikommunikaation, datan vastaanoton ja käsittelyn ilman oman maa-asemainfrastruktuurin rakentamista. Palvelu integroituu suoraan AWS:n globaaliin infrastruktuuriin tarjoten matalan viiveen ja korkean kais-tanleveyden yhteyksiä<sup>9</sup>. Kuiperin painopiste on Business-to-business (B2B) segmentissä. Suunnitelmien mukaan Amazon Kuiper palvelualue rajoittuu ensimmäisessä vaiheessa pohjoisessa 56. leveyspiiriin<sup>10</sup>. Pohjois-Euroopan ja Suomen peitto on tarkoitus tulla palvelun piiriin myöhemmissä vaiheissa.

#### **4.1.4 Telesat**

Telesatin (CA) kehittämä Telesat Lightspeed LEO-konstellaatio tulee tarjoamaan satelliittilaajakaistapalveluja globaalisti. Telesat on varmistanut CAD 2,54 miljardin rahoituksen Kanadan valtiolta palvelun käynnistämiseen. Yhteistyössä kanadalaisen MDA-yrityksen kanssa Telesat pyrkii tarjoamaan palvelua viranomais- ja puolustuskäyttöön esimerkiksi NATO:lle ja North American Aerospace Defense Commandille (NORAD)<sup>11</sup>. Telesat Lightspeed tulee tarjoamaan palvelua myös Pohjois-Euroopassa. Satelliitit on määrä laukaista vuonna 2026<sup>12</sup>.

#### **4.1.5 Iridium**

Iridium Communications (US) kehittää Direct-to-Device (D2D) NTN-ratkai-suja, jotka ovat integroitavissa osaksi 5G ja 6G -verkkoinfrastruktuuria.

---

<sup>8</sup> Erillisverkot. (2022). Erillisverkot, Airbus ja Puolustusvoimat testasivat OneWeb-satelliittipalvelua - toimintavarmuutta pohjoisiin oloihin. Press release. 12.9.2022.

<sup>9</sup> Amazon. Amazon Web Services announces AWS ground station. Press release. Nov 27, 2018.

<sup>10</sup> Dux, Simon. Ofcom consults on Amazon Kuiper NGSO licence application. MobileEurope. Sep-tember 6, 2024.

<sup>11</sup> Telesat. Telesat completes \$2.54 billion funding agreements for Telesat Lightspeed satellite constellation with strong government backing. Press release. 13.9.2024.

<sup>12</sup> Telesat. Telesat and MDA Space complete key milestone for Telesat Lightspeed constellation. December 4, 2024.

Muita D2D-toimijoita ovat Ligado Networks, Viasat, Skylo, Deutsche Telekom ja Qualcomm. Iridiumin LEO-satelliittikonstellaatio on suunniteltu toimimaan suoraan älypuhelimien ja Internet of Things (IoT)-laitteiden kanssa. Iridium 5G D2D palvelut on määrä avata vuonna 2026.

## **4.2 MEO-palvelut**

Medium Earth Orbit (MEO) -satelliitit sijaitsevat korkeammilla kiertoradoilla (2 000 – 20 000 km) kuin LEO-satelliitit. Korkeampi sijainti mahdollistaa yhden satelliitin laajemman peittoalueen kuin LEO-satelliiteilla. MEO-konstellaatiossa tarvitaan siten vähemmän satelliitteja kuin LEO-konstellaatiossa samalle peittoalueelle. Yksittäinen MEO-satelliitti näkyy pidempään maanpinnalla yhden alueen yllä, minkä ansiosta tarvitaan vähemmän satelliittien välisiä yhteydensiirtoja kuin LEO-satelliiteilla. MEO-satelliitit ovat pidempi-ikäisiä kuin LEO-satelliitit ja niihin kohdistuu vähemmän ilmakehän aiheuttamia häiriöitä. MEO-satelliitteja käytetään erityisesti paikannuspalveluihin kuten Global Navigation Satellite System (GNSS). MEO-konstellaatioilla on vaikeampi toteuttaa suurta tiedonsiirtokapasiteettia verrattuna LEO-satelliitteihin, ja viiveet ovat suurempia.

### **4.2.1 SES I3b mPOWER**

SES (LU) kehittää multi-orbit strategiaa, joka integroi GEO- ja MEO-satelliitit. SES:llä on O3b mPOWER -konstellaatio, joka käyttää MEO-satelliitteja laajakaistapalvelujen tarjoamiseen merenkulkuun, ilmailuun ja syrjäseuduille. SES on jäsenenä IRIS<sup>2</sup> kilpailutuksen voittaneessa SpaceRISE-konsortiossa. SES kehittää myös ohjelmistosatelliitteja, jotka parantavat kapasiteettiallokoinnin joustavuutta ja suorituskyvyn optimointia asiakastarpeen mukaan.



### 4.3 GEO-palvelut

GEO-satelliittien kiertoradan korkeus on 35 786 km. GEO-satelliittien sijainti päiväntasaajan yläpuolella aiheuttaa sen, että Suomessa GEO-satelliittiantennien kulma on matala, ja on vaikea löytää esteetöntä näkymää satelliittiin. GEO-satelliittipalvelut toimivat noin puolen metrin lautasantenneilla Etelä-Suomessa, mutta niiden käyttäminen Pohjois-Suomessa on hankalaa antennien suuresta koosta ja satelliitin matalasta nousukulmasta johtuen. Esimerkiksi Eutelsatin Konnect-palvelun keilat peittävät Suomesta vain Uudenmaan alueen. GEO-radalla kiertää useita satoja satelliitteja. Näistä osa on toiminnassa olevia tietoliikenne-, sää- ja TV-lähetys-satelliitteja, kun taas osa on käytöstä poistettuja satelliitteja ja avaruusromua. GEO-palveluiden asiakashinnat ovat laajakaistakäytössä myös erittäin kalliita verrattuna Starlinkin LEO-palveluun, vaikka palvelun €/bit-tuotantokustannukset GEO-satelliiteilla saattavat olla matalammat. GEO-satelliiteilla saadaan koko maapallon teoreettinen kattavuus aikaiseksi jo kolmella satelliitilla, mutta etenemisviiveet kasvavat alimpien LEO-satelliittien muutamasta kymmenestä millisekunnista GEO-satelliittien useisiin satoihin millisekunteihin.

#### 4.3.1 Viasat

Viasat (US) kehittää satelliittilaajakaistapalvelua osana Arctic Satellite Broadband -missiotaan, joka pyrkii tarjoamaan laajakaistayhteyksiä Pohjoisnapaa ympäröiville alueille. Viasat toimii yhteistyössä yrityksen Space Norway:n kanssa. Tämä kattaa uusien High Elliptical Orbit (HEO) -satelliittien käyttämisen, jotka mahdollistavat jatkuvan peiton Pohjoisnavan alueella erityisesti kriittistä infrastruktuuria vaativille käyttäjille kuten valtiollisille ja kaupallisille toimijoille ja tutkijoille<sup>13</sup>.

#### 4.3.2 Eutelsat Konnect

Eutelsat (FR) on jäsenenä IRIS<sup>2</sup> kilpailutuksen voittaneessa SpaceRISE-konsortiossa. Yrityksen OneWeb-LEO-konstellaatio on keskeisessä roolissa meriliikenteen ja etäalueiden internetyhteyksien parantamisessa<sup>14</sup>. Sonera (nykyinen Telia) alkoi myydä Eutelsatin Tooway GEO-laajakaistapalvelua vuonna 2011. Tooway käyttää ensisijaisesti Eutelsatin Ka-Sat satelliittia. Eutelsatin Hotbird-satelliitti tarjoavat ensisijaisesti kansainvälisiä televisio- ja radiokanavia.

---

<sup>13</sup> Viasat. (2024). Arctic broadband on the way as Viasat confirms successful launch. Press release. 11.8.2024.

<sup>14</sup> Eutelsat. (2024). Inmarsat Maritime selects Eutelsat's OneWeb LEO network to support maritime connectivity service. Press release. 25.9.2024.

### **4.3.3 SES**

SES S.A. (LU) tarjoaa GEO-laajakaistapalveluita Suomessa Astra-satelliittien kautta. SES Sirius GEO-satelliitti tarjoaa myös digitaalitelevisiolähettyksiä ja viestintäpalveluita Suomessa.

### **4.3.4 Space Norway**

Space Norway (NO) tarjoaa satelliittilaajakaistapalveluita Suomessa. Sillä on käytössä sekä GEO että High Elliptical Orbit (HEO) satelliitteja. Space Norwayn Thor GEO-satelliitit tarjoavat Pohjoismaat kattavan peittoalueen.

## **4.4 HEO-palvelut**

High Elliptical Orbit (HEO) -satelliittien kiertoradat ovat korkeampia (yli 35 786 km) kuin GEO-satelliiteilla. HEO-satelliitteja on vähemmän verrattuna LEO- tai GEO-satelliitteihin. Elliptiset kiertoradat voidaan suunnitella siten, että satelliitit pysyvät pidemmän aikaa valittujen alueiden päällä. HEO-satelliiteilla on mahdollista kattaa napa-alueita.

### **4.4.1 Space Norway**

Space Norway (NO) (ennen Telenor Satellite) tarjoaa High Elliptical Orbit (HEO) satelliittipohjaisia laajakaistapalveluja erityisesti arktisille alueille, joilla perinteiset yhteydet ovat rajallisia<sup>15</sup>. Yhtiön Arctic Satellite Broadband Mission (ASBM) -ohjelma koostuu kahdesta satelliitista, jotka on sijoitettu elliptisille radoille. Nämä satelliitit tarjoavat jatkuvaa laajakaistayhteyttä 65. leveyspiirin pohjoispuolella. Palvelu on suunnattu sekä siviili- että sotilaskäyttöön.

## **4.5 Multi-orbit palvelut**

Multi-orbit järjestelmillä pyritään yhdistämään LEO-konstellaatioiden lyhyet viiveet ja suuri kapasiteetti, GEO-satelliittien laajat peittoalueet ja pysyvät yhteydet, sekä MEO-satelliittien ominaisuudet LEO- ja GEO-konstellaatioiden välillä.

### **4.5.1 SES**

SES operoi maailman ainoaa multi-orbit konstellaatiota, joka yhdistää GEO- ja MEO-satelliitit. SES:n O3b mPOWER -järjestelmä tarjoaa korkealaatuista ja vähäviiveistä yhteyttä globaalisti. Intelsat -yritys on integroitu osaksi luxemburgilaista SES-satelliittioperaattoria<sup>16</sup>. Intelsatin ja SES:n

---

<sup>15</sup> Space Norway. (2024). Arctic Satellite Broadband Mission (ASBM) handover marks an important milestone. Press release. Oct 17, 2024.

<sup>16</sup> SES. (2024). SES and Intelsat: A compelling combination for the future of satellite connectivity. Press release 30.4.2024.

tarkoituksena on laajentaa multi-orbit kyvykkyyttä GEO- ja MEO-konstel-laatioilla. Uusi yhdistynyt yritys hallitsee laajaa taajuusportfoliota mukaan lukien C-, Ku- ja Ka-taajuusalueet. Palveluiden tarkoituksena on tarjota vä-liaikaisia yhteyksiä ja linkittää kulkuneuvoja erityisesti organisaatioille, jotka operoivat vaikeapääsyisillä tai katastrofialueilla.

#### **4.5.2 Intelsat**

Yhteistyössä OneWebin kanssa Intelsat tarjoaa palveluita, jotka hyödyntä-vät sekä GEO- että LEO-satelliitteja vastaten asiakkaiden kasvavaan kysyn-tään monikiertoratapalveluille.

#### **4.5.3 Inmarsat**

Inmarsat (GB) edistää satelliittiviestintää erityisesti meriliikenteessä, ilmai-lussa ja valtiollisille toimijoille tarjottavissa palveluissa. Lisäksi Inmarsat tu-lee hyödyntämään multi-orbit ratkaisuja Ka-, L- ja S-taajuuskaistoilla. In-marsat on ollut vuodesta 2023 lähtien osa Viasat-yritystä<sup>17</sup>.

#### **4.5.4 Hispasat**

Hispasat (ES) on jäsenenä IRIS<sup>2</sup> kilpailutuksen voittaneessa SpaceRISE-konsortiossa. Hispasat on kehittänyt Multiorbit-ratkaisun, joka yhdistää GEO- ja LEO-satelliittien parhaat ominaisuudet. Tämä hybridiratkaisu tar-joaa vakaita, turvallisia ja redundanttisia yhteyksiä erityisesti yritys-, me-renkulku-, ja tukiasemien runkoverkkoyhteyksien tarpeisiin.

### **4.6 Palveluiden hinnat**

Palveluiden hinnat tulevat kehittymään ajan kuluessa. Tässä luvussa ja alla olevassa taulukossa (taulukko 2) esitetään esimerkinomaisesti Starlinkin hinnoittelu tammikuussa 2025. Edullisin liittymä on matkailuautoihin tarkoi-tettu roaming liittymä, joka on 40 €/kk. Se sisältää 50 GB dataa. Kaikissa muissa liittymissä datamäärä on rajoittamaton. Yrityслиittymistä edullisin maksaa 70 €/kk, mihin kuuluu 40 GB priorisoitua tiedonsiirtoa. Priorisoitu data välitetään ennen priorisoimatonta dataa. Maa-alueilla käytettävien sa-telliittipäätelaitteiden hinnat ovat 349–2 962 € ja merellä 2962 €. Muiden palveluntarjoajien hinnat ovat tällä hetkellä Starlinkiä korkeampia. Starlin-kin kautta saavutettava tiedonsiirtonopeus ei ole taattua joka tilanteessa, vaan siihen vaikuttaa muiden tilaajien käyttöaste. Useimmilla muilla satel-liittioperaattoreilla on mahdollista saada taattua tiedonsiirtokapasiteettia, mutta silloin hinnat nousevat matalillakin tiedonsiirtonopeuksilla (esim. 1 Mbit/s) vähintään kymmenkertaisiksi kuukaudessa.

---

<sup>17</sup> Inmarsat. (2023). Viasat completes acquisition of Inmarsat. Press release. 31.3.2023.



<b>Käyttäjä</b>	<b>Sijainti</b>	<b>Priorisoitu data</b>	<b>Laitekustannus</b>	<b>Kuukausihinta</b>
<b>Kuluttaja</b>	Kiinteä	Ei priorisoitua dataa	349 €	50 €
<b>Kuluttaja</b>	Roam	Ei priorisoitua dataa, 50 GB datakatto	Standard 349 €, Mini 399 €	40 €
<b>Kuluttaja</b>	Roam	Ei priorisoitua dataa, ei datakattoa	Standard 349 €, Mini 399 €	72 €
<b>Kuluttaja</b>	Meri	50 GB	2962 € Flat high-performance	296 €
<b>Kuluttaja</b>	Meri	1 000 GB	2961,80 € Flat high-performance	1 185 €
<b>Yritys</b>	Kiinteä	40 GB	349 € Standard 799 € Enterprise 2962 € Flat high-performance	70 €
<b>Yritys</b>	Kiinteä	1 000 GB	349 € Standard 799 € Enterprise 2962 € Flat high-performance	223 €
<b>Yritys</b>	Kiinteä	2 000 GB	349 € Standard 799 € Enterprise 2962 € Flat high-performance	446 €
<b>Yritys</b>	Mobile	50 GB	349 € Standard 799 € Enterprise 2962 € Flat high-performance	296 €
<b>Yritys</b>	Mobile	1 000 GB	349 € Standard 2962 € Flat high-performance	1 185 €
<b>Yritys</b>	Mobile	5 000 GB	349 € Standard 2962 € Flat high-performance	5 850 € - 5 926 €
<b>Yritys</b>	Meri	50 GB	2962 € Flat high-performance	296 €
<b>Yritys</b>	Meri	1 000 GB	2962 € Flat high-performance	1 185 €
<b>Yritys</b>	Meri	5 000 GB	2962 € Flat high-performance	5 850 € - 5 926 €

Taulukko 2. Starlinkin satelliittilaajakaistaliittymien hinnoittelu 13.1.2025<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Starlink. <https://www.starlink.com/>.

## 4.7 Julkisen sektorin tavoittelemat satelliittilaajakaistajärjestelmät

Euroopan valtiollisia satelliittilaajakaistajärjestelmiä tarjoavat The European Union Governmental Satellite Communications (GovSatCom), joka tulee käyttämään Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite (IRIS<sup>2</sup>) -satelliittipalveluja<sup>19</sup>. IRIS<sup>2</sup>-palvelut tulevat myös saataville suoraan ilman GovSatCom-linkitystä.

### 4.7.1 IRIS<sup>2</sup>

IRIS<sup>2</sup> on Euroopan Unionin uusi satelliittilaajakaistajärjestelmä, jonka toimittava konsortio julkistettiin lokakuun 2024 lopussa<sup>20</sup>. SpaceRISE-konsortio vastaa IRIS<sup>2</sup>:n kehittamisestä, käyttöönotosta ja operoinnista. Konsortion muodostavat kolme eurooppalaista satelliittioperaattoria: SES SA, Eutelsat SA ja Hispasat S.A. Näiden lisäksi on julkaistu alihankkijat Thales Alenia Space, OHB, Airbus Defence and Space, Telespazio, Deutsche Telekom, Orange, Hisdesat ja Thales SIX. Järjestelmä tarjoaa laajakaistapalveluita Euroopan kansalaisille, yksityisille yrityksille ja viranomaiskäyttäjille. Konstellaatio muodostuu useasta eri kiertorataluokasta: GEO, MEO ja LEO. Palvelu kattaa Euroopan ja koko Afrikan<sup>21</sup>. Viranomaiskäyttö sisältää rajavalvonnan, kriisienhallinnan ja kriittisen infrastruktuurin tietoliikennetyksien varmistamisen. IRIS<sup>2</sup>-järjestelmä koostuu yli 290 satelliitista, jotka sijoitetaan eri kiertoradoille. Sen tavoitteena on tarjota turvallisia ja luotettavia laajakaistapalveluita sekä julkisille että kaupallisille käyttäjille. Järjestelmän odotetaan olevan täysin operatiivinen vuoteen 2030 mennessä. IRIS<sup>2</sup>:n vahvuus on, että se vahvistaa Euroopan suvereniteettia satelliittilaajakaistan osalta. Suomen tavoitteena voisi esimerkiksi olla saada kaksi maa-asemaa, yksi eteläiseen Suomeen ja toinen pohjoiseen Suomeen. Pohjoinen maa-asema voisi myös olla yhteiskäytössä muiden Pohjoismaiden kanssa.

### 4.7.2 GovSatCom

GovSatCom on EU-rahoitteinen hanke, jonka tarkoituksena on luotettavan, turvallisen ja kustannustehokkaan satelliittiratkaisun kehittäminen valtiollisiin viranomaissovelluksiin. Hanke on kaksivaiheinen, joista ensimmäinen vaihe päättyy vuonna 2025. Potentiaalisiin loppukäyttäjiin kuuluvat mm. puolustusvoimat, poliisi, rajavalvonta ja muut viranomaiset. Käyttäjät tarvitsevat erityisen GovSatCom-valtuutuksen käyttääkseen palvelua, jossa hallitaan systemaattisesti käyttöoikeuksia ja mahdollisia turvallisuusuhkia. Palvelu sisältää tyypilliset tietoliikennepalvelut mm. äänipuhelut,

<sup>19</sup> EUSPA GOV. (2024). GOVSATCOM. Apr 29, 2024. <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/secure-satcom/govsatcom>.

<sup>20</sup> European Commission. (2024). IRIS<sup>2</sup> - the European Commission awards the concession contract to SpaceRISE consortium. Press release. Oct 31, 2024.

<sup>21</sup> EUSPA IRIS. (2024). IRIS<sup>2</sup>. Apr 26, 2024. <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/secure-satcom/iris2>.

sähköpostin ja videonsiirron, mutta myös erikoistuneempia palveluja kuten etähoito ja logistiikan seuranta. GovSatCom-ohjelma on aloitettu hankkimalla kapasiteettia valtiollisilta ja kaupallisilta satelliittioperaattoreilta.

#### 4.8 Laitteet

*"Toistaiseksi jokainen satelliittijärjestelmä tarvitsee oman tyyppisen vastaanotinlaitteen. 3GPP:n Non-Terrestrial Network (NTN) -spesifikaatiot tulevat mahdollistamaan saman päätelaitteen yhteensopivuuden useamman satelliittioperaattorin verkkoon."*

Yritykset ostavat satelliittilaitteet usein palveluna toimittajan kautta sen sijaan, että he tekisivät suoraan sopimuksen satelliittioperaattorin ja laitetuottajan kanssa. Toimittaja vastaa palvelun kokonaissuorituskyvystä, mukaan lukien laitteiden hankinnan, asennuksen, huollon ja satelliittiyhteyden toimivuuden. Toimittajan kokonaisvastuun tulee kattaa myös mahdolliset häiriötilanteet ja niiden ratkaisut.

Satelliittilaajakaistapalveluihin sopivia antenneja tai terminaali-antenniyhdistelmiä on tällä hetkellä karkeasti kahdenlaisia: merenkulkuun tarkoitettuja kupolimaisia Very Small Aperture Terminal (VSAT)- ja Inmarsat-antenneja ja paneeliantenneja (Kuva 5). Muita satelliittilaajakaistapäätelaiteluokkia ovat kiinteät terminaalit, siirrettävät terminaalit, liikuteltavat terminaalit sekä ammattikäyttöön tarkoitettut terminaalit ja kuluttajaterminaalit. Näiden lisäksi on kädessä pidettäviä laitteita, jotka toistaiseksi soveltuvat puheyhteyteen (Kuva 6) tai lyhyiden viestien lähettämiseen ja vastaanottamiseen (Kuva 7).

GEO-satelliittiantennit ovat yleensä lautasantenneja, ja välillä ne ovat suojakuvulla peitettyjä. Halkaisijaltaan 60-90 cm lautasantennit riittävät Suomen eteläosissa satelliittilaajakaistapalveluihin, joissa signaalin vastaanottoalue on lähellä satelliittikeilan keskiosaa Ka- (26.5-40 GHz) tai Ku (12-18 GHz) -taajuuskaistoilla. 100-120 cm halkaisijan lautasantennit käytetään alueilla, joilla signaalin vahvuus on heikompi tai jos palvelu käyttää kaapekeilaisia, spot beam, peittoalueita, jotka vaativat normaalia tarkempaa kohdistusta ja vastaanottokykyä. 120-300 cm halkaisijan lautasantenneja käytetään erityisesti C (4-8 GHz) -taajuuskaistalla.

Taulukko 3 listaa Starlinkin paneeliantennimallien paneelien koot ja hinnat raportin kirjoitushetkellä. Starlinkin valmistama kuluttajalaitteisto sisältää antennipaneeliin integroidun vastaanottimen sekä reittimen, jonka avulla luodaan WiFi-yhteys käyttäjälaitteisiin. Starlink-vastaanotin etsii automaattisesti parhaan antennisuunnan sekä optimaalisen satelliittilinkin. Kuva esittelee OneWebin ammattikäyttöön suunniteltuja päätelaitteita. OneWebin päätelaitteet tulevat erillisiltä päätelaitteita valmistavilta yhtiöiltä. Paneeliantennin sijoittaminen, kiinnittäminen ja käyttöönotto on selvästi

helpompaa kuin VSAT-antennien, jotka yleensä ovat kuvulla suojattuja lautasantenneja. VSAT-antennit ovat paneeliantenneja suurempia ja raskaampia, minkä vuoksi ne vaativat tukevamman asennuspaikan, raskaammat asennustelineet ja raskaampia koneistoja antennin suuntaukseen kuin paneeliantennit. VSAT-antennien kohdistus on tarkkaa työtä. Ne tarvitsevat taajuuksien ja signaalinvahvuuden konfiguroinnin satelliittimodeemin kanssa, kun taas paneeliantennien yhteydessä on plug-and-play-tyylinen käyttöönotto erityisesti laajakaistayhteyksissä. Paneeliantennien hinnat ovat noin kymmenesosa kupoliantennien hinnasta. Toistaiseksi jokainen satelliittijärjestelmä tarvitsee oman tyyppisen vastaanotinlaitteen. 3GPP:n Non-Terrestrial Network (NTN) -spesifikaatiot tulevat mahdollistamaan saman päätelaitteen yhteensopivuuden useamman satelliittioperaattorin verkkoon.

<b>Starlink päätelaitemalli</b>	<b>Paneelin koko</b>	<b>Hinta</b>
<b>Mini</b>	298,5 mm x 259 mm	399 €
<b>Standard</b>	594 mm x 383 mm	349 €
<b>Flat high performance</b>	575 mm x 511 mm	2 389 €

Taulukko 3. Starlink päätelaitteiden paneelien kokoja<sup>22</sup>



Kuva 4. Starlinkin ammattikäyttöön tarkoitettu päätelaite (Flat high performance)<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Starlink. Specifications. 18.11.2024. <https://www.starlink.com/specifications>.

<sup>23</sup> Starlink. Specifications. 18.11.2024. <https://www.starlink.com/business/fixed-site>.



Kuva 5. OneWeb päätelaitteita. Vasemmalla ylhäällä VSAT-termiinali, vasemmalla keskellä paneeliantenni yleiskäyttöön, vasemmalla alhaalla paneeliantenni lentokoneeseen. Oikealla repussa kannettava paneeliantenni<sup>24</sup>.



Kuva 6. Satelliittipuhelimia (ei laajakaistapalveluihin) vasemmalla Iridium Extreme ja oikealla Iridium LT-4200L<sup>25</sup>



Kuva 7. Vasemmalla Iphone 14, joka on yhteydessä Globalstarin verkkoon. Oikealla Garmin inReach, jolla voi lähettää hätäviestejä Iridiumin kautta<sup>26</sup> (ei laajakaistapalveluihin).

---

<sup>24</sup> OneWeb terminals. 18.11.2024. <https://oneweb.net/resources/hardware/user-terminals>.

<sup>25</sup> Iridium. Satellite phones. 18.11.2024. Iridium Extreme, Iridium LT-4200L <https://www.iridium.com/product-type/satellite-phones/>

<sup>26</sup> Marshall, Andrew. Can Apple's new iPhone 14 replace your Garmin inReach? 12.9.2022. <https://backpackinglight.com/apple-iphone-14-vs-garmin-inreach/>

## 4.9 Satelliittilaajakaistajärjestelmien suorituskyky

Suomessa ja myös muissa Pohjoismaissa on tehty useita satelliittilaajakais-tamittauskampanjoita<sup>27,28,29,30,31</sup>. Yleisesti ottaen suorituskyky näissä mit-tauksissa oli erittäin hyvä. Starlink-päätelaitteilla suoritetuissa testeissä saavutettiin vuonna 2023 mediaanitiedonsiirtonopeudet 164 Mbit/s ala-suuntaan Standard päätelaitteella, 222 Mbit/s High performance -päätelait-teella Helsingissä. Vastaavat nopeudet yläsuuntaan olivat 15 ja 18 Mbit/s. Käsivarren Lapissa alasuunnan mediaaninopeudet olivat Standard päätelait-teella 200 Mbit/s ja 217 Mbit/s High performancella. Yläsuunnan nopeudet vastaavissa tapauksissa olivat 17 ja 18 Mbit/s. Edestakaiset mediaanivii-veet olivat puolestaan Helsingissä 48 ms ja Lapissa 66 ms.

Sekä autoon että laivaan asennetussa terminaalissa suorituskyky heikkeni jonkin verran. Esimerkiksi liikkuvassa autossa yhteyskatkoja muodostuu tunneleissa ja paikoissa, joissa terminaalin ja satelliitin välillä on rakennuk-sia, tiheää kasvillisuutta tai muita esteitä. Laivamittauksissa puolestaan terminaalii oli asennettu laivan kannelle, minkä seurauksena laivan keinumi-nen aallokossa aiheutti laivan rungon muodostamia katveja satelliitin ja terminaalin välille.

Sijainti	Päätelaite	Mediaani latausnopeus	Mediaani lähetysnopeus	Mediaaniviive
Helsinki	Standard	164 Mb/s	15 Mb/s	48 ms
Helsinki	High performance	222 Mb/s	17 Mb/s	48 ms
Enontekiö	Standard	200 Mb/s	17 Mb/s	66 ms
Enontekiö	High performance	217 Mb/s	18 Mb/s	66 ms

Taulukko 4. Starlinkin suorituskykymittauksia Helsingissä ja Enontekiöllä kesällä 2023<sup>32</sup>

<sup>27</sup> Ullah, A. Heikkinen, A. Uitto, M. Höyhty, M. Anttonen, A. Mikhaylov, K. & Link, T. Starlink on and off the road: Mobile and stationary performance in the northern Europe. 2025.

<sup>28</sup> Ruponen, S. Vehkaperä, M. & Höyhty, M. Viasat GEO-mittaukset. 2023.

<sup>29</sup> Kokkonen-Tarkkanen H., Ahola K., Suomalainen J., Höyhty M., Säynevirta M., Kivistö A., Mission-critical connectivity over LEO satellites: Performance measurements using OneWeb system, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, accepted 2024.

<sup>30</sup> Halme, H. Holmgren, H-M. & Saari, M. Yle Vega / Vaasa Starlink-testi. YLE. 15.5.2023.

<sup>31</sup> Traficom. Starlinkin suorituskyvyn mittauskampanja (kesä 2023).

<sup>32</sup> Traficom. Starlinkin suorituskyvyn mittauskampanja (kesä 2023).

Palveluiden nopeaa kehitystä kuvaa, että kun sama mittaus toistettiin vuoden välein vuosina 2023 ja 2024, jälkimmäisessä mittauksessa Pohjanmaan suorituskyky oli noussut Etelä-Suomen tasolle, ja tuotannollista käyttöä vaikeuttavat pitkät käyttökatkot olivat hävinneet. Tehdyissä mittauksissa havaittiin suorituskykyrajoitteita, jotka voivat vaikeuttaa joissain tapauksissa tuotannollista käyttöä. Esimerkiksi yhteyden muodostus uudessa paikassa kestää useita minutteja tai yhteyksissä on mitattu yli minuutin mittaisia katkoja. Näiden osalta kannattaa kuitenkin huomioida, että kons-tellaatiot kehittyvät nopeasti, minkä vuoksi osa näistä rajoitteista on myöhemmin havaittu poistuneen tai ne voivat poistua lähiaikoina.

Lisärajoitteita saattaa syntyä satelliittijärjestelmän toimintojen sijainneista. Maa-asema ja julkiseen internetiin liittyminen (Point-of-Presence, PoP) saattavat olla eri maissa ja joissain tapauksissa liikenne reititetään satelliittioperaattorin kotimaan (Yhdysvaltojen) kautta aiheuttaen turhia viiveitä, ylimääräisiä haavoittuvuuksia yhteydelle ja mahdollisia hallinnollisia rajoitteita yhteyksien käytölle.

Maat, joissa satelliittioperaattorilla ei ole taajuus- ja toimilupaa, täytyy sulkea pois palvelun piiristä. Tästä käytetään englanninkielistä termiä geofencing (maantieteellinen aitaaminen). Tietoliikennesatelliittien suuresta keila-koosta ja satelliittipaikannusjärjestelmien häirinnästä johtuen geofencingin tarkkuus itärajalta saattaa jäädä karkeaksi vaikeuttaen satelliittilaajakaista-palvelujen käyttöä aivan itärajan tuntumassa.

#### **4.10 Kapasiteetin riittävyys**

*"LEO-satelliittien pieni viive, laaja kapasiteetti, suhteellisen korkeat datanopeudet sekä edulliset kustannukset mahdollistavat satelliittilaajakaistan lisääntyvän käytön varautumisessa."*

Tällä hetkellä Suomessa on varsin vähän LEO-satelliittilaajakaistakäyttäjiä, koska palveluja on ollut saatavissa vasta lyhyen aikaa. Toistaiseksi vähäisen käyttäjämäärän ansiosta yksittäisissä testeissä voidaan tällä hetkellä päästä lähelle satelliittiverkkojen teoreettisia maksiminopeuksia. Tätä voi verrata esimerkiksi 5G-verkkojen ensimmäisiin kuukausiin, jolloin 5G-liittymiä käyttivät vain ensimmäiset teknologian omaksujat. Tiedonsiirtonopeudet tulevat laskemaan maksiminopeuksista käytön yleistyessä ja käyttäjämäärien kasvaessa, mutta priorisoiduilla liittymillä ja kapasiteetin rinnakkaisella kasvattamisella tiedonsiirtonopeudet pysyvät käyttökelpoisella tasolla.

LEO-satelliittien pieni viive, laaja kapasiteetti, suhteellisen korkeat datanopeudet sekä edulliset kustannukset mahdollistavat satelliittilaajakaistan lisääntyvän käytön varautumisessa. Pitkällä aikavälillä kasvavat käyttäjämäärät nostavat tarvetta satelliittilaajakaistajärjestelmiin tehtäville

investoinneille, mikä taas nostaa kapasiteettia. Ilman kaupallista kannattavuutta satelliittilaajakaistapalveluja ei kehitetä ja niiden merkitys jää vähäisemmäksi. Käyttäjien määrä, satelliittilaajakaistainfrastruktuuri-investoinnit, peittoalue, päätelaitteiden saatavuus ja satelliittitaajuuskaistojen määrä ovat kaikki suorassa vuorovaikutussuhteessa toistensa kanssa.

LEO-satelliittien lisäksi GEO-satelliiteilla on vakiintunutta käyttöä ja suuri kapasiteetti (kaistanleveys). Kiinteällä antennilla optimoitava linkki tarjoaa bittien kuljettamiseen varteenotettavan vaihtoehdon, jos viive ei ole ongelma. Varautumisessa GEO-satelliiteilla saattaa hyvin olla oma merkityksensä. GEO-satelliittien suuri kapasiteetti, mutta pitkät viiveet, mahdollistavat esimerkiksi taustajärjestelmien dataliikenteen tekemisen riippumattomaksi maanpäällisistä tiedonsiirtopalveluista. Tällöin esimerkiksi pilvipalvelut ja konesalit voidaan siirtää satelliittiyhteyden ansiosta toiseen sijaintiin

Kapasiteetin riittävyyteen auttaa, jos satelliittilaajakaistan käyttöalueita ovat paikat, joissa käyttäjiä on harvassa. Käyttäjien määrään vaikuttaa voimakkaasti palvelun hinta. Kysynnän, tarjonnan ja hinnan suhdetta kuvataan kysynnän hintajoustolla. Kaupunkialueilla on useita vaihtoehtoisia turvautumisyhteyksiä. NSR<sup>33</sup> arvioi NGSO satelliittikapasiteetin kasvavan 30 % vuodessa ja kysynnän kasvavan 50 % vuodessa aikavälillä 2022–2032. Vaikka kysynnän kasvu on merkittävästi kapasiteetin kasvua nopeampaa, NSR arvioi kysynnän olevan alle 4.3 % kapasiteetista vuonna 2032, (1.0 % vuonna 2022). Suorituskykyä arviotaessa kannattaa ottaa huomioon, että käyttäjien tarpeet suorituskyvyn osalta kasvavat jatkuvasti. Vaikka verkkojen kokonaiskapasiteetti ylittää moninkertaisesti kysynnän, paikallisesti, alueellisesti ja ajallisesti satelliittilaajakaistapalvelut saattavat ruuhkautua. Satelliittiteknologian ja -palvelujen tulevaisuuden kehitysnäkymistä lisää luvussa 9.

## 5 Huoltovarmuskriittisten organisaatioiden tarpeet satelliittilaajakaistayhteyksille

*"Varautumisratkaisun arvioinnissa on syytä huomioida käyttökohteen tiedonsiirtotarpeesta johtuvat kapasiteettivaatimukset, satelliittilaajakaistan käytöstä seuraavat kyberturvallisuuden näkökulmat ja arvioida millä tavalla lähetettävä tieto on suojattava."*

Satelliittilaajakaistan merkitys varautumisessa on ensisijaisesti käytettyjen ja varayhteyksien varmistaminen. Satelliittilaajakaista voi tuoda yhden uuden kerroksen yhteyksin varmistamiseen. Puhe on edelleen tärkein sisältö kriittisessä viestinnässä, mutta käyttäjien tottumukset laajakaistapalveluihin sekä kehittyvät tarpeet luovat kysyntää laajakaistaisiin palveluihin myös kriittisessä kommunikaatiossa. Useat kriittisten järjestelmien osat

---

<sup>33</sup> NSR. (2023). Global satellite capacity supply and demand 20<sup>th</sup> edition. 2023.



pystyvät kuitenkin toimimaan ainakin osittain ilman tietoliikenneyhteyksiä. Tällöin ohjaus tehdään manuaalisesti paikalla olevien ihmisten avulla. Jotta nämä henkilöt pystyvät toimimaan oikein ja toimintojen ja prosessien ohjaamisen kannalta tehokkaasti, he tarvitsevat toimivan puheyhteyden erilaisissa tietoliikenteen häiriötilanteissa. Laajakaistayhteyksiä hyödyntäen saadaan luotua yksityiskohtainen ja moniulotteinen tilannekuva organisaation tärkeistä toiminnoista, jotka voivat olla myös hajautettuna maantieteellisesti. Järjestelmien ohjaamiseen ja tilannekuvan muodostamiseen tarvittava tiedonsiirtomäärä on kuitenkin monessa käyttötapauksessa vielä varsin rajallinen.

Varautumisessa koko päästä-päähän yhteys on varmistettava ja satelliittilaajakaista on tyypillisesti vain osa koko ketjua. Suomen alueella erityisesti idässä ja pohjoisessa halutaan kehittää kykyä itsenäiseen toimintaan, koska monien toimintojen ohjaus tapahtuu Etelä-Suomessa ja yhtenä riskikenaariona on, että Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä olevissa yhteyksissä on vakava häiriö. Maanpäällisen tietoliikenneinfrastruktuurin kattavuus on samalla heikointa samoilla alueilla, sillä näillä alueilla asutus on harvempaa. Satelliittilaajakaista on yksi tietoliikenteen varautumisratkaisu tilanteeseen, jossa ensisijaisissa tietoliikenneyhteyksissä on häiriöitä, tai että toiminnan kannalta merkittävä ohjauskeskus, valvomo, studio, datakeskus tai muu fyysisestä paikasta riippumaton toiminnallisuus joudutaan poikkeusolosuhteiden tai merkittävien häiriöiden vuoksi siirtämään toiseen paikkaan tai jopa Suomen ulkopuolelle.



## 5.1 Esimerkkejä eri sektorien tarpeista satelliittilaajakaistalle

Tässä osiossa esitellään esimerkkejä huoltovarmuuskriittisten sektorien tarpeista ja näkökulmia satelliittilaajakaistajärjestelmien hyödyntämiseen. Satelliittilaajakaista tarjoaa merkittävän vaihtoehdon ja lisäresurssin organisaatioiden varautumisessa tietoliikenneverkkojen häiriötilanteisiin. Maanpäällisten verkkojen, kuten optisten kaapeleiden ja mobiiliverkkojen, rinnalla satelliittiyhteys voi toimia varayhteytenä, joka takaa jatkuvuuden kriittisissä toiminnoissa. Tämä varayhteys on erityisen tärkeä tilanteissa, joissa maanpäälliset verkot ovat alttiita vaurioille esimerkiksi luonnonkatastrofien, kyberhyökkäysten, teknisten vikojen ja häiriötilanteiden vuoksi. Satelliittilaajakaistan käyttömahdollisuuksia arvioitaessa on huomioitava sen tarjoama suorituskyky. Luvussa 4.9 esitetty taulukko sisältää kesällä 2023 mitattuja LEO-satelliittilaajakaistan tiedonsiirtonopeuksia ja viiveitä. Latausnopeudet ovat suuruusluokassa 200 Mbit/s, lähetysnopeudet alle 20 Mbit/s ja viiveet noin 50-70 ms. Yksittäisen LEO-satelliittiyhteyden nopeus voi myös vaihdella ajan suhteen samanaikaisten käyttäjien määrän mukaan. Saavutettava lataus ja lähetysnopeus tulee huomioida palvelun soveltuvuuden arvioinnissa.

Yksi satelliittilaajakaistan eduista on mahdollisuus siirtää johtamis- tai valvontakeskus vaihtoehtoiseen sijaintiin, mikäli maanpäällisiin tietoliikenneverkkoihin kohdistuu vakava häiriö. Kiinteät verkot ovat usein paikkasidonnaisia, mikä voi vaikeuttaa toimintojen jatkumista häiriötilanteissa, jos ohjauskeskus tai muu vastaava toiminnallisuus joudutaan siirtämään vaihtoehtoiseen sijaintiin. Satelliittilaajakaista mahdollistaa siirrettävyyden ja joustavuuden, koska se ei ole yhtä riippuvainen kiinteästä infrastruktuurista. Satelliittilaajakaistan käytön osalta on kuitenkin huomioitava, että sen tarjoama kapasiteetti voi vaihdella muiden käyttäjien mukaan, jos kapasiteetti ei ole taattua.

Satelliittilaajakaista voi tarjota toimivan varayhteyden myös kentällä olevista toiminnoista saatavan tiedon toimittamiseen ja tilannekuvan muodostamiseen, jos maanpäällisiin verkkoihin pohjautuvat yhteydet kentällä oleviin toimintoihin on poikki. Tämä voi olla pohdittava asia ainakin kriittisempien kentällä olevien kohteiden varayhteyksien osalta, joita dataa ja tietoa on saatava kaikissa tilanteissa toimintojen ylläpitämisen varmistamiseksi.

Ihmisten välisessä kommunikaatiossa tärkein varmistettava toiminto on ainakin tällä hetkellä puheyhteys. Satelliittilaajakaista voi mahdollistaa työntekijöiden yhteydenpidon tilanteissa, joissa maanpäälliset verkot eivät toimi tai niissä on häiriöitä. Puheyhteyksiin on ollut käytössä satelliittipuhelimia jo pitkään ja niitä käytetään kommunikaatiossa kriittisten toimintojen ylläpidon varmistamiseen. Satelliittilaajakaista tuo kuitenkin mahdollisuuden käyttää myös nykyaikaisia VoIP-sovelluksia, kuten Microsoft Teams, Google Meet tai Skype satelliittiyhteyksiä hyödyntäen.

Organisaatioiden erilaisia toimintoja pyöritetään yhä enemmän pilviratkaisuihin tukeutuen. Pilvipalveluiden saavutettavuus kaikissa tilanteissa on myös olennainen osa varautumista. Monet kriittiset organisaatiot hyödyntävät pilvipalveluita keskeisten toimintojen ylläpidossa, ja näiden palveluiden saatavuus ja käyttö on kriittistä myös häiriötilanteissa. Satelliittilaajakaista voi tarjota yhteyden pilvipalveluihin silloin, kun maanpäälliset verkot eivät ole käytettävissä. Tämä varmistaa, että esimerkiksi asiakirjat, sovellukset, analytiikkatyökalut ja muut pilveä käyttävät toiminnot voivat edelleen säilyä organisaation käytössä, mikä auttaa toiminnan jatkuvuuden varmistamisessa. Pilvipalveluiden saavutettavuus riippuu merkittävästi tiedonsiirtotarpeesta ja siitä millaista kapasiteettia satelliittilaajakaista voi tarjota.

Lisäksi pilviympäristössä olevia palveluita voidaan siirtää satelliittiyhteyksien avulla vaihtoehtoisin sijainteihin maanpäällisten verkkojen häiriöiden aikana. Jos esimerkiksi Suomessa sijaitseva palvelu tai toiminto kohtaa verkkoyhteyksiin liittyviä ongelmia, se voidaan siirtää väliaikaisesti toiseen maahan tai vaihtoehtoiseen sijaintiin, jossa tietoliikenne toimii normaalisti. Tämä mahdollisuus lisää resilienssiä ja vähentää organisaation riippuvuutta paikallisesta infrastruktuurista. Satelliittilaajakaistan hyödyntämismahdollisuuksia kaikkien organisaatioiden toiminnan kannalta on koottu alla olevaan taulukkoon.

#### Esimerkkejä satelliittilaajakaistan hyödyntämismahdollisuuksista varautumisessa

Satelliittilaajakaista voi tarjota varayhteyden optisten kaapeleiden ja mobiiliverkkojen rinnalle. Kapasiteettitarve on syytä ottaa huomioon.

Johtamis- ja valvontakeskus voi olla siirrettävissä vaihtoehtoiseen sijaintiin maanpäällisten tietoliikenneverkkojen vakavan häiriön ajaksi.

Satelliittilaajakaista voi mahdollistaa työntekijöille yhteydet organisaation kriittisiin järjestelmiin maanpäällisten verkkojen häiriötilanteissa.

Satelliittilaajakaista voi mahdollistaa työntekijöille modernien IP-pohjaisten kommunikaatiosovellusten pysymisen käytössä (Teams, Google Meet, Skype ja vastaavat).

Organisaation käyttämän pilvipalvelut voivat olla saatavilla satelliittilaajakaistan kautta, jos maanpäälliset verkot ovat alhaalla.

Datakeskuksesta tai pilviympäristöstä tuotettu toiminto tai palvelu voi olla mahdollista siirtää Suomesta pois tai vaihtoehtoiseen sijaintiin maanpäällisten verkkojen tietoliikennehäiriöiden aikana.

Taulukko 5. Esimerkkejä satelliittilaajakaistan hyödyntämismahdollisuuksista varautumisessa

Taulukko 6 sisältää Vahvuudet, Heikkoudet, Mahdollisuudet ja Uhat (SWOT) -analyysin satelliittilaajakaistan käytölle varautumisessa. SWOT-analyysit eri sektoreiden osalta muistuttavat toisiaan, minkä vuoksi tähän on koottu analyysin yleiset piirteet. Sektoreiden kuvauksissa on huomioitu ainoastaan poikkeamat tästä yleisestä analyysistä.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaapeleista riippumattomat yhteydet Manner-Eurooppaan</li> <li>• Maanpäällisistä viestintäverkoista ja operaattoreista riippumattomat yhteydet</li> <li>• Päätelaitteiden ja yhteyksien siirrettävyys paikasta toiseen</li> <li>• Laajan peittoalueen ansiosta yhteydet saatavilla laajasti, myös syrjäisissä paikoissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maanpäällisiä verkkoja pidempi yhteysviive</li> <li>• Kuituyhteyksiä pienempi tiedonsiirtokapasiteetti</li> <li>• Käyttöympäristöstä johtuvat mahdolliset palvelun katvealueet ja yhteyshäiriöt</li> <li>• Tiedonsiirtonopeuden vaihtelu esimerkiksi johtuen muista käyttäjistä</li> <li>• Satelliittien laitevikojen lähes mahdoton huollettavuus ja tästä johtuva laitteiston (<i>hardware</i>) haavoittuvuuksien mahdoton paikkaaminen</li> <li>• LEO-satelliittien elinikä on lyhyt (n. 5 vuotta)</li> <li>• Satelliittimaa-asetat sijaitsevat pääosin Suomen ulkopuolella</li> </ul>
Mahdollisuudet	Uhat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varayhteyksien toteuttaminen optisten kaapeleiden ja mobiiliverkkojen rinnalle</li> <li>• Ohjauskeskuksen tai muun kriittisen toiminnon siirtäminen toiseen paikkaan tai Suomen ulkopuolelle</li> <li>• Yhteyksien ylläpito pilvipalveluihin ja yrityksen kriittisiin järjestelmiin ilman maanpäällistä verkkoa</li> <li>• IP-pohjaisten kommunikaatiosovellusten käyttö maanpäällisten yhteyksien häiriötilanteissa</li> <li>• Tulevaisuudessa suoraan päätelaitteisiin tapahtuva (D2D) kommunikaatio ja ryhmäpuheluominaisuudet</li> <li>• Satelliittipaikannusriippuvuudesta (GNSS) irtautuminen satelliittilaajakaistajärjestelmän sisäisen paikannuksen ja synkronoinnin avulla</li> <li>• Satelliittien ohjelmistopäivitetävyys mahdollistaa uusien toimintojen ja päivitysten tuomisen suoraan kiertoradalla oleviin satelliitteihin pidentäen käyttöikää ja tuoden joustavuutta palveluiden kehittämiseen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toistaiseksi vähäinen palveluntarjoajien määrä ja yhden palveluntarjoajan vahva markkina-asema</li> <li>• Herkkyys satelliittipaikannuksen häiriöille</li> <li>• Alttius kybervaikuttamiselle, satelliittikohtaisille hyökkäyksille, verkkoinfrastruktuurin kohdistuville uhille, ohjelmistohaavoittuvuuksille (esim. VPN), toimitusketjun haavoittuvuuksille ja fyysisille uhille</li> <li>• Satelliittien tietoturvan taso ei aina vastaa maanpäällisten viestintäverkkojen tietoturvasoa</li> </ul>

Taulukko 6. SWOT-analyysi satelliittilaajakaistan käytölle varautumisessa

## 5.2 Energiasektori

*"Uusiutuvan energian tuotannon lisääntyminen ja siihen liittyvä tuotannon luontainen vaihtelu lisää älykkäiden säätöjärjestelmien tarvetta, jolloin tietoliikenneyhteyksien luotettavuus entisestään korostuu."*

Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018)<sup>34</sup> asettaa vaatimukset sähköjärjestelmän suunnitteluun, toteutukseen ja harjoitteluun häiriötilanteiden varalta. Siihen kuuluu myös vähintään 24 tuntia toimiva koko Suomen kattava yhtenäinen puheviestintäjärjestelmä. Sähköverkko jakautuu kantaverkkoon ja jakeluverkkoon. Suomen kantaverkkoa hallitsee ja ylläpitää Fingrid Oyj. Kantaverkolla tarkoitetaan suurjännitteistä silmukoitua runkoverkkoa, johon on liitetty suuret voimalaitokset ja tehtaat sekä jakeluverkot. Kantaverkkoon kuuluu yli 120 sähköasemaa. Kodit saavat sähkönsä jakeluverkoista. Suurimmat sähkönkäyttäjät kuten teollisuus, kauppa, palvelut ja maatalous taas voivat liittyä joko jakeluverkkoon, suurjännitteiseen jakeluverkkoon tai kantaverkkoon.

Jakelumuuntamot ovat osa jakeluverkkoa. Jakelumuuntamot muuntavat sähköä korkeat siirtojännitteet sähköä käyttäjille soveltuvaksi pienjännitteeksi. Jakelumuuntamoita voidaan sijoittaa pylväisiin sekä erillisiin muuntamorakenteisiin ja esimerkiksi kerrostalojen kellareihin. Sähköasemat ja jakelumuuntamot sisältävät automaatiolaitteita, sensoreita ja kytkinlaitteita, jotka tarvitsevat varmistettuja tietoliikenneyhteyksiä. Näiden lisäksi sähköä jakeluverkkoon kuuluu mm. etäluettavia sähkömittareita, joiden yhteyksien varmistaminen ei ole kriittistä.

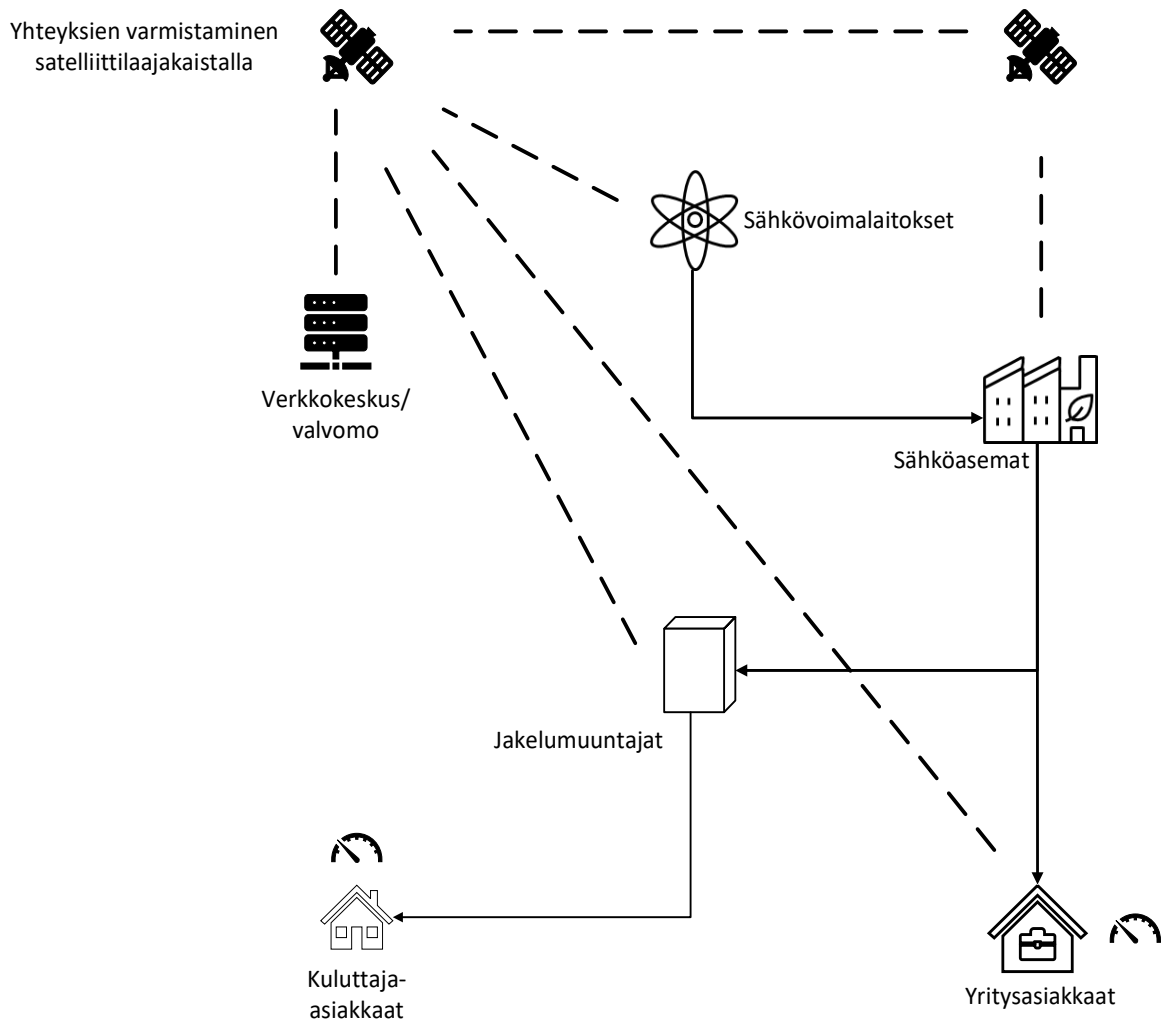
Satelliittilaajakaistaa käytetään jo tällä hetkellä yhteysvaihtoehtona. Varmistettavia yksiköitä voi olla kymmeniä tuhansia. Tällöin pääyhteyksien ja varayhteyksien hallintaan tarvitaan tarkoitusta varten toteutettuja hallintajärjestelmiä. Tämän lisäksi kriittisten toimintojen ylläpitämiseen on käytössä Virve- ja satelliittipuhelimia. Puheyhteyttä käytettäessä ryhmäpuhelut ovat yleisiä ja ryhmäpuhelupalveluille olisi tarvetta myös satelliittilaajakais-yhteyksiä käytettäessä.

Sähkölaitokset tarvitsevat nopeita tietoliikenneyhteyksiä sähköverkkojen komponenttien ohjaukseen ja valvontaan, minkä varmistamisessa satelliittilaajakaista voi olla vartenotettava vaihtoehto. Ohjausjärjestelmät edellyttävät usein vähäviiveisiä yhteyksiä, jotka pystyvät reagoimaan nopeasti erilaisiin vikatilanteisiin ja kuormituksen muutoksista johtuviin ohjaustarpeisiin. Tämä tulee ottaa huomioon satelliittilaajakais-yhteyksiä harkittaessa, sillä kiertoradalta maahan operoiviin satelliitteihin liittyy aina suurempi yhteysviive.

---

<sup>34</sup> Valtioneuvosto. Päätös huoltovarmuuden tavoitteista. 1048/2018. 5.12.2024.

Älykkäät sähköverkot tarvitsevat tietoliikenneyhteyksiä tiedon keräämiseen, analysointiin ja hyödyntämiseen. Uusiutuvan energian tuotannon lisääntyminen ja siihen liittyvä tuotannon luontainen vaihtelu lisää älykkäiden säätöjärjestelmien tarvetta, jolloin tietoliikenneyhteyksien luotettavuus entisestään korostuu. Sähköjärjestelmien monimutkaistuessa ja toimintojen lisääntyessä myös erilaiset kyberturvallisuushat todennäköisesti lisääntyvät. Tällöin myös yhteyksien suojaus ja uhkien reaaliaikaisen tunnistamisen tarve kasvaa. Lisäksi energiavarastot ja hajautetut energialähteet vaativat laajakaistaisia hallinta- ja valvontayhteyksiä. Yhä enemmän automatisoituvassa energiajärjestelmissä tekoäly ohjaa erilaisia toimintoja, joka tarvitsee käyttöönsä dataa. Tämä korostaa yhä enemmän joka tilanteessa toimivia ja häiriöttömiä tietoliikenneyhteyksiä. Lisäksi on tarpeen saada mahdollisimman tarkkaa tietoa vika- ja häiriötilanteista ja tiedottaa verkon häiriöistä asiakkaita sekä muita sidosryhmiä. Satelliittilaajakaistalla on mahdollista varmistaa energiasektorin tarvitsemia tietoliikenneyhteyksiä häiriötilanteiden varalta.



Kuva 8. Sähköverkko ja sen yhteyksien varmistaminen satelliittilaajakaistalla

### 5.3 Elintarvike- ja vesihuoltosektori

*"Satelliittilaajakaistajärjestelmien soveltuvuus tilausten ja maksusuoritusten välittämiseen riippuu tiedonsiirtotarpeesta ja satelliittilaajakaistan tarjoamasta kapasiteetista ja hinnasta. Satelliittilaajakaistalla voi olla mahdollista varmistaa kaikkien kriittisten elintarvikehuoltoketjun vaiheiden osat tuotannosta vähittäiskauppoihin ja maksujärjestelmiin."*

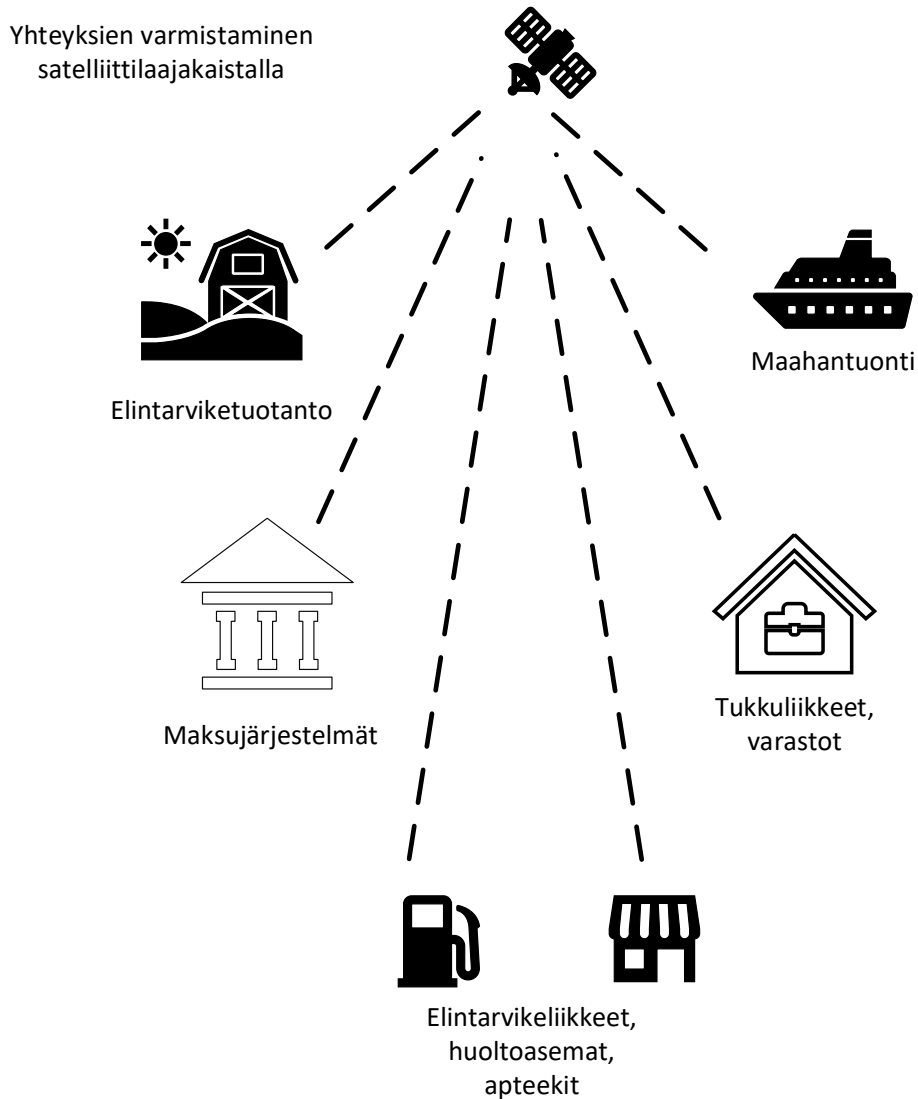
Kotimainen alkutuotanto ja elintarviketeollisuus ovat maan huoltovarmuuden kannalta oleellisia. Niiden lisäksi markkinoiden toimintaedellytykset on turvattava vakavien häiriöiden ja poikkeusolojen varalta. Elintarvikehuoltoon liittyviä muita huoltovarmuuskriittisiä toimintoja ovat raaka-aineiden tuotanto, energian saanti, tietojärjestelmät, viestintäverkot, maksuliikennejärjestelyt, kuljetus ja vesihuolto<sup>35</sup>.

Elintarvikehuolto voidaan karkeasti jakaa elintarvikkeiden tuotantoon ja maahantuontiin, tukkuliikkeisiin ja varastoihin sekä vähittäismyyntiliikkeisiin (kuva 9). Elintarvikkeet toimitetaan kuluttajille vähittäismyyntiliikkeistä, joista kriittisiksi voidaan luokitella ruokakaupat, apteekit ja polttoainejakelupisteet. Kaupan mahdollistamiseksi tarvitaan myös toimivia maksuyhteyksiä ja raha-automaatteja. Alueellisen ja väestömäärän mukaisen elintarvikehuollon varmistamisessa osa myyntipisteistä voidaan luokitella kriittisiksi ja varmistaa ensisijaisesti niiden toiminta erilaisissa häiriötilanteissa.

Satelliittilaajakaistan merkitys elintarvikehuollossa on toimiminen varsinaisten tietoliikenneyhteyksien varayhteytenä. Kaksi tärkeintä varmistettavaa asiaa ovat tilausten tekeminen sekä maksusuoritusten vastaanottaminen ja välittäminen. Satelliittilaajakaistajärjestelmien soveltuvuus tilausten ja maksusuoritusten välittämiseen riippuu tiedonsiirtotarpeesta ja satelliittilaajakaistan tarjoamasta kapasiteetista ja hinnasta. Satelliittilaajakaistalla voi olla mahdollista varmistaa kaikkien kriittisten elintarvikehuoltoketjun vaiheiden osat tuotannosta vähittäiskauppoihin ja maksujärjestelmiin.

---

<sup>35</sup> Valtioneuvosto. Päätös huoltovarmuuden tavoitteista. 1048/2018. 5.12.2024.



Kuva 9. Elintarvikehuollon varautuminen satelliittilaajakaistalla

Vesihuolto on riippuvainen tieto- ja viestintäverkkojen toimivuudesta<sup>36</sup>. Raakavesilähteestä vesi virtaa vesilaitoksen kautta kotitalouksille, yhdyskunnille, sosiaali- ja terveydenhuollon yksiköille, elintarviketuotannolle, sotilaalliselle maanpuolustukselle sekä tuotannolle ja palveluille. Reitillä vedenvirtausta säädetään ja mitataan pumppaamoissa paineenkorotusasemilla. Näiden operatiivisten yksikköjen lisäksi tietoliikenneyhteyksiä tarvitaan tukitoiminnoissa ja konesalien käytössä.

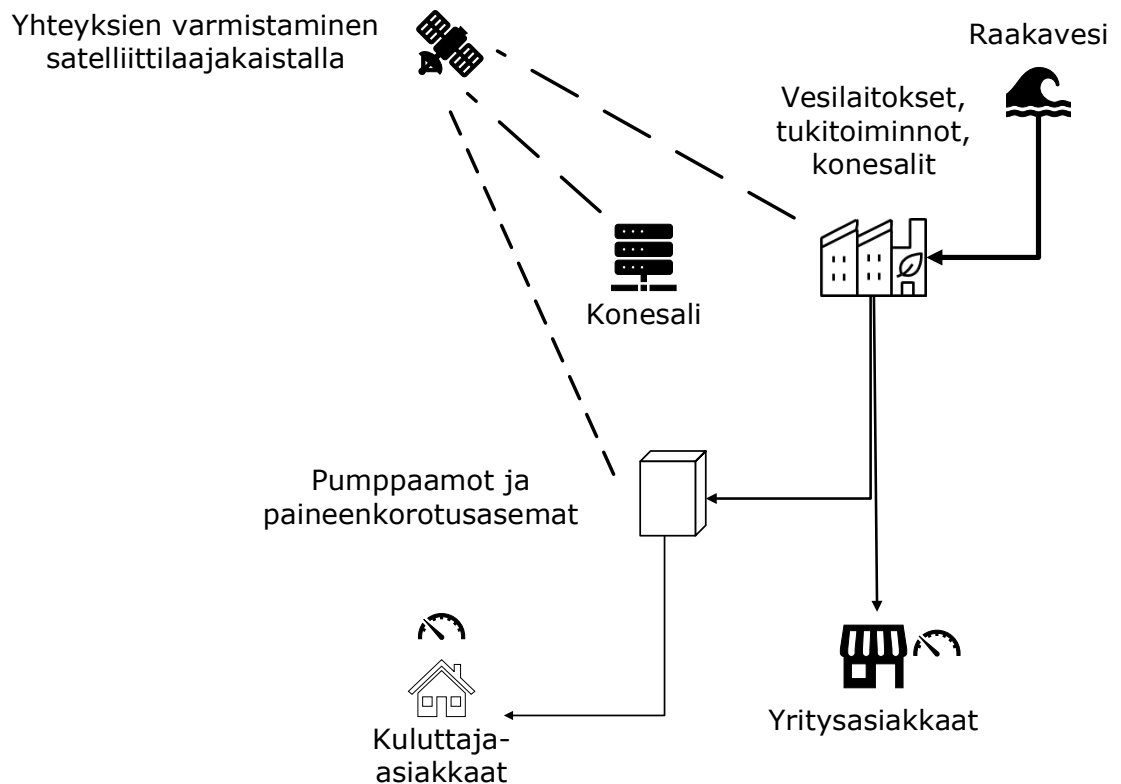
Vesihuollon tietoliikenneyhteyksiä varmennetaan toiminnallisuuden kriittisyyden mukaisesti, Kuva 13. Pumppaamoiden ja paineenkorotusasemien tiedonsiirtomäärät ovat melko maltilliset ja niissä ei ole odotettavissa suuria muutoksia lähitulevaisuudessa. Pidemmälle tulevaisuuteen mentäessä autonomisuus operoinnissa lisääntyy ja datan

<sup>36</sup> Valtioneuvosto. Päätös huoltovarmuuden tavoitteista. 1048/2018. 5.12.2024.



käsittely esimerkiksi tekoälyn avulla kasvaa. Sen myötä tietoliikenteen määrät konesalien ja vesihuoltojärjestelmän välillä tulee kasvamaan.

Samalla kun tietoliikennejärjestelmät muuttuvat entistä kriittisemmäksi osaksi huoltovarmuutta, varautuminen tietoliikennejärjestelmien häiriöihin tulee entistä tärkeämmäksi, ja sitä kautta myös satelliittilaajakaistalle voisi olla oma roolinsa varatumisessa. Vesilaitosten ja omien konesalien väliset yhteydet voidaan varmistaa satelliittilaajakaistalla. Mikäli konesalitoiminnallisuudet ostetaan palveluna, turvatut yhteydet voivat niiden valinnassa toimia yhtenä valintakriteerinä, mutta suora vaikuttaminen ulkopuolisten konesalien tietoliikenneyhteyksiin voi olla erittäin vaikeaa. Laajojen toimintakatkojen varalle on myös tarpeen priorisoida osaa yksiköistä, jotta pystytään takaamaan yhteiskunnan toimintakyky suhteutettuna sekä asukastiheyteen että alueen kokoon.



Kuva 10. Vesihuollon varautuminen satelliittilaajakaistalla

## 5.4 Kuljetukset ja toimitusketjut

Logistiikan huoltovarmuuden varautumisen pääpaino on kriittisen elinkeinoelämän ja yhteiskunnan toimivuuden sekä väestön toimeentulon edellyttämien kotimaan liikenne- ja kuljetuspalveluiden turvaamisessa. Suomen sijainnista johtuen varautumisessa painotetaan myös välttämättömien ympärivuotisten merikuljetusten ja satamien toimivuutta<sup>37</sup>. Meriliikenne poikkeaa muista tässä raportissa kuvatuista toimialueista. Muilla toimialueilla satelliittiyhteydet ovat toissijaisia varautumisyhteyksiä, kun taas meriliikenteessä satelliittiyhteydet ovat ensisijaisia yhteyksiä satama- ja rannikkoalueiden ulkopuolella.

Laivojen osalta satelliittilaajakaistan käyttö varautumiseen tarkoittaa pääsatelliittiyhteyden lisäksi toista mahdollisimman riippumatonta satelliittipalvelua. Satamissa puhelinjärjestelmää varmistetaan satelliittipuhelimilla, ja satelliittilaajakaista tuo sinne kiinteiden yhteyksien ja mobiiliverkon rinnalle vaihtoehdoisen tietoliikenneyhteyden. Very Small Aperture Terminal (VSAT) satelliittikommunikaatiota on käytetty 1980-luvun lopulta alkaen merenkulussa. Geostationary Orbit (GEO) satelliittipohjaisiin VSAT-järjestelmiin verrattuna uudet LEO-satelliittipalvelut ovat suurempikapasiteettisia, edullisempia ja vastaanottolaitteet helpommin sovitettavissa alusten mekaanisiin rakenteisiin osaksi muuta kommunikaatioinfrastruktuuria.

GEO-satelliitteihin nähden lyhyempien viiveiden ansiosta LEO-palvelut aiheuttavat vähemmän ongelmia laivoilla tieto- ja viestintätekniille (ICT) -sovelluksille, joissa pidemmät yhteysviiveet voivat saada sovellukset ja ohjelmistot toimimaan heikosti tai virheellisesti. Tähän asti suuremmista yhteysviiveistä johtuen joidenkin meriliikenteessä käytettyjen ohjelmistojen ja sovellusten käytössä on esiintynyt ongelmia. VSAT on osittain siirtymässä enemmän varautumisratkaisuksi ensisijaisen yhteyden sijaan.

Tehokkaammat kiinteät matkapuhelinverkon antennit ja mikroaaltolinkit ovat nostaneet kapasiteettia ja varautumiskyvykkyyttä rannikolla ja saaristossa vaihtoehtoisina yhteyksinä satelliiteille. International Maritime Satellite Organization (INMARSAT) ja samanniminen yritys perustettiin tarjoamaan satelliittiyhteyksiä merenkulkuun. Merenkulkuun ja ilmailuun liittyvissä ICT-järjestelmissä on huomioitu liikkuvien kulkuvälineiden yhteyksien erityispiirteet.

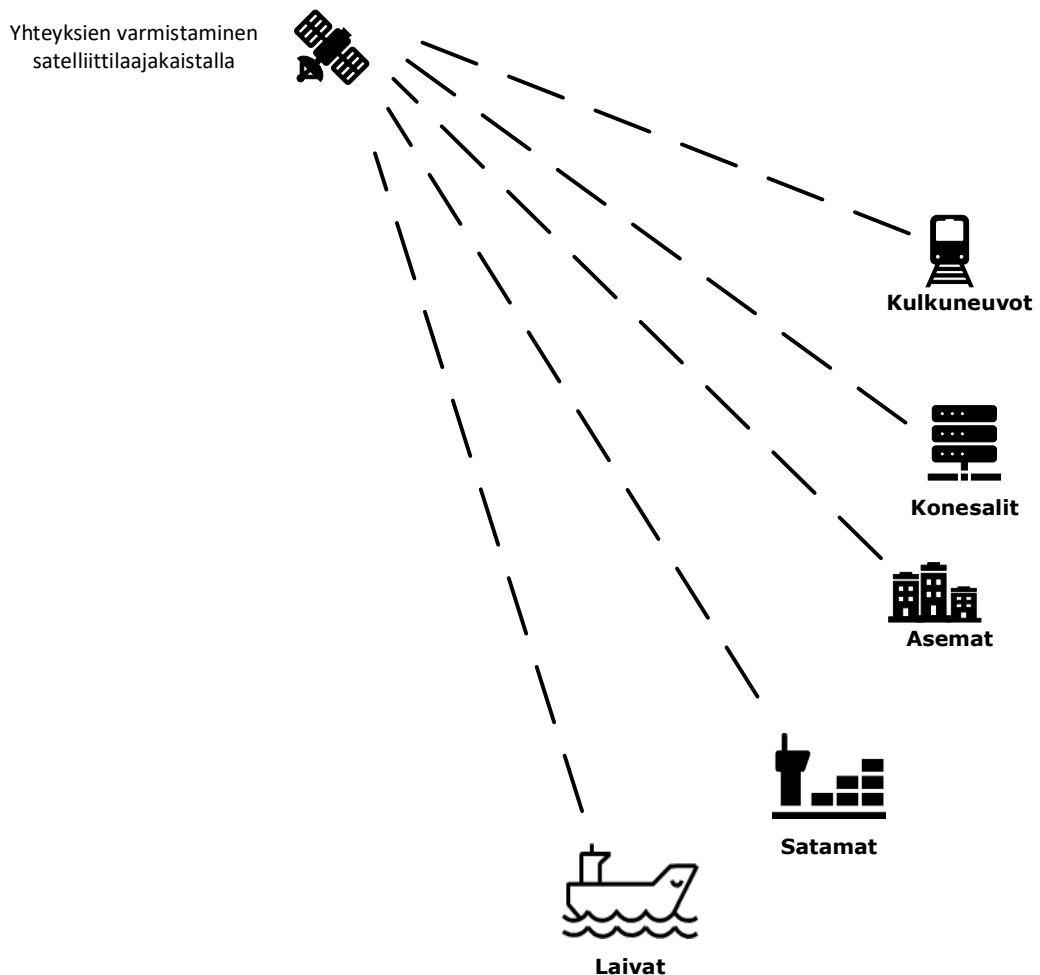
Maaliikenteessä satelliittilaajakaistaa voidaan käyttää sekä ensisijaisena, että varayhteytenä maanpäällisten verkkojen rinnalla. Asemille, konesaleihin ja etäohjausjärjestelmiin satelliittilaajakaista tarjoaa koko Suomen alueella toimivan varautumisratkaisun maanpäällisten verkkojen häiriötilanteisiin.

---

<sup>37</sup> Valtioneuvosto. Päätös huoltovarmuuden tavoitteista. 1048/2018. 5.12.2024.

Raideliikenne koostuu Väyläviraston omistamasta rataverkosta, Finntrafficin kulunvarmistamisesta ja -ohjauksesta ja VR:n operoimasta junaliikenteestä. Tietoliikenteen osalta mobiilioperaattoreilla on usein mobiiliverkon toistimia junavaunuissa parantamaan mobiiliverkon toimivuutta junien sisällä.

Parhaillaan käynnissä oleva Digirata-hanke<sup>38</sup> korvaa junien kulunvalvontajärjestelmän. Digirata-hankkeen myötä siirrytään yhteiseurooppalaiseen moderniin radiopohjaiseen kulunvalvontaan (ERTMS European Rail Traffic Management System) koko Suomen rataverkolla. Hankkeen myötä liikenteen riippuvuus paikannusjärjestelmistä, tietojenkäsittelystä ja tietoliikenteestä kasvaa, mikä nostaa myös varautumisjärjestelmien merkitystä. Rataverkon vaihteet ovat etäohjattuja. Myös asumattomilla alueilla saatavilla olevan kattavuutensa ansiosta satelliittilaajakaista voisi sopia erilaisissa tilanteissa liikenteen yhdeksi varautumisratkaisuksi.



Kuva 11. Kuljetusten ja toimitusketjujen varautuminen satelliittilaajakaistalla

<sup>38</sup> Digirata-hanke. Tieto.Traficom. 7.11.2023.

## 5.5 Digitaalinen turvallisuus ja tiedon huoltovarmuus sektori

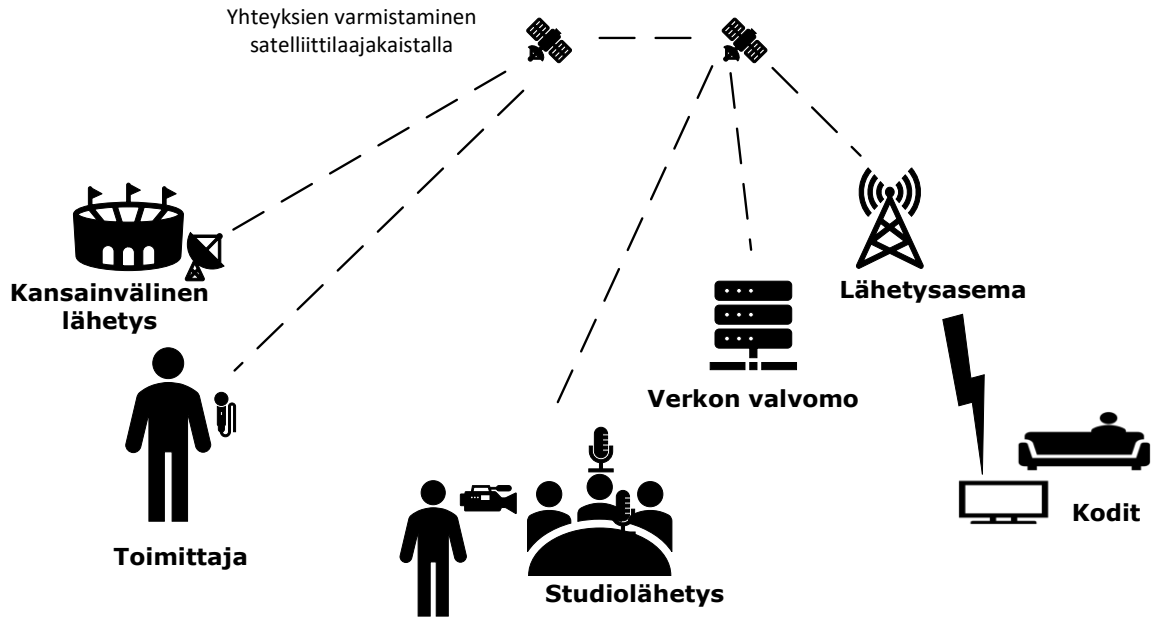
Huoltovarmuuden kannalta oleelliset digitaalisen yhteiskunnan toiminnot sisältävät: tietoliikenteen liityntäpalvelut, varmennepalvelut, nimipalvelut, domain-nimirekisterit, pilvipalvelut, konesalit, mediajakelun ja verkkoliikenteen yhdyspisteet (internet exchange point). Tavoitteena on varmistaa yhteiskunnan kriittisten toimintojen tarvitsemien digitaalisen verkkojen ja palveluiden toimivuus, niiden häiriösietoisuus ja palautumiskyky. Satelliittilaajakaistapalveluiden yleistyessä myös tietoliikenteeseen liittyvien toimijoiden määrä lisääntyy. Tämä luo myös uusia palveluita digitaalisen infrastruktuurin markkinoille kuluttajien ja yritysten saataville, jolloin myös digitaalinen huoltovarmuus lisääntyy.

Tämän sektorin esimerkkinä käytämme joukkoviestintää. Perinteisillä televisiolla ja radiolla on tärkeä rooli viestinnässä, vaaratiedotteiden välittämisessä ja yhteiskunnan varautumisessa. Joukkoviestinnän lähetysten täytyy olla kokonaisuudessaan katkeamattomia ja häiriöttömiä, jotta niihin voidaan turvautua erilaisissa tilanteissa esimerkiksi vaaratiedotteiden välittämisessä kansalaisille tai kentältä eri sijainneista tapahtuvissa suorissa lähe-tyksissä.

Satelliittilaajakaista voi varmistaa joukkoviestinnän tuotannon ja jakelun ketjussa kiinteillä ja mobiiliyhteyksillä toteutettua tietoliikennettä (kuva 12). Satelliittilaajakaistalla voisi myös osin olla mahdollista varmistaa maanpäällisen TV- ja radioverkon vastaanottoa, kun käytetään streaming- ja nettiradiopalveluja (kuten Yle Areena) lineaari-TV:n ja FM-radion sijaan. Tämä voisi tulla kyseeseen esimerkiksi paikoissa, joissa kokoontuu paljon ihmisiä. Joukkoviestintää harjoittavien toimijoiden lakimääräisenä tehtävänä voi olla välittää viranomaistiedotuksia ja varautua televisio- ja radio-toiminnan hoitamiseen poikkeusoloissa<sup>39</sup>. Satelliittilaajakaista mahdollistaa mobiiliverkosta riippumattomat tietoliikenneyhteydet kentällä erilaisissa sijaintipaikoissa. Satelliittilaajakaistayhteyksien avulla myös esimerkiksi studio voi olla mahdollista siirtää johonkin väliaikaiseen sijaintiin ja toimintaa voidaan siten hajauttaa maantieteellisesti ja jatkaa toimintaa, vaikka maanpäällisissä tietoliikenneyhteyksissä olisi häiriöitä.

---

<sup>39</sup> Finlex 1380/1993. (1993). Laki Yleisradio Oy:stä. 1.1.1994.



Kuva 12. Satelliittilaajakaista mediajakelun varautumisessa

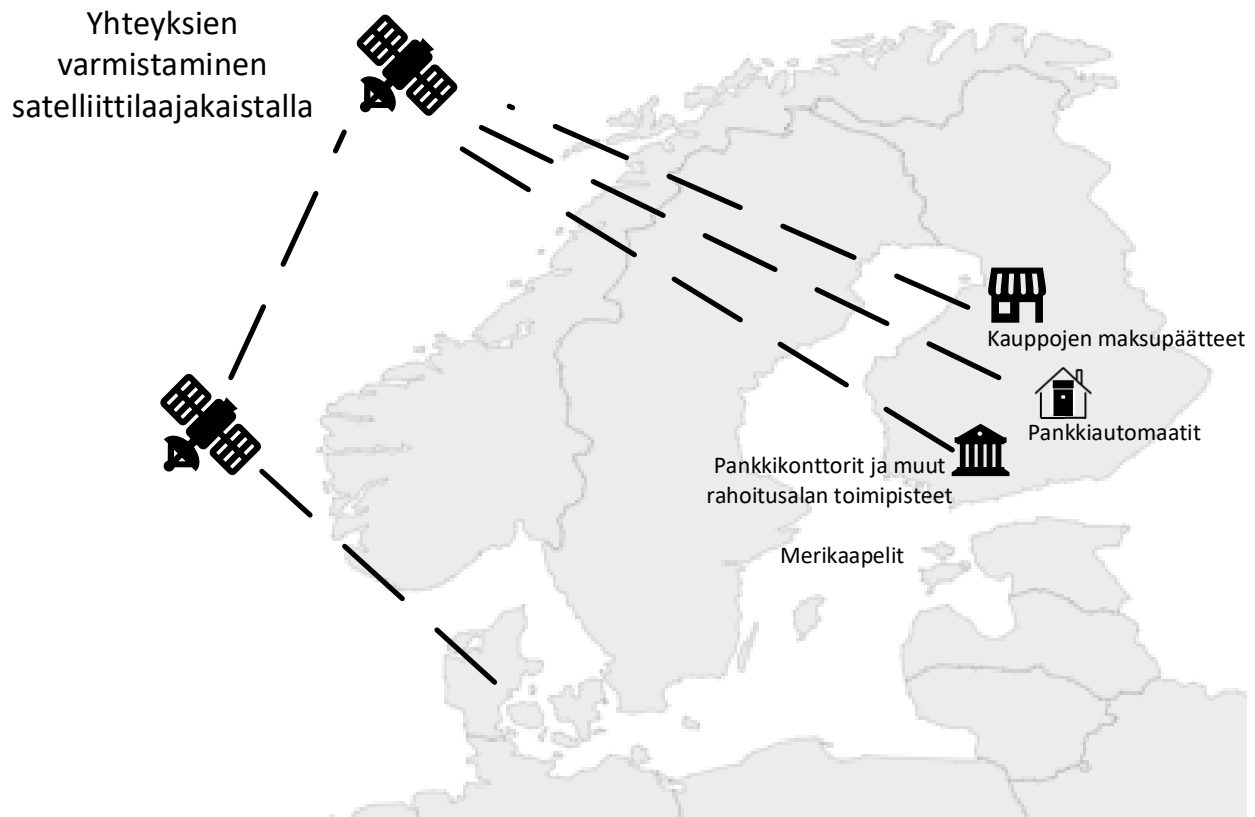
## 5.6 Finanssisektori

Finanssiala kattaa pankit ja rahoitusyhtiöt. Finanssialan varautumista ohjaa Digital Operational Resilience Act (DORA)<sup>40</sup> ja myös Euroopan keskuspankin vaatimukset. Niillä pyritään vahvistamaan finanssiyhteisöjen, kuten pankkien, vakuutusyhtiöiden ja sijoituspalveluyritysten tietoturvaa ja varmistamaan, että Euroopan finanssisektori pystyy toimimaan vakavan toimintahäiriön sattuessa. On huolehdittava varajärjestelyistä, joilla turvataan pankkien välinen maksuliikenne, arvopaperien selvitys-, toimitus- ja säilytystoiminta sekä eläkkeiden ja muiden toistuvaissuoritusten sekä korttimaksamisen infrastruktuuri ja korttivarmennukset myös silloin, jos näiden toimintojen kannalta kriittiset järjestelmät Suomessa tai maan rajojen ulkopuolella eivät ole käytettävissä.

Kuluttajien liityntäpinta finanssialan järjestelmiin on yleensä verkkopankin, kauppojen maksupäätteiden, pankkiautomaattien tai perinteisten konttorien kautta. Maksupäätetapahtumat ovat pääosin NETS A/S:n kautta, ja Otto-automaatit ovat Automatia Oy:n ylläpitämiä. Pankeilla on omia, suojattuja tietoliikennesyhteyksiä konttoreiden ja konesalien välillä sekä tämän lisäksi ulkopuolisia yhteyksiä esimerkiksi luottokorttiyhtiöihin ja pankkiautomaatteihin. Kriittisiksi luokiteltujen kauppojen maksupäätteiden ja pankkiautomaattien yhteydet voisi olla mahdollista varmistaa satelliittilaajakaistalla. Tällöin maanpäällisten verkkojen häiriötilanteissa tieto maksusuorituksista voitaisiin välittää tarkoituksen mukaisin osin satelliittilaajakaistan

<sup>40</sup> EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus finanssialan digitaalisesta häiriönsietokyvystä (DORA). 2022/2554. 27.12.2022.

kautta. Pankkikonttorien ja muiden finanssialan toimipisteiden yhteyksien varmistamiseen satelliittilaajakaista voi myös tuoda yhden mahdollisuuden.



Kuva 13. Satelliittilaajakaista finanssipalveluiden varautumisessa

Kaikki edellä mainitut ovat esimerkitapauksia, joiden kautta satelliittilaajakaistan käytön mahdollisuuksia on arvioitu tässä selvityksessä. Varautumisratkaisun arvioinnissa on syytä huomioida käyttökohteen tiedonsiirtotarpeesta johtuvat kapasiteettivaatimukset, satelliittilaajakaistan käytöstä seuraavat kyberturvallisuuden näkökulmat ja arvioida millä tavalla lähetettävä tieto on suojattava. Lähtökohtaisesti satelliittilaajakaistan kautta tehtävä tiedonsiirto kiertää Suomen ulkopuolelle, sillä maa-asetat ja yhteydet internetiin (Point of presence) sijaitsevat Suomen rajojen ulkopuolella. Satelliittilaajakaistajärjestelmiin liittyviä kyberturvallisuuden näkökulmia ja riskejä käsitellään seuraavassa luvussa 6.

## 6 Järjestelmien kybervaikuttaminen, häirintä ja toteutuksiin liittyvät riskit sekä niiden hallinta

Tässä luvussa käsitellään satelliittilaajakaistateknologialla varautumista koskeviin uhkiin, tietoturvaan ja kybervaikuttamiseen. Tämän johdannon jälkeen tarkastellaan ensisijaisen tietoliikenneyhteyden uhkamallinnusta sen saatavuuden menettämisen kannalta, koska satelliittilaajakaistalla varautuminen pyrkii erityisesti suojatumaan siltä. Sen jälkeen arvioidaan vielä satelliittilaajakaistalle ominaisia uhkia, tietoturvaa ja kybervaikuttamista. Tietoturvan varmistamiseksi yhteyksien salaaminen on usein hyödyllistä muodostaa päästä päähän eli käyttäjän päätelaitteen ja sovelluspalvelimen välillä tai käyttäjän oman ja toisen käyttäjän päätelaitteen välille. Tämän lisäksi järjestelmän yksittäiset osat ja niiden väliset erilliset yhteydet tulee saada tietoturvalliseksi. Tärkeimmät toimenpiteet julkisia verkkoja käytettäessä ovat esimerkiksi päätelaitteiden koventaminen ja yhteyksien päästä päähän salaaminen. Satelliittilaajakaistajärjestelmien kyberturvallisuusrisikien hallintaan voidaan laajalti soveltaa perinteisiä kyberriskienhallintakehikoita.



## 6.1 Tietoliikenneyhteyksien uhkamallinnus

Tässä osiossa tarkastellaan uhkia, jotka kohdistuvat kriittisen tietoliikenteen ensisijaisiin yhteyksiin tai niiden varayhteyksiin. Luvussa Laajakaistasatelliittijärjestelmiin kohdistuvat uhat, kyberturvallisuus ja tietoturva käydään läpi satelliittilaajakaistajärjestelmään kohdistuvia kyberturvallisuusuhkia. Uhamallinnusanalyysissä pyritään tunnistamaan mahdollisia riskejä, uhkia sekä heikkoja kohtia. OWASP<sup>41</sup> suosittelee uhamallinnukseen strukturoitua toteutustapaa, jossa tunnistetaan: Mitä olemme toteuttamassa? Mikä voi mennä pieleen? Miten tunnistettujen väärinkäyttöskenaarioiden vaikutusta voidaan pienentää? Miten arvioidaan uhamallinnuksen ja hallintakeinojen kattavuutta.

Confidentiality, Integrity and Availability (CIA) Triad jakaa tietoturvan kolmeen luokkaan: luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus<sup>42,43</sup>. Satelliittilaajakaistalla varaudutaan tässä raportissa siihen, että ensisijainen tietoliikenneyhteys ei ole saatavilla. Uhkia, jotka kohdistuvat tietoliikenneverkon saatavuuteen on kuvattu esimerkiksi Enisan raportissa 5G-verkkojen uhkakuviosta<sup>44</sup>. Merkittävä osa uhista on relevantteja kaikille radioverkoille, kiinteille yhteyksille ja satelliittilaajakaistapalveluille. Ne auttavat arvioimaan satelliittilaajakaistan soveltuvuutta varautumiselle tilanteissa, jotka voivat johtaa mobiiliverkon- tai muiden yhteyksien menettämiseen. Raportissa käydään läpi haavoittuvuuksia verkon eri osissa, kuten core-verkossa, radioverkossa ja fyysisessä infrastruktuurissa.

## 6.2 Laajakaistasatelliittijärjestelmiin kohdistuvat uhat, kyberturvallisuus ja tietoturva

*"Nykyisissä alle kymmenen vuotta vanhoissa satelliittijärjestelmissä eli kaikissa LEO-satelliittilaajakaistajärjestelmissä tietoturvaa on toteutettu samoilla menetelmillä kuin maanpäällisessä tietoliikenteessä, ja on pyritty suojaamaan satelliittitietoliikennejärjestelmän luontaisia haavoittuvuuksia."*

Satelliittilaajakaistajärjestelmiin kohdistuu sekä yleisiä tietoliikennejärjestelmien uhkia, että satelliittijärjestelmille erityisiä uhkia. Merkittävä osa yleisistä tietoliikennejärjestelmien uhista ovat olennaisia myös satelliittilaajakaistajärjestelmiin. Tässä osiossa keskitytään erityisesti satelliittilaajakaistoihin kohdistuviin uhkiin, tietoturvaan ja kyberturvallisuuteen.

Kvanttilaskennan kehittyminen on tunnistettu uhaksi salausrjestelmille, minkä vuoksi kriittisessä tiedonsiirrossa on syytä ottaa kvanttiturvalliset

<sup>41</sup> OWASP. Drake, Victoria. Threat modeling. [https://owasp.org/www-community/Threat\\_Modeling#](https://owasp.org/www-community/Threat_Modeling#)

<sup>42</sup> Enisa. Enisa threat landscape 2024. September 2024.

<sup>43</sup> Enisa. Governance framework of European standardization. V1.0. December 2015.

<sup>44</sup> Enisa. Enisa threat landscape for 5G networks. December 2020.



salausmenetelmät käyttöön välittömästi. Kaikkiin ohjelmistoteknisesti toteutettuihin uhkiin on mahdotonta varautua vuosia aikaisemmin, minkä vuoksi satelliittien ja niiden päätelaitteiden ohjelmistojen päivitettävyyden on tarpeellista varmistaa. Muihin radiojärjestelmiin verrattuna satelliittien palvelualueet ovat laajoja, mikä voi mahdollistaa tiedonkeruun (harvest now, decrypt later) suurelta maantieteelliseltä alueelta myös maanrajojen yli.

Tyypilliseen LEO-satelliittijärjestelmään, jota on kuvattu luvussa 2.1 Satelliittilaajakaistajärjestelmän yleiskuvaus mukaan lukien Kuva 1, liittyviä huomioitavia seikkoja ovat satelliittipäätelaitteiden tämänhetkinen riippuvuus GNSS-paikannuksesta ja synkronoinnista. Satelliittilaajakaistajärjestelmät vaativat pääosin GNSS-paikannuksen ja -synkronoinnin. Synkronoinnilla voidaan ajoittaa satelliittiin suuntautuvat lähetykset oikea-aikaisesti. Sijaintitietoa voidaan käyttää antennikeilan suuntaamiseen ja geofencingiin. GNSS-riippuvuus on kuitenkin riski, koska sen häirintä on mahdollista edullisilla, joskin laittomilla välineillä. Esimerkiksi vuonna 2013 ammattiautoilija häiritsi Newarkin lentokentän GPS-vastaanottoa Yhdysvalloissa<sup>45</sup>. Teknologian kehittyessä GNSS-riippuvuus kuitenkin saattaa jatkossa muuttua, jos GNSS-riippumattomat satelliittipäätelaitteet yleistyvät tulevaisuudessa. Lupaavin keino GNSS-riippuvuudesta irtautumiseen on satelliittilaajakaistajärjestelmän sisäinen paikannus ja synkronointi, joita kehitetään jatkuvasti. GNSS-häiriötä vastaan voi myös suojautua muun muassa muuttamalla GNSS-vastaanottimen antennikeilaa siten, että häiriön vaikutus minimoidaan.

Satelliittimaa-asemien ja PoP-pisteiden sijainnit on erityisesti huomioitava, mikäli tiedonkulkuun oman maan ulkopuolella tai EU-maan ulkopuolella liittyy rajoitteita. Satelliittimaa-asetat sijaitsevat pääosin Suomen ulkopuolella. Merikaapelit ovat olleet raportin kirjoituksen aikaan erityisen huomion kohteena, ja niitä saattaa olla käytössä satelliittimaa-aseman ja PoP-pisteen välillä. Suomella ei ole omia tietoliikennesatelliitteja, joten suvereni-teetti on mahdollista saavuttaa Pohjoismaiden (Space Norway), EU:n (IRIS<sup>2</sup>) tai NATO:n (lähes kaikki läntiset satelliitit) jäsenenä. Satelliittien tietoturva ei ole aina vastannut maanpäällisen tietoliikenteen tietoturvatasoa, mutta tämä tilanne muuttuu nopeasti. Ensimmäisissä satelliittikommunikatiojärjestelmissä tietoturva pohjautui suljettuihin järjestelmiin, joihin ajateltiin olevan vaikea tunkeutua. Nykyään tunnistetaan uhkia olevan sekä maasta avaruuteen että avaruudesta maahan suuntautuvassa liikenteessä. Uhkia voidaan aiheuttaa avaruudessa, maanpinnalla ja ilmailukorkeuksissa, minkä vuoksi satelliittitietoliikennettä on suojattava samoin kuin muutakin radioliikennettä. Nykyisissä alle kymmenen vuotta vanhoissa satelliittijärjestelmissä eli kaikissa LEO-satelliittilaajakaistajärjestelmissä tietoturvaa on toteutettu samoilla menetelmillä kuin maanpäällisessä tietoliikenteessä, ja

---

<sup>45</sup> Matyszczyk, Chris. Truck driver has GPS jammer, accidentally jams Newark airport. CNET. Aug 11, 2013.

on pyritty suojaamaan satelliittitietoliikennejärjestelmän luontaisia haavoituvuuksia.

Enisan arviointi matalankiertoradan satelliittitietoliikenteen kyberturvallisuudesta<sup>46</sup> kuvaa LEO-satelliittilaajakaistajärjestelmien tietoturva-asteita. Raportti käy läpi standardeja ja suosituksia satelliittitietoliikenteen kyberturvallisuudesta.

Pääosin satelliittijärjestelmien ja maanpäällisten verkkojen tietoturvaominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset. Alla on eritelty satelliittilaajakaistateknologian eroja tietoturvan kannalta maanpäällisiin tietoliikenneverkkoihin verrattuna:

- Satelliittilaajakaistalla on hyvin laaja palvelun peittoalue. Maanpäälliset verkot tarvitsevat nykyistä kattavamman infrastruktuurin vastaavan peittoalueen toteuttamiseen.
- Kiertoradalla olevat satelliittijärjestelmät ovat rajallisesti alttiita maanpäällisille tapahtumille tai katastrofeille.
- Satelliittijärjestelmän maanpäällinen infrastruktuuri on melko yksinkertainen.
- Satelliittijärjestelmät ovat riippuvaisia satelliittilaukaisua harjoittavista toimijoista ja laukaisukeskuksista.
- Satelliittien mekaniikkaa tai laitteistoa ei ole mahdollista huoltaa, kun satelliitit on saatettu kiertoradalle.
- Avaruus ympäristönä poikkeaa maanpäällisestä suuremman lämpötilavaihtelun, säteilyn, avaruusroskan, tyhjiön, värinöiden ja rajallisen virransyötön osalta.
- Satelliitit ovat riippuvaisia radiotaajuuksista, joiden saatavuus satelliittikäyttöön vaatii hyvin laajaa kansainvälistä koordinaatiota.
- Etäisyydestä johtuen maanpäällä olevalla terminaalilla täytyy käytännössä olla näkyvyys (Line-of-sight) satelliittiin.

Enisan raportti vertaa satelliitti- ja maanpäällisen verkon uhkia käyden läpi päätelaitteen, tukiaseman, reitittimen (gateway) ja verkon hallinnan. Uhat ovat varsin samankaltaisia, ja ne tulevat lähentymään entisestään toisiaan, kun satelliittijärjestelmien käyttö ja teknologia integroituu.

---

<sup>46</sup> Enisa. LEO Satcom cybersecurity assessment. February 2024.

## 6.2.1 LEO-satelliittijärjestelmän hyökkäyspinta

Segmentti	Kuvaus ja uhat
<b>Käyttäjäsegmentti</b>	Käyttäjien laitteet, kuten modeemit ja antennit, voivat olla alttiita hyökkäyksille, jotka tähtäävät laitteen hallinnan kaappaamiseen tai tietoliikenteen häiritsemiseen.
<b>Maasegmentti</b>	Yhdyskäytävät ja maa-asemat yhdistävät satelliittiverkon maanpäällisiin verkkoihin ja voivat olla kohteena hyökkäyksille, jotka pyrkivät häiritsemään palvelua tai sieppaamaan tietoliikennettä.  Satelliittien ohjaukseen ja hallintaan käytettävät järjestelmät voivat olla alttiita tunkeutumisille, jotka mahdollistavat satelliittien toiminnan manipuloinnin.
<b>Avaruussegmentti</b>	Itse satelliitit voivat joutua hyökkäysten kohteeksi, kuten signaalin häirinnän (jamming) tai harhautuksen (spoofing) kautta, mikä voi vaikuttaa niiden toimintaan ja palvelun laatuun.
<b>Verkkoinfrastruktuuri</b>	Satelliittijärjestelmien yhdistäminen muihin tietoliikenneverkkoihin lisää hyökkäyspinta-alaa, sillä perinteiset kyberuhat, kuten palvelunestohyökkäykset, voivat kohdistua näihin yhteyksiin.
<p>Jokaisessa yllä mainituissa segmenteissä on potentiaalisia haavoittuvuuksia, jotka voivat vaarantaa järjestelmän turvallisuuden. Siksi on tärkeää toteuttaa kattavia ja segmenttikohaisia turvallisuustoimenpiteitä satelliittilaajakaistajärjestelmien suojaamiseksi.</p>	

Taulukko 7. LEO-satelliittijärjestelmän hyökkäyspinnan muodostavat segmentit ja niihin kohdistuvat uhat

## 6.2.2 LEO-satelliittijärjestelmän hyökkäyspolkuja

ENISA:n raportin<sup>47</sup> mukaan satelliittilaajakaistajärjestelmiin kohdistuvat hyökkäykset voidaan jakaa seuraavasti: käyttäjä- ja hallintasegmenttien uhat, satelliittikohtaiset hyökkäykset, verkkoinfrastruktuuriin kohdistuvat uhat, toimitusketjun haavoittuvuudet ja fyysiset uhat. Hyökkäyspolut ja niiden lyhyet kuvaukset on koostettu alla olevaan taulukkoon.

Hyökkäyspolku	Kuvaus
<b>Käyttäjä- ja hallintasegmenttien uhat</b>	<p>Hyökkääjät voivat kohdistaa hyökkäyksiä käyttäjien päätelaitteisiin ja maayhteyksiin, kuten yhdyskäytäviin, pyrkien häiritsemään palvelua tai varastamaan tietoa.</p> <p>Telemetria, seuranta ja komentojärjestelmät voivat olla alttiita tunkeutumisille, jotka mahdollistavat satelliittien hallinnan kaappaamisen tai häiritsemisen.</p>
<b>Satelliittikohtaiset hyökkäykset</b>	<p>Hyökkääjät voivat tarkoituksellisesti lähettää häiriösignaaleja (jamming), jotka estävät tai heikentävät satelliittien ja maayhteyksien välistä viestintää.</p> <p>Signaalin harhautuksessa (spoofing) väärät signaalit esitetään aitoina, mikä voi johtaa virheelliseen navigointiin tai tietojen vääristymiseen.</p>
<b>Verkkoinfrastruktuuriin kohdistuvat uhat</b>	<p>LEO-satelliittijärjestelmien yhdistäminen maanpäällisiin tietoverkkoihin altistaa ne perinteisille kyberuhille, kuten palvelunestohyökkäyksille ja haittaohjelmille.</p> <p>Ilman riittävää salausta hyökkääjät voivat siepata ja lukea satelliittien kautta kulkevaa tietoliikennettä.</p>
<b>Toimitusketjun haavoittuvuudet</b>	<p>Satelliittijärjestelmien laitteistojen ja ohjelmistojen toimitusketjut voivat sisältää heikkoja lenkkejä, joita hyökkääjät voivat hyödyntää esimerkiksi asentamalla haavoittuvia komponentteja.</p>
<b>Fyysiset uhat</b>	<p>Vaikka fyysiset hyökkäykset ovat harvinaisempia, ne voivat sisältää esimerkiksi vihamielisten toimijoiden pyrkimyksiä tuhota tai vahingoittaa satelliitteja avaruudessa.</p>

Taulukko 8. LEO-satelliittijärjestelmään kohdistuvia hyökkäysvektoreita ja niiden kuvauksia

<sup>47</sup> Enisa. LEO Satcom cybersecurity assessment. February 2024.

## 7 Tulevaisuuden kehitysnäkymät

*"Satelliitti- ja maanpäällisten verkkojen konvergenssi parantaa palvelujen laatua ja vähentää yhteyksiin tarvittavien päätelaitteiden määrää. Satelliitti- ja maanpäällisten verkkojen konvergenssi mahdollistaa satelliittiyhteyksien ja maanpäällisten yhteyksien saumattoman toiminnan yhdessä. Tällainen yhdistelmäratkaisu voi varmistaa laajakaistayhteyksien luotettavuuden erityisesti syrjäisillä alueilla."*

Nopeasti kehittyvän alan tulevaisuuden ennustaminen on vaikeaa ja siihen liittyy paljon epävarmuuksia, mutta satelliittilaajakaistajärjestelmien lukumäärä ja suorituskyky tulevat kasvamaan tulevaisuudessa. Viime vuosina on tapahtunut merkittäviä kehitysaskelia satelliittipalveluissa. Esimerkiksi Starlink aloitti satelliittilaajakaistapalvelut Yhdysvalloissa vuonna 2019, ja vuonna 2023 Globalstar esitteli satelliittiviestipalvelun iPhone matkapuhelmiin. 3GPP Non-Terrestrial Networks (NTN) -palvelut voitaisiin aloittaa kapeakaisena vuonna 2027 ja laajakaistaisena vuonna 2029. Tämä puolestaan lupaa entistä nopeampaa kehityskulkua, uusia konstellaatioita sekä uusien toimijoiden esiinmarssia. Toisaalta uusien toimijoiden määrä voi todellisuudessa olla rajallinen, osa suunnitelmista tullaan luultavasti perumaan ja osa yhtiöistä saattaa joutua lopettamaan toimintansa tai konsolidoitumaan muiden kanssa.

Starlinkin vaihtoehdoksi nousevat Eutelsat-OneWeb, Amazon Project Kuiper, SES mPower ja Telesat. Kirjoitushetkellä olevan tiedon mukaan Starlinkin kokonaiskapasiteetti tulee lähes kymmenkertaistumaan tämänhetkiseen ensimmäiseen sukupolveen verrattuna toisen sukupolven konstellaation ansiosta vuoteen 2032 mennessä. Project Kuiperin kokonaiskapasiteetin on puolestaan suunniteltu vuonna 2033 olevan noin kaksinkertainen Starlinkin nykyiseen kokonaiskapasiteettiin verrattuna, joka on noin 88 Tbit/s<sup>48</sup>. Kokonaiskapasiteetti tarkoittaa yksittäisen satelliitin kokonaistiedonsiirtonopeutta, joka vaihtelee LEO-satelliiteilla 8-50 Gbit/s välillä järjestelmästä riippuen, kerrottuna kiertoradoilla olevien satelliittien määrällä. Muiden toimittajien yhteenlaskettu kokonaiskapasiteetti tulisi tämänhetkisten suunnitelmien mukaan olemaan noin neljäsosa Starlinkin ensimmäisen sukupolven kokonaiskapasiteetista. Kapasiteetin kasvun ansiosta yhteyksien laatu tulee paranemaan ja yhteyksissä esiintyvät katkot lyhenevät.

### 7.1 Arvio satelliittiteknologian kehityssuunnista

Satelliittilaajakaistateknologian nähdään kehittyvän mm. seuraavilla tavoilla tulevina vuosina:

---

<sup>48</sup> Euroconsult. Satellites to be built and launched 2023.

- Yhä tiheämmät LEO- sekä monitasoiset LEO/MEO-konstellaatiot mahdollistavat suuremman kapasiteetin ja monipuolisemman verkon optimoinnin erilaisille käyttäjille. Myös vielä matalampien kiertoratojen Very Low Earth Orbit (VLEO) konstellaatioita tullaan mahdollisesti esittelemään. Eri kiertoratojen järjestelmiä tullaan yhdistämään satelliittilaajakaistapalveluissa ja päätelaitteissa.
- Uudet satelliittitaajuudet mahdollistavat uusia käyttökohteita sekä kasvattavat järjestelmien kapasiteettia. Käyttöön mahdollisesti otetaan korkeampia radiotaajuuksia, esimerkiksi Ka (26.5-40 GHz) ja Ku (12-18 GHz) ja E (60-90 GHz) -taajuusalueilla, jolloin mahdollisuudet tiedonsiirron kapasiteetin kasvattamiselle monipuolistuvat. Yhtenä kehityskulkuna on myös, että satelliitit tulisivat käyttämään maanpäällisten verkkojen taajuuksia<sup>49,50</sup> ja maanpäälliset verkot satelliittijärjestelmien taajuuksia<sup>51</sup>.
- Laajat antenniryhmät ja niiden dynaaminen ohjaus mahdollistavat korkean datanopeuden palvelut ja pienemmät häiriöt. Vaiheohjatut paneeli-antennit ovat tärkeä osa kehitystä, sillä ne mahdollistavat signaalin tarkemman suunnan hallinnan ja dynaamisen muutoksen tarpeen mukaan. Satelliiteissa käytetään erittäin suuripinta-alaisia antennoja, joita tarvitaan, kun käyttäjien terminaalit ovat matkapuhelintyyppisiä Direct-To-Device (D2D) palveluissa<sup>52</sup>
- Satelliitti- ja maanpäällisten verkkojen konvergenssi parantaa palvelujen laatua ja vähentää yhteyksiin tarvittavien päätelaitteiden määrää. Satelliitti- ja maanpäällisten verkkojen konvergenssi mahdollistaa satelliittiyhteyksien ja maanpäällisten yhteyksien saumattoman toiminnan yhdessä. Tällainen yhdistelmäratkaisu voi varmistaa laajakaistayhteyksien luotettavuuden erityisesti syrjäisillä alueilla.
- Ohjelmistopäivitettävyys kasvaa, minkä ansiosta uusin teknologia voidaan päivittää nopeammin jo käytössä oleviin satelliitteihin, mikä pidentää satelliittien käyttöikää ja tuo joustavuutta palveluiden kehittämiseen.
- Tulevaisuuden teknologia-alueista satelliittilaajakaistateknologiassa satelliitissa tapahtuva signaalinkäsittely parantaa tiedonsiirron tehokkuutta, vähentää viiveitä, optimoi kaistanleveyden käyttöä, reitittää dynaamisesti, mahdollistaa alueellisesti kohdennetut palvelut, parantaa tietoturvaa ja lisää skaalautuvuutta.

---

<sup>49</sup> FCC. (2023). Single Network Future: Supplemental Coverage from Space. GN Docket No. 23-65. Feb 23, 2023.

<sup>50</sup> ITU-R. WRC-27. Agenda Item 1.13.

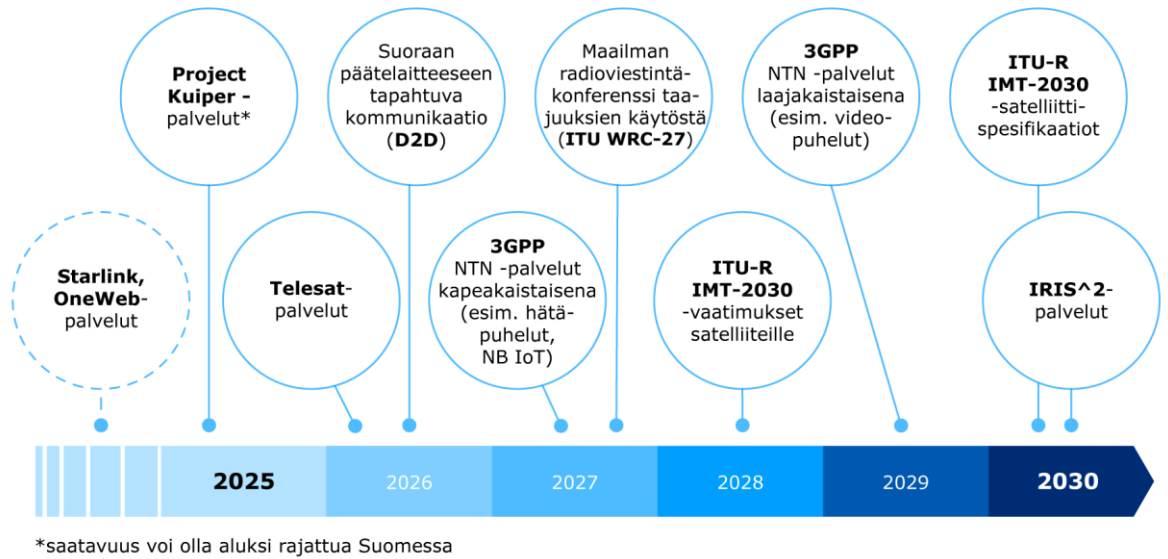
<sup>51</sup> Businesswire. (2018). Globalstar Announces 3GPP Approval of Band 53 for 2.4 GHz Terrestrial Spectrum. Press release. Dec 17, 2018.

<sup>52</sup> CNBC. (2022). AST SpaceMobile hits key milestone toward satellite-to-smartphone 5G service. Nov 14, 2022.

- Pienten satelliittialustojen älykkäät aktiiviantennit mahdollistavat dynaamisesti ohjattavat antennikeilat, kapasiteetin optimoinnin kysynnän mukaan, mukautuvuutta muuttuvissa sääoloissa, kohteiden reaaliaikaisen seurannan, energia- ja kustannustehokkuutta ja tehokkaamman häiriösietoisuuden.
- Optiset avaruusteknologiat nostavat satelliittien välisiä tiedonsiirtonopeuksia, minkä lisäksi dynaaminen reititys eri satelliittien ja maa-asemien välillä paranee. Optiset linkit lisäävät tietoturvaa tiedonsiirtohyteyksillä.
- 5G- ja 6G-NTN teknologiat mahdollistavat samojen komponenttien ja laitteiden käytön satelliittiverkoissa ja maanpäällisissä mobiiliverkoissa. Se lisää vaihtoehtoja loppukäyttäjälle, kasvattaa kilpailua, mahdollisesti voi alentaa hintoja, pidentää tuotteiden elinkaarta ja tuo varmuutta pitkäaikaisiin investointeihin.
- Space Networking Systems (SpaNeS) mahdollistavat satelliittiverkkojen autonomisen hallinnan, satelliittien välisten linkkien dynaamisen ja tehokkaan käytön sekä vikatilanteissa että kapasiteetin optimoinnissa ja verkon skaalautuvuuden tulevaisuuden tarpeisiin.
- Quantum Communication Infrastructure (QCI) tulee parantamaan satelliittilaajakaistajärjestelmien tietoturvaa kvanttisalausteknologioita käyttäen, havaitsemalla häirintäyritykset sekä tehostamaan että nostamaan tiedonsiirtokapasiteettia.

Huoltovarmuuskeskuksen painopistealueiden toimijat ostavat tietoliikennepalvelut pääosin suoraan palvelun tuottajilta, mutta eräänä kehityssuuntana voi pitää myös palveluntarjoajien mukaan tuloa loppukäyttäjien ja satelliittilaajakaistapalvelun tuottajien väliin. Esimerkiksi Erillisverkot voisivat mahdollisesti tarjota satelliittipalveluita viranomaisverkko Virven rinnalla tai Virven yhteyksien varmistamiseen, tai merenkulun mikroaaltolinkkiyhteyksiä tarjoava yritys voi lisätä satelliittipeiton mukaan omiin tarjottaviin palveluihinsa. Palvelujen tarjoajien osalta on kuitenkin tärkeä varmistaa, että palvelua myyvällä integraattorilla on todellinen mahdollisuus vaikuttaa palvelua toteuttavaan tahoon esimerkiksi vikatilanteiden osalta ja olla selvillä vastuukysymyksistä.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 14) on hahmoteltu LEO-satelliittipalveluiden kehityksen kannalta eräitä merkittäviä ajankohtia.



Kuva 14. Satelliittilaajakaistan kehitys

## 7.2 Kehitykseen vaikuttavat tekijät

*"Uusien teknologioiden, kuten uudelleenkäytettävien rakettien, käyttöön-otto on merkittävästi alentanut satelliittien laukaisukustannuksia. Rakettien uudelleenkäyttö mahdollistaa aiempaa edullisemmat laukaisut. Tämä on tehnyt satelliittilaajakaistakonstellaatioiden rakentamisesta taloudellisesti houkuttelevampaa."*

Avaruusteknologian nopea kehittyminen on ollut avainasemassa satelliittilaajakaistan kehitykselle. Kilpailu avaruusteknologian saralla on kiihtynyt matalan kiertoradan LEO-konstellaatioiden myötä, ja tämä on johtanut yhä suurempiin investointeihin. Yritykset, kuten SpaceX, Eutelsat OneWeb ja Amazon, ovat olleet edelläkävijöitä, mikä on kannustanut myös muita toimijoita panostamaan enemmän resursseja satelliittitekologian kehittämiseen.

Satelliittipalvelujen käytön yleistymisen yritysten, kuluttajien ja valtiollisten toimijoiden keskuudessa on ollut merkittävä tekijä alan kehityksessä. Kun satelliittilaajakaista tarjoaa yhä enemmän mahdollisuuksia maanpäällisten verkkojen rinnalla ja erityisesti syrjäisten alueiden tietoliikennetarpeiden täyttämisen näkökulmasta kiinnostus niitä kohtaan on kasvanut. Valtiot, kuten Yhdysvallat ja EU-maat, ovat myös tukeneet satelliittiverkkojen kehitystä kansallisen omavaraisuuden ja turvallisuuden varmistamiseksi. Nämä valtiolliset tarpeet osaltaan edistävät satelliittilaajakaistaverkkojen kehitystä, mutta rinnalle tarvitaan myös yritys- ja kuluttajaliiketoimintaa.



Satelliittilaajakaistan käyttäjämäärät ovat edelleen varsin rajalliset, mikä voi tulevaisuudessa hidastaa palveluntarjoajien investointeja konstellatioiden laajentamiseen, mikäli käyttäjämäärä ei lähtisi nykyisestä kasvamaan. Jos asiakkaiden määrä on pieni ja ennustettu kysyntä rajoitettua, ei ole kannustimia investoida lisää laajempaan infrastruktuuriin ja palvelun parantamiseen.

Uusien teknologioiden, kuten uudelleenkäytettävien rakettien, käyttöönotto on merkittävästi alentanut satelliittien laukaisukustannuksia. Rakettien uudelleenkäyttö mahdollistaa aiempaa edullisemmat laukaisut. Tämä on tehnyt satelliittilaajakaistakonstellatioiden rakentamisesta taloudellisesti houkuttelevampaa.

Saatavilla olevat taajuuskaistat ovat elintärkeitä satelliittilaajakaistapalvelujen tarjoamisessa ja ne vaikuttavat myös järjestelmien kokonaiskapasiteettiin. Uudet mahdolliset taajuuskaistat, jotka voitaisiin osoittaa satelliittijärjestelmien käyttöön, tarjoaisivat mahdollisuuksia suuremman kapasiteetin rakentamiseen ja mahdollistaisivat yhteysnopeuksien kehittämisen. Tämä voisi edistää erityisesti maaseutualueilla ja kehittyvissä maissa internetin ja digitaalisten palvelujen saatavuutta, missä on haasteita maanpäällisten verkkojen rakentamiselle tai ne eivät rajallisen asiakaspotentiaalin vuoksi rakennu markkinaehtoisesti.

Vaikka taajuuskaistojen saatavuus on parantunut, se on edelleen rajallista, ja tämä voi estää kapasiteetin kasvua. Rajoitettu taajuuskaista voi myös aiheuttaa ruuhkautumista ja heikentää palvelun laatua, mikä tekee satelliittilaajakaistasta vähemmän houkuttelevan vaihtoehdon.

Globaalin peiton, lisääntyvien sään ääri-ilmiöiden, kuten myrskyjen ja tulvien, sekä erilaisten turvallisuusuhkien ja varautumistarpeen kasvamisen vuoksi monet organisaatiot ovat kiinnostuneita satelliittilaajakaistan tarjoamista mahdollisuuksista. Satelliittiverkkojen tarjoamat globaalisti saatavilla olevat yhteydet voivat toimia käyttökohteesta riippuen hyvinä varayhteyksinä tilanteissa, joissa maanpäälliset verkkoyhteydet eivät ole käytettävissä. Tämä tarve on osaltaan vauhdittanut satelliittilaajakaistateknologian kehitystä.

Satelliittilaajakaistan vaatimien päätelaitteiden kehitys, uudet toiminnallisuudet, helppo asennettavuus ja käyttö sekä laitteiden hinnoittelu vaikuttaa myös omalta osaltaan palvelun kysyntään. Satelliittilaajakaistapalvelun hinnoittelussa voi myös tapahtua muutoksia tulevaisuudessa. Kilpailun lisääntyessä liittymien hinnat voivat laskea, mutta hinnoittelu voi kehittyä myös muuhun suuntaan, sillä järjestelmien rakentamisen vaatimat investoinnit vaativat tuottoa ja jos käyttäjämäärä pysyy vähäisenä, voi tällä olla vaikutuksia palvelujen hinnoitteluun. Tämä voi rajoittaa käyttäjämäärien kasvua ja edelleen hidastaa palveluntarjoajia laajentamasta toimintaansa. Tällaisella kehityksellä voisi olla vaikutuksia erityisesti Suomen pohjoisilla

leveysasteilla, jossa globaali asiakaspotentiaali on erimerkiksi tiheämmin asuttua Keski-Eurooppaa rajallisempi. Toisaalta arktisen alueen merkitys on kasvamassa ja se voi tasapainottaa tilannetta esimerkiksi pohjoisten alueiden merenkulun kasvavien tarpeiden näkökulmasta.

<b>Nopeuttavat tekijät</b>	<b>Hidastavat tekijät</b>
Teknologinen kilpailu avaruusteknologiassa johtaa kiihtyviin investointeihin ja teknologiseen kehitykseen	Vähäinen käyttäjämäärä ei kannusta palveluntarjoajia laajentamaan toimintaansa
Yritysten, kuluttajien ja valtiollisten toimijoiden satelliittipalvelujen nopea omaksuminen kasvattaa investointeja	Rajoittunut palvelun käyttöalue pienentää asiakaspotentiaalia
Edullisemmat laukaisutekniikat ja uudelleenkäytettävät raketit pienentävät kustannuksia	Päätelaitteiden ja palveluiden korkea hinta vähentää käyttäjäkuntaa
Taajuuskaistojen saatavuus mahdollistaa kapasiteetin kasvattamisen	Taajuuskaistojen rajoitettu saatavuus hidastaa kapasiteetin kasvua
Organisaatioiden kasvava tarve varautua maanpäällisten verkkojen häiriöihin esimerkiksi sään ääri-ilmiöiden ja turvallisuushuolien vuoksi	Teknologian hidas käyttöönotto viivästyttää satelliittilaajakaistan kehitystä

Taulukko 9. Satelliittilaajakaistapalveluiden- ja teknologioiden kehitystä ja käyttöönottoa nopeuttavat ja hidastavat tekijät Suomessa

## 8 Viitekehys satelliittilaajakaistan hyödyntämisen arvioinnin tueksi

Tässä luvussa esitetään organisaatioille kysymyslista, joka auttaa arvioimaan satelliittilaajakaistateknologian käytön tarvetta ja sen tuomia mahdollisuuksia varautumisessa organisaation oman toiminnan kannalta. Luku ei käsittele yleisesti tietoliikenneyhteyksien häiriöihin varautumista, vaan pyrkii hahmottamaan keskeisiä näkökulmia satelliittilaajakaistajärjestelmien hyödyntämisen arvioinnin tueksi.

Ensin tarkastellaan yleisiä varautumisen kannalta keskeisiä ydinprosesseja, jotka organisaatiot ovat usein tunnistaneet jo olemassa olevissa varautumissuunnitelmissa. Tämän jälkeen siirrytään tarkastelemaan ydinprosessien vaatimia tietoliikenneyhteyksiä. Kolmannessa osassa arvioidaan satelliittilaajakaistapalvelujen sopivuutta ydinprosessien toiminnan turvaamiseksi. Lopuksi esitetään kysymyksiä käytännön toteutukseen liittyen.

### 8.1

#### Organisaation ydinprosessien tunnistaminen ja niistä tulevat tarpeet tietoliikenneyhteyksille



Satelliittilaajakaistapalvelujen hyödyntämiseksi on ensin käytävä läpi organisaation jo olemassa olevat varautumissuunnitelmat. Varautumissuunnitelmista on tarpeen selvittää, miten toimitaan skenaarioissa, joissa maanpäällisissä yhteyksissä on vakavia häiriöitä tai yhteydet ovat kokonaan poikki.

- Mitkä ovat organisaation ydinprosesseja?
- Miten tietoliikenneyhteydet tukevat organisaation ydinprosesseja?
- Kuinka riippumattomia varautumistietoliikenneyhteydet ovat pääasiallisista yhteyksistä?
- Miten poikkeustilanteessa johdetaan organisaatiota ja mitä tietoliikennetarpeita johtamiseen liittyy?
- Miten varautumiseen sovellettavat velvoitteet, määräyksien toteuttaminen ja noudattaminen on tunnistettu, varmistettu ja dokumentoitu?

Kun organisaatiolle välttämättömät toiminnot on tunnistettu, voidaan arvioida mitkä organisaation palvelut ja järjestelmät ovat välttämättömiä häiriötilanteissa:

- Mitkä yhteiskunnan toimintoja tuottavan järjestelmän osat ovat kriittisiä vakavan häiriötilanteen aikana?
- Mitkä kriittisen palvelun toteuttamisessa tarvittavat toiminnot voidaan tarvittaessa siirtää toiseen sijaintiin vakavan häiriötilanteen aikana?

## 8.2

**Satelliittilaajakaistan hyödyntäminen kriittisten järjestelmien vaatimien tietoliikenneyhteyksien varmistamisessa**

Kun organisaation toiminnalle kriittiset järjestelmät, palvelut ja johtamisjärjestelmät on tunnustettu, voidaan arvioida satelliittilaajakaistapalvelujen hyödynnettävyyttä varautumisessa kriittisten järjestelmien vaatimien tietoliikenneyhteyksien näkökulmasta.

- Millaiset tietoliikenneyhteydet ovat erityisen välttämättömiä, esimerkiksi puheyhteydet, kapeakaistaiset datayhteydet, laajakaistainen tiedonsiirto?
- Minkälainen on organisaation kriittisten järjestelmien ja palvelujen tarvitsema tiedonsiirtonopeusarve?
  - *Kts. Luku 4.9. Satelliittilaajakaistan suorituskyky. Kapaleessa esitettyjä mittauksia voi käyttää viitearvona nykyisten tarjolla olevien palvelujen suorituskyvystä.*
- Miten tietoliikenneyhteyksiä käyttäviä järjestelmiä voidaan tarpeen mukaan priorisoida?
- Mitkä ovat sellaisia rooleja ja ketkä kriittisiä henkilöitä, joiden täytyy saada yhteys organisaation järjestelmiin ja toisiinsa myös häiriötilanteessa?
- Kuinka kriittisiä palveluja johtavat ja ylläpitävät henkilöt voivat saada yhteyden organisaation järjestelmiin ja toisiinsa satelliittipalveluja hyödyntäen, jos maanpäällisen verkon toiminnassa on vakava häiriö?
- Tuleeko kaikki satelliittilaajakaistapalvelujen käytössä tarvittavat laitteet olla valmiiksi asennettuna, vai miten ja missä niitä säilytetään, ja milloin niitä jaetaan työntekijöille?
- Miten satelliittilaajakaistan yli toimivat Voice over IP (VoIP) -ratkaisut (kuten Teams, Skype ym.) voivat tukea organisaation kommunikaatiossa ja sisäisessä tiedottamisessa, jos ensisijaisissa tietoliikenneyhteyksissä on vakava häiriö?
- Voidaanko konesaleissa ja pilviympäristöissä toimivien kriittisten toimintojen ja palvelujen saatavuutta varmistaa satelliittilaajakaistan kautta, jos maanpäällisissä verkoissa on häiriöitä tai ne ovat alhaalla?
- Millaisia satelliittilaajakaista-antenneja eri kohteissa on mahdollista käyttää?
- Minne satelliittilaajakaista-antenneja voidaan sijoittaa?
  - Kuinka käyttöpaikan ympäristö voi vaikuttaa satelliittilaajakaistan toimintaan?
  - Kuinka satelliittilaajakaistan mahdollisia katveja voidaan minimoida esimerkiksi raivaamalla käyttöympäristön kasvillisuutta ja puita?

*Huomaa, että maanpäällä olevalla terminaalilla täytyy käytännössä olla suora näkyvyys (Line-of-sight) satelliittiin.*

## 8.3

**Satelliittilaajakaistayhteyksien käytössä huomioitavia toteutus- ja turvallisuusnäkökulmia**

Kun organisaatio on tunnistanut sille kriittiset toiminnot ja niiden vaatimat tietoliikenneyhteydet, voidaan arvioida satelliittilaajakaistojen hyödynnettävyyttä verrattuna muihin varayhteysvaihtoehtoihin käytännössä.

- Tällä hetkellä satelliittilaajakaistan maa-asemat ovat Suomen ulkopuolella. Millaisia tietoturvaasteita se voi mahdollisesti aiheuttaa ja miten niitä voidaan ratkaista?
  - Tarvitaanko tietoliikenteen salaamiseen esimerkiksi VPN-yhteyksiä?
- Miten satelliittilaajakaistajärjestelmän toimittaja on huomionnut kyberturvallisuuden järjestelmän toteutuksessa ja prosesseissa?
- Tuleeko käytettäviä päätelaitteita koventaa ja millä tavalla?
- Miten satelliittilaajakaistajärjestelmien erityispiirteet on huomioitu käyttöä suunniteltaessa?
  - Katso luku 6: "Järjestelmien kybervaikuttaminen, häirintä ja toteutuksiin liittyvät riskit sekä niiden hallinta"
- Mikäli organisaation kriittiset tiedonsiirtotarpeet ulottuvat Pohjoismaihin tai Keski-Eurooppaan, millainen riski merenalaisista kaapeleista voi muodostua? Miltä osin satelliittilaajakaista voi toimia varayhteytenä?
  - On kuitenkin tärkeää huomioida yhteyksien kapasiteetti, sillä nykyiset satelliittilaajakaistapalvelut eivät vastaa kapasiteettiaan merikaapeleita.
- Miten satelliittilaajakaistan käytön osalta voidaan varautua GNSS-häiriöihin ja häirintään?
- Millaisia kustannuksia varautuminen satelliittilaajakaistan avulla aiheuttaa verrattuna muihin varayhteysvaihtoehtoihin?
- Onko olemassa toimittajaa, joka pystyy ottamaan kokonaisvastuuta tietoliikenneyhteyksistä myös satelliittilaajakaistan osalta?
- Kuinka organisaation käytössä olevat sovellukset ja muut tietoliikenneyhteyttä käyttävät järjestelmät toimivat varayhteyden mahdollisesti heikommalla suorituskyvyllä?
  - Voidaanko tätä testata etukäteen ja miten usein testaamista tulisi tehdä?
- Kuinka hyvin operatiivinen järjestelmä pystyy automaattisesti siirtymään varayhteyteen?
- Ketkä pystyvät manuaalisesti vaihtamaan tietoliikenneyhteyksiä varautumisjärjestelyyn, mikäli automaattisessa toiminnassa on häiriöitä tai automaatiota ei ole mahdollista toteuttaa?
- Kuinka tietoliikenneyhteyksien häiriöihin varautumista on harjoiteltu?

**Liikenne- ja viestintävirasto Traficom**

PL 320, 00059 TRAFICOM

p. 029 534 5000

[traficom.fi](http://traficom.fi)

**TRAFICOM**  
Liikenne- ja viestintävirasto